

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

FACULTAD DE MEDICINA



ESTUDIO DE LA EFICACIA DE DIFERENTES TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN POST-EJERCICIO

TESIS DOCTORAL

MIGUEL ÁNGEL GARCÍA DE LA CONCEPCIÓN
LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

MÁLAGA, 2016



Publicaciones y
Divulgación Científica

AUTOR: Miguel Ángel García de la Concepción

 <http://orcid.org/0000-0001-5842-8438>

EDITA: Publicaciones y Divulgación Científica. Universidad de Málaga



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional:

Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización pero con el reconocimiento y atribución de los autores.

No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode>

Esta Tesis Doctoral está depositada en el Repositorio Institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA): riuma.uma.es

DEPARTAMENTO DE FISIOLÓGÍA HUMANA, HISTOLOGÍA, ANATOMÍA
PATOLÓGICA Y EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA
FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

ESTUDIO DE LA EFICACIA DE DIFERENTES TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN POST-EJERCICIO

AUTOR:

Miguel Ángel García de la Concepción
Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte
Universidad de Gales

DIRECTORES:

PROF. DR. JOSÉ RAMÓN ALVERO CRUZ.
Departamento de Fisiología Humana, Histología, Anatomía Patológica y
Educación Física y Deportiva. Facultad de Medicina. Universidad de Málaga,
España.

PROF. DRA. ANA BELÉN PEINADO LOZANO.
Departamento de Salud y Rendimiento Humano. Facultad de Ciencias de la
Actividad Física y del Deporte – INEF. Universidad Politécnica de Madrid,
España.

MÁLAGA, 2016



Prof. Dr. JOSÉ RAMÓN ALVERO CRUZ
Profesor Titular de Universidad

-----o-----

Departamento de Fisiología Humana, Histología
Humana, Anatomía Patológica
y de la Educación Física y Deportiva
FACULTAD DE MEDICINA
Universidad de Málaga

El Prof. Dr. José Ramón Alvero Cruz, de la Escuela de Medicina de la Educación Física y del Deporte, del Área de Educación Física y Deportiva de la Universidad de Málaga

AUTORIZA

La Presentación de la Tesis Doctoral, realizada por **D. Miguel Angel García de la Concepción**, con el título: **“Estudio de la eficacia de diferentes técnicas de recuperación post-ejercicio”** de la cual he sido Director, siendo proyectada, desarrollada y redactada bajo mi supervisión, para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Málaga.

Y para que surtan los efectos oportunos, al interesado, firmo la presente en Málaga, a dos de Noviembre de dos mil quince

Prof. Dr. José Ramón Alvero Cruz

Departamento de Fisiología Humana, Histología, Anatomía Patológica y Educación Física y Deportiva
Facultad de Medicina - Edif. López de Peñalver s/n - E-29071 MALAGA



POLITÉCNICA

CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
DEPARTAMENTO DE SALUD Y RENDIMIENTO HUMANO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Ana Belén Peinado Lozano
SECRETARIA DE DEPARTAMENTO

Dra. Ana Belén Peinado Lozano
Profesora Ayudante Doctor

Departamento de Salud y Rendimiento Humano
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte-INEF
Universidad Politécnica de Madrid

ANA BELÉN PEINADO LOZANO, profesora del Departamento de Salud y Rendimiento Humano de la
Universidad Politécnica de Madrid

AUTORIZA

La presentación de la Tesis Doctoral titulada “ESTUDIO DE LA EFICACIA DE DIFERENTES
TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN POST-EJERCICIO” realizada por D. MIGUEL ÁNGEL GARCÍA
DE LA CONCEPCIÓN, de la cual he sido directora, siendo proyectada, desarrollada y redactada bajo mi
supervisión, para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Málaga.

Y para que surtan los efectos oportunos, al interesado, firmo la presente en Madrid, a diez de Noviembre
de dos mil quince

Fdo. Ana Belén Peinado Lozano

Madrid, 10 de noviembre de 2015

“Me he repetido muchas veces, como convenciéndome, de que debía esmerarme para que mi trabajo literario alcanzara una suficiente validez. Solo así iba a poder equilibrarse lo mucho que recibo con lo poco que ofrezco”.

José Manuel Caballero Bonald.

“A los que dudan, porque ellos están en lo cierto”.

Marti Perarnau.

AGRADECIMIENTOS

Debo comenzar expresando que la realización de esta tesis doctoral no es el hecho que finiquita mi formación académica, sino más el que la abre. Tras años de trabajo y colaboración con personas de tan alto nivel profesional y humano, no he hecho sino darme cuenta de lo mucho que aún me queda por aprender y por evolucionar. El punto en el que me hallo en este momento es el culmen y la suma de experiencias vitales y académicas que comenzaron hace ya más de treinta tres años. En este marchar por la vida, cada experiencia y cada decisión han sido claves para que finalmente pueda estar, con satisfacción, escribiendo estas líneas. Así, me encuentro en el deber moral y emocional de repartir mi gratitud entre todos aquellos que de una forma u otra han colaborado o participado en la experiencia de mi vida, aparezcan o no en estas líneas. Desde ahora, dejaré que la cronología se apodere de ellas.

Hasta el momento en el que se inició de forma oficial el presente trabajo de investigación, mi formación académica y humana ha pasado por diferentes etapas, dándose la primera y más longeva de ellas (tres lustros) en el Colegio Aljarafe, en el que entré aún novato en este mundo y del que salí ya como adulto. La influencia de aquellas personas que desde tan temprana edad me acogieron y me hicieron sentir en el seno de una segunda familia, es probablemente gran parte de la base de lo que soy ahora. Aunque muchos son los que durante tantos años iban y venían, debo expresar de forma específica mi gratitud a Ramón Guzmán, clave para mi entrada en el colegio y sin duda educador como pocos, y a Antonia Rebollo y José María Godoy, profesores, educadores y “padres” de una infancia que entre las aulas y campos de fútbol se desarrolló probablemente en las mejores manos. A ellos, aunque el tiempo nos haya separado, no les olvido. Y será entre los árboles, fuentes, columpios y amplios espacios de recreo donde comenzó a fraguarse una amistad que aún hoy día perdura en el tiempo. Un hermano con el que no comparto genética, ni falta que hace. El binomio *Sergio-Migui* posee una influencia en mi vida indescriptible y adquiere una extensión inabarcable.

Y es en el mismo colegio, en los albores de la adolescencia, donde se dio un fenómeno que unió a un grupo difícil de describir, al que probablemente no le interesen estas líneas (“eeehhh ☹”), pero con una calidad humana inmensa y una capacidad para hacer llorar de tanto reír jamás vista. Cano, Fede, Adri, Yeray, Paco, Carmona, siguen sin interesarme vuestras vidas, pero sois increíbles *lutis* (*nota: todo aquel ajeno a este grupo absténgase de tratar de comprender nada de lo escrito en este párrafo, y menos aún desde la perspectiva del sentido común o de la lógica*). El paso a la adultez trajo consigo nuevas amistades. Desde Mairena del Aljarafe a Sanlúcar de la Barrameda hay unos cien kilómetros, y en ellos no cabría papel para narrar el sin fin de experiencias vividas con las extraordinarias personas que viven en ambos puntos. *Manri, Luigi, Negro, David...* ellos con sus ellas llenaron y llenan mi vida de alegría, y junto con los grandes amigos de Sanlúcar han sido parte fundamental en esa década de los 20. Que así siga.

Mi paso por la Universidad de Sevilla y por la Facultad de Magisterio supuso un cambio en la forma de entender la vida académica y me abrió una ventana a un nuevo mundo. Allí acerté a sentir la pasión definitiva por las Ciencias del Deporte, gracias sobre todo al entusiasmo por las mismas de Paco Santos, y tropecé con amigos que envolvieron esos años en un sinfín de momentos deliciosos. Por suerte, aunque la distancia que nos separa se cuente por miles de kilómetros a muchos de ellos y sobre todo a *Helen, Paco y Kiki* los sigo teniendo muy cerca. *Juanpe, Tony, Beli, Rosi* y otros tantos, parte fundamental de esta etapa.

El paso por una ciudad como Málaga me ofreció adentrarme de forma definitiva en lo más profundo de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, iniciando en la Universidad de Málaga el camino que me ha llevado hasta aquí. Un camino que alcanzó un gran esplendor gracias a todas esas personas que hicieron de mi día a día una experiencia diaria inolvidable. Rodrigo, Juan y Ana, desde el paseo marítimo del Rincón de la Victoria; *Lar, Dopbi, Joe y Desi*, desde aquella azotea de Teatinos; Óscar (fali), desde el albero de Segalerva; todos ellos llegaron a ser clave en mi devenir diario por tierras malacitanas, y aún hoy día lo siguen siendo en este deambular por Oriente Medio. Sois parte de mí, y lo sabéis.

Paco Medina e Inés, piezas primeras de un puzle que se inició en Arganda del Rey y que derivó en tres años de gran desarrollo profesional en Madrid. La forma en que me acogieron, me abrieron las puertas de su casa y de su vida, en las que fueron las semanas

probablemente más solitarias de mi vida, fue clave para llevar a buen puerto el día a día. A vosotros eterno agradecimiento. Gracias a mi estancia en Madrid contacté con dos personas que desarrollaban parte su actividad laboral en un “zulo”, que me dieron la oportunidad de colaborar con una institución tan magna como la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad Politécnica de Madrid, el INEF. Pedro Gómez y Manuel Sillero, tan diferentes y tan unidos, ya me dieron a entender cuán excéntrica podría ser aquella aventura tras esa primera entrevista de trabajo, o fuera lo que fuera tan insólito momento. Ellos me abrieron las puertas definitivas para adentrarme en el mundo de la investigación y comenzar el camino de esta tesis, me dieron la opción de trabajar codo con codo con inmensos profesionales y maravillosas personas. Esa oportunidad que me disteis no tiene precio. Isma, Isa y Javi formaban parte de aquellas mañanas y tardes entre paredes soterradas en los confines del INEF. Habéis de saber que no dejé y no he dejado de aprender de vosotros, y me siento muy orgulloso de la relación personal que alcanzamos. Fueron tres años en el laboratorio en el que todos me ofrecisteis mucho cada día, solo espero haberos devuelto parte de lo que me concedisteis. La amistad, el tesón y la capacidad de trabajo de todos y cada uno de los componentes del grupo de Termografía fueron inspiración sin igual durante esos tres años. Y arriba, donde tras los cristales la vista se perdía en el horizonte, se hallaba el Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo. Me topé con un grupo de trabajo excepcional y con una capacidad de organización y rendimiento exquisita. Además conté con la enorme suerte de conectar muy profundamente con *Javo* y *Rocío*. *Pinki* y *yo* tenemos un similar y extraño sentido del humor y una forma de ver la vida que realmente nos hizo conectar desde el principio. Rocío con el tiempo se convirtió confesora, apoyo moral y emocional sin parangón. A ella y a Isa les debo mucho, fue una suerte contar con ellas cuando más difícil parecía todo. Al igual que con Carlos (mi primer fali), con el que el destino me unió entre recepciones y cenas en los mejores estadios de España. Jamás imaginamos que un paso de cebra podría dar tanto de sí.

Me es imprescindible reflejar mi más sincero agradecimiento a todas y cada una de las personas que desde el INEF y la Universidad de Málaga han colaborado o ayudado de una forma u otra en el desarrollo de esta tesis doctoral, así como a los clubes, cuerpos técnicos y jugadores participantes por permitirme desarrollar mi trabajo de la forma más sencilla posible.

Mención especial merece una persona que desde su rectitud, profesionalidad, perseverancia y esfuerzo ha sido clave en este viaje. La *jefa*, Ana Belén Peinado Lozano, ha sido capaz no solo de enseñarme, dirigirme y soportarme, sino de ofrecerme su tiempo y dedicación a unos niveles que jamás imaginé. Solo espero que te haya podido aportar algo en todos estos años, y que sepas que mi agradecimiento no tiene límites. Lo de las mayúsculas y los símbolos de exclamación... lo discutiremos en la siguiente tesis. A su vez, debo agradecer a José Ramón Alvero Cruz su abierta disposición desde el primer momento en el fluir de todo este proceso, siendo desde la Universidad de Málaga pieza fundamental para la culminación de este trabajo. Sus consejos, ánimos y guía han sido básicos en este periodo.

El hasta ahora último capítulo de mi vida se desarrolla en las lejanas tierras desde donde escribo, en el distante Oriente Medio, en Qatar. Aquí no solo tuve la oportunidad de compartir mi vida con viejos amigos y excepcional pareja, como Óscar y Susana, sino que tropecé con mi *langille gudari* preferido, Kepa. Lo que este tridente mágico ha dado de sí es harto complejo de definir. El “exilio” me ha ofrecido un buen número de amigos, españoles y de otras tantas partes del mundo, que hacen que la lejanía merezca la pena.

Surgió, casi de la nada y de forma inesperada, como debe ser, el resto del camino. No más “yo” y la suma de los que me han ido rodeando, ahora mi devenir tiene una pasajera, Ayumi. Amanece el “nosotros”, Oriente Medio me regala una media naranja venida desde el otrora llamado Imperio Del Sol Naciente. No puedo más que disfrutar de cada segundo que ambos nos regalamos y desear como pocas veces he deseado que esos segundos alcancen el infinito. 愛してる.

7 de marzo de 1982, desde ese día debo considerarme uno de los seres más afortunados que ha habitado en cualquiera de los rincones que puedan ser alcanzados en esta tierra. Nacer al amparo de José Miguel García Marín y Virginia de la Concepción Arellano, papá y mamá, fue una bendición por sí misma. TODO lo que pueda llegar a alcanzar, cada pequeño o gran éxito, es sin duda alguna debido a su amor, a su dedicación, a su guía y a su excelencia como padres. Devolverles una mínima parte de lo que me han ofrecido tanto a mí como a mi hermana es el objetivo de mi camino. Os quiero como no acierto a describir.

Volver a casa con ellos, mis mastines, disfrutar del resto de la familia mientras fluye el mosto, tomamos aquellas croquetas y se pone a punto el arroz a la leña, más que suficiente.

Alzo la mirada, un beso abuela.

Me repito una y otra vez, convencido de ello, de que debo esmerarme para que mis acciones y mi vida diaria estén a la altura de lo que mis padres puedan esperar. Solo así estaré cerca de equilibrar la magnitud de lo recibido, con lo precario de lo que ofrezco.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<i>Índice de tablas</i>	v
<i>Índice de figuras</i>	vii
<i>Índice de abreviaturas</i>	ix
<i>Resumen</i>	xi
<i>Abstract</i>	xiii
I MARCO TEÓRICO	15
1.1. Introducción	17
1.2. Características del esfuerzo en el fútbol masculino	19
1.3. Mecanismos fisiológicos de la fatiga	20
1.3.1. Fatiga central.....	22
1.3.2. Fatiga periférica.....	22
1.3.3. Contextualización de la fatiga en el entrenamiento y la competición.....	23
1.3.3.1. Fatiga y entrenamiento.....	24
1.3.3.2. Fatiga y competición.....	26
1.3.3.2.1. Efectos fisiológicos de la competición.....	26
1.4. Parámetros fisiológicos para medir fatiga y recuperación	27
1.4.1. Hormonas.....	28
1.4.2. Daño muscular.....	33
1.4.3. Temperatura central.....	34
1.4.4. Capacidad muscular de producir fuerza.....	36
1.4.5. Radiación de calor (termografía Infrarroja).....	37
1.4.6. Concentración de lactato en sangre y acidosis muscular.....	38
1.4.7. Deshidratación.....	40
1.4.8. Depleción de glucógeno.....	41
1.5. Parámetros subjetivos para medir fatiga y recuperación	42
1.5.1. Escala de esfuerzo percibido de Borg.....	42
1.5.2. Escala de percepción de la calidad de la recuperación.....	44
1.6. La recuperación tras el ejercicio	46

1.6.1. Técnicas de recuperación post-ejercicio. Evidencias e implicaciones fisiológicas.....	49
1.6.1.1. Crioterapia.....	49
1.6.1.1.1. Efectos fisiológicos de la crioterapia.....	49
1.6.1.1.2. Exposición al frío a largo plazo y sus posible efectos negativos.....	50
1.6.1.1.3. Cámaras de frío.....	51
1.6.1.1.4. Chalecos de enfriamiento.....	51
1.6.1.2. Hidroterapia.....	52
1.6.1.2.1. Inmersión en agua fría.....	53
1.6.1.2.2. Baños de contraste.....	55
1.6.1.2.3. ¿Baños de contrastes o inmersión en agua fría?	56
1.6.1.3. Recuperación activa.....	56
1.6.1.4. Estiramientos.....	59
1.6.1.5. Masoterapia.....	60
1.6.1.6. Electroestimulación.....	63
1.6.1.7. Vendas de Compresión.....	64
1.6.1.8. Elevación de Piernas.....	65
1.6.1.9. Humidificación.....	67
1.6.2. Variables fundamentales en la recuperación.....	67
1.6.2.1. Nutrición.....	68
1.6.2.1. Sueño.....	70
1.6.3. Aplicación práctica de las evidencias científicas.....	71
II JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	75
III HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	79
3.1. Hipótesis.....	81
3.2. Objetivos.....	81
IV. MATERIAL Y MÉTODO.....	83
4.1. Diseño del estudio.....	85
4.2. Participantes.....	87
4.2.1. Fase experimental 1.....	87
4.2.2. Fase experimental 2.....	88

4.3. Pruebas de valoración	89
4.3.1. Composición corporal.....	89
4.3.2. Valoración cardiorrespiratoria.....	90
4.3.3. Valoración de la frecuencia cardiaca.....	91
4.3.4. Valoración de la flexibilidad.....	92
4.3.5. Valoración hormonal.....	92
4.3.6. Valoración de la temperatura timpánica.....	93
4.3.7. Percepción subjetiva del esfuerzo.....	93
4.3.8. Valoración del dolor muscular percibido	94
4.3.9. Escala de percepción de la calidad de la recuperación.....	95
4.4. Protocolo de investigación	96
4.4.1. Fase experimental 1.....	96
4.4.2. Fase experimental 2.....	98
4.5. Entrenamientos	100
4.5.1. Fase experimental 1.....	100
4.5.2. Fase experimental 2.....	101
4.6. Estrategias de recuperación	102
4.6.1. Fase experimental 1.....	102
4.6.2. Fase experimental 2.....	104
4.7. Variables del estudio	105
4.8. Análisis estadístico	107
V. RESULTADOS	109
5.1. Eficacia de estrategias de recuperación, combinadas y simples, en jugadores de fútbol de élite tras un entrenamiento específico durante la temporada	111
5.2. Efectos de estrategias de recuperación combinadas en jugadores de fútbol semi-profesionales tras un entrenamiento específico durante la temporada	115
5.3. Comparación de la eficacia de dos estrategias de recuperación combinadas entre jugadores de fútbol profesionales y semi-profesionales tras un entrenamiento específico durante la temporada	120
VI. DISCUSIÓN	125
5.1. Eficacia de estrategias de recuperación, combinadas y simples, en jugadores de fútbol de élite tras un entrenamiento específico durante la temporada	127

5.2. Efectos de estrategias de recuperación combinadas en jugadores de fútbol semi-profesionales tras un entrenamiento específico durante la temporada.....	131
5.3. Comparación de la eficacia de dos estrategias de recuperación combinadas entre jugadores de fútbol profesionales y semi-profesionales tras un entrenamiento específico durante la temporada.....	136
VII. CONCLUSIONES.....	139
VIII. LIMITACIONES DEL ESTUDIO, FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES PRÁCTICAS.....	143
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147
X. ANEXOS.....	169
10.1.1. Revistas indexadas en JCR.....	171
10.1.2. Revistas indexadas SCOPUS.....	171

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Resumen de diferentes estudios que miden niveles hormonales tras entrenamiento o competición.....	31
Tabla 2	Concentraciones de cortisol en saliva de una población de referencia tomado por los autores.....	33
Tabla 3	Resumen de los efectos fisiológicos de cada técnica basado en las evidencias presentados en el marco teórico.....	73
Tabla 4	Resumen de la relación entre objetivos de estudio y las metodologías llevadas a cabo en la presente tesis.....	86
Tabla 5	Diseño de la investigación para la aplicación de las estrategias de recuperación de la primera fase experimental.....	86
Tabla 6	Diseño de la investigación para la aplicación de las estrategias de recuperación de la segunda fase experimental.....	87
Tabla 7	Datos descriptivos (media \pm DT) de la muestra estudiada (n=20).....	88
Tabla 8	Datos descriptivos (media \pm DT) de la muestra estudiada (n=18).....	88
Tabla 9	Ecuación de Carter para estimar el % de grasa corporal a partir de pliegues.....	90
Tabla 10	Ecuación de Lee para estimar la masa muscular esquelética.....	90
Tabla 11	Variables dependientes.....	105
Tabla 12	Variables independientes.....	106
Tabla 13	Media \pm D.E. de la temperatura timpánica (TAT) en función del momento de medida y la técnica recuperación	112
Tabla 14	Media \pm D.E. del dolor muscular percibido (CR10) en función del momento de medida y la técnica recuperación.....	112
Tabla 15	Porcentaje de cambio de las variables del estudio entre diferentes momentos de medición.....	113
Tabla 16	Media \pm D.E. de la percepción de la calidad de la recuperación (TQR) en función del momento de medida y la técnica recuperación.....	114
Tabla 17	Media \pm D.E. de testosterona en función del momento de medida y la estrategia recuperación.....	115

Tabla 18	Media \pm D.E. del cortisol en función del momento de medida y la estrategia recuperación Media \pm D.E. del ratio testosterona/cortisol en función del momento de medida y la estrategia recuperación.....	116
Tabla 19	Media \pm D.E. del ratio testosterona/cortisol en función del momento de medida y la estrategia recuperación.....	116
Tabla 20	Media \pm D.E. de la temperatura timpánica (TAT) en función del momento de medida y la estrategia recuperación.....	117
Tabla 21	Media \pm D.E. del dolor muscular percibido (CR10) en función del momento de medida y la estrategia recuperación	117
Tabla 22	Media \pm D.E. de la percepción de la calidad de la recuperación (TQR) en función del momento de medida y la técnica recuperación.....	118
Tabla 23	Media \pm D.E. de la flexibilidad en función del momento de medida y la técnica recuperación.....	118
Tabla 24	Porcentaje de cambio de las variables del estudio entre diferentes momentos de medición.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Cadena de procesos fisiológicos que suceden entre el sistema nervioso central y el músculo durante la contracción muscular.....	21
Fig. 2	Tiempo de recuperación de diferentes sistemas fisiológicos tras la alteración de la homeostasis producida por el ejercicio, en función de la intensidad, duración y tipo de ejercicio.....	25
Fig. 3	Búsqueda de las palabras claves “muscle” y “fatigue”. La figura muestra un diagrama de barras, reflejando cada una de ellas el volumen de artículos publicados por cada década desde inicios del siglo XX.....	27
Fig. 4	Tres tipos de escalas subjetivas de esfuerzo percibido.....	43
Fig. 5	Escala CR10 de Borg.....	44
Fig. 6	Escala TQR de percepción de la calidad de la recuperación.....	45
Fig. 7	Modelo teórico de los mecanismos del masaje.....	61
Fig. 8	Relación de las diferentes fases de la investigación con los objetivos de estudio.....	85
Fig. 9	Ilustración de la prueba de Course Navette, indicando el recorrido del jugador durante los veinte metros, y las zonas de seguridad de tres metros....	91
Fig. 10	Test Seat & Reach.....	92
Fig. 11	Escala RPE6-20 de Borg para la valoración subjetiva del esfuerzo.....	94
Fig. 12	Escala CR10 de Borg utilizada en el presente estudio para medir dolor muscular percibido.....	95
Fig. 13	Escala TQR de percepción de la calidad de la recuperación.....	96
Fig. 14	Diseño experimental de una semana tipo.....	96
Fig. 15	Protocolo de actuación durante los días de toma de datos y aplicación de estrategias de recuperación.....	97
Fig. 16	Diseño experimental de una semana tipo.....	98
Fig. 17	Calentamiento realizado previo al test de flexibilidad.....	99
Fig. 18	Protocolo de actuación durante los días de toma de datos y aplicación de estrategias de recuperación.....	100

Fig. 19	Estiramientos realizados en ambas fases experimentales.....	103
Fig. 20	Percepción del esfuerzo (RPE) en las 4 sesiones de entrenamiento estudiadas (media±DE).....	111
Fig. 21	Frecuencia cardiaca media en las 4 sesiones de entrenamiento estudiadas (media±DE).....	111
Fig. 22	Percepción del esfuerzo (RPE) en las 3 sesiones de entrenamiento estudiadas (media±DE).....	115
Fig. 23	Frecuencia cardiaca media (FCm) en las 3 sesiones de entrenamiento estudiadas (media±DE).....	115
Fig. 24	Dolor muscular percibido en la estrategia CET para jugadores profesionales y semi-profesionales (Media ± D.E.).....	120
Fig. 25	Dolor muscular percibido en la estrategia EE para jugadores profesionales y semi-profesionales (Media ± D.E.).....	121
Fig. 26	Temperatura timpánica (°C) para la estrategia CET en jugadores profesionales y semi-profesionales (Media ± D.E.).....	122
Fig. 27	Temperatura timpánica (°C) en la estrategia EE en jugadores profesionales y semi-profesionales (Media ± D.E.).....	123
Fig. 28	Percepción de la recuperación (TQR) en la estrategia CET en jugadores profesionales y semi-profesionales (Media ± D.E.).....	124
Fig. 29	Percepción de la recuperación (TQR) en la estrategia EE en jugadores profesionales y semi-profesionales (Media ± D.E.).....	124

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

[La⁻]	Concentración de lactato
[H⁺]	Concentración de iones hidrógeno
ATP	Adenosin trifosfato
COR_b	Medición de cortisol en sangre
COR_s	Medición de cortisol en saliva
CR10	Escala de dolor muscular percibido CR10
EMG	Electromiografía
FC	Frecuencia cardíaca
FCm	Frecuencia cardíaca media
FCM	Frecuencia cardíaca máxima
La⁻	Lactato
H₂O	Agua
H⁺	Ión Hidrógeno
K⁺	Potasio
Ca²⁺	Calcio
CMJ	Santo con contramovimiento
MCV	Máxima contracción voluntaria
PC	Fosfocreatina
Pi	Fósforo inorgánico
PreE	Momento previo al entrenamiento
PostE	Momento inmediatamente posterior al ejercicio
PostR	Momento inmediatamente posterior a la recuperación
Post24	Momento 24 horas del inicio del entrenamiento anterior
RPE	Escala de esfuerzo percibido de Borg
SNC	Sistema nervioso central
TEST_b	Medición de testosterona en sangre
TEST_s	Medición de testosterona en saliva
TQR	Escala de recuperación percibida (<i>Total Quality Recovery</i>)
TQRperc	TQR percibido
TQRac	TQR acción
VO_{2max}	Consumo máximo de oxígeno
WBC	Cámaras de frío

RESUMEN

Los altos niveles de fatiga acumulados durante un partido de fútbol o entrenamientos de alta intensidad pueden llevar al jugador a estados de cansancio más o menos prolongados, de forma que vea disminuido su rendimiento e incrementada la posibilidad de aparición de lesiones. Por ello las estrategias de recuperación cobran vital importancia para asegurar que los jugadores puedan afrontar los esfuerzos siguientes con el mejor estado físico posible. Una óptima recuperación posibilitará realizar esfuerzos de mayor calidad y con un menor riesgo de lesiones.

En la presente tesis se llevaron a cabo dos intervenciones con el objetivo de (1) comparar estrategias de recuperación combinadas y simples en jugadores de fútbol profesionales, (2) evaluar la eficacia de estrategias de recuperación combinadas en jugadores de fútbol semi-profesionales y (3) comparar la eficacia de dos estrategias de recuperación combinadas entre jugadores de fútbol de profesionales y semi-profesionales.

Dichas intervenciones se llevaron a cabo mediante dos fases experimentales en periodo competitivo. La primera fue realizada durante cuatro semanas en la temporada 2010-2011 con un equipo profesional, mientras que la segunda se realizó en las tres primeras semanas de la temporada 2011-2012 con un equipo semi-profesional. En ambas se utilizó un diseño cruzado y aleatorizado para comparar los efectos de tres y cuatro estrategias de recuperación post-entrenamiento, respectivamente. Cada equipo se dividió de forma aleatoria en subgrupos y un día por semana los jugadores fueron evaluados antes del entrenamiento, inmediatamente después del mismo, tras la recuperación y tras 24 horas. Se midieron parámetros fisiológicos (temperatura timpánica y hormonas), subjetivos (escalas de esfuerzo percibido, dolor muscular y percepción de la recuperación) y condicionales (flexibilidad).

Los resultados muestran que no existieron diferencias a la hora de aplicar las estrategias combinadas o simples en jugadores de fútbol profesionales. En el grupo semi-profesional la estrategia que incluía inmersión en agua fría mostró mejores valores en las escalas subjetivas inmediatamente tras la recuperación, pero no se hallaron diferencias entre estrategias pasadas 24 horas. En la comparación de grupos de nivel, profesional y semi-

profesional, los resultados no mostraron diferencias a la hora de aplicar dos estrategias combinadas.

Tras los resultados obtenidos se concluye que la aplicación de estrategias de recuperación combinadas no muestra ser más eficaz en comparación con una estrategia de recuperación simple en un equipo de fútbol profesional. Por otro lado, cuando una estrategia de recuperación incluye inmersión en agua fría la recuperación muestra mayor eficacia en valores subjetivos, pero solo de forma inmediata tras la recuperación. Finalmente, el nivel de los jugadores no parece influir en la recuperación tras la aplicación de dos estrategias combinadas.

ABSTRACT

High levels of fatigue observed during a football match or high intensity workouts can lead the player to states of incomplete recovery that might result in underperformance and injury. Recovery strategies have a certainly importance since the recovery capacity after the training sessions or the competitions is considered to be one of the most decisive factors in subsequent performance. If we increase the quality of recovery after a high intensity training session or match, players will be able to make the next session in less time with higher quality.

This thesis carried out two interventions in order to (1) compare combined and simple recovery strategies in professional football players, (2) evaluate the effectiveness of combined recovery strategies in semi-professional players and football (3) compare the effectiveness of two combined recovery strategies among professional soccer players and semi-professionals.

Two experimental phases were performed during a competitive period. The first was carried out during 4 weeks at 2010-2011 season with a professional team, while the second lasted three weeks at the beginning of 2011-2012 season with a semi-professional team. A randomized crossover design was used to determine the effect of 3 and 4 post-training session recovery strategies, respectively. Each team was randomly divided into subgroups, and one day per week, data collection was done before and immediately after training, immediately after the application of recovery strategies and after 24 hours. Physiological parameters (tympanic temperature and hormones), subjective (RPE scales, CR10 and TQR) and conditional (flexibility) were measured.

The results show that there were no differences when applying the combined or simple recoveries in professional soccer players. The strategy including cold water immersion showed better subjective values immediately after training for semi-professional players. The results did not show differences between both professional and semi-professional teams after applying two combined recovery strategies.

Thus, It is concluded that combined recovery are not more efficient compare with a simple recovery in a professional football team. On the other hand, the combined use of recovery strategies shown to be more effective when includes cold water immersion, improving the perceived recovery immediately after training. However, after 24 hours no differences were found between strategies. Finally, the level of the players does not have influence when applying two combined recovery strategies.

I MARCO TEÓRICO

1.1. Introducción

Un programa de entrenamiento que tenga como objetivo maximizar las capacidades físicas de los jugadores de fútbol debe incluir sesiones de trabajo fatigantes de alta intensidad. Los periodos de recuperación tras este tipo de sesiones o tras la competición son periodos en los que el organismo se encuentra inmerso en diferentes procesos para adaptarse a la carga de trabajo sufrida y deben estar correctamente planificados (1). Los altos niveles de fatiga debido a las altas demandas del juego (2, 3) pueden llevar al jugador a estados de cansancio más o menos prolongados disminuyendo el rendimiento, así como a incrementar las posibilidades de aparición de lesiones (2, 4-7).

En el fútbol profesional los calendarios de las competiciones nacionales están establecidos para competir una vez por semana, existiendo un periodo de cinco a siete días de descanso entre partido. No obstante, la inclusión de competiciones nacionales paralelas (formato copa), competiciones internacionales por clubes y partidos con las selecciones nacionales hace que los jugadores de élite se vean envueltos con una mayor frecuencia en la competición, existiendo en muchas ocasiones entre dos y cuatro días para recuperar. Si este espacio de tiempo es suficiente para recuperar no parece quedar claro. Para corroborar este hecho los investigadores tratan de establecer si los calendarios congestionados (alta densidad competitiva) afectan de forma negativa a la recuperación y al rendimiento de los jugadores.

Por un lado, diferentes estudios llevados a cabo con equipos de fútbol profesionales no encontraron descenso en el rendimiento a nivel físico en periodos de alta densidad competitiva(8-10). Carling y col (9) compararon periodos de alta y baja densidad competitiva y no hallaron diferencias significativas en la distancia media recorrida o en la distancia recorrida a alta intensidad, además de que el número de lesiones producidas durante los partidos fue similar en ambos periodos. Los autores reflejan que estos resultados pueden ser debido a las rotaciones realizadas por los técnicos así como por la recuperación realizada tras los partidos. Dellal y col (8) encontraron similares resultados en cuanto al rendimiento, mientras que a nivel de lesiones hallaron que en los periodos congestionados del calendario el índice lesional era mayor en los partidos pero menor en los entrenamientos (este hecho podría deberse a que la exposición a la competición era mayor). Por otro lado existen

estudios que encuentran que la alta frecuencia competitiva sí tiene efectos negativos sobre el rendimiento de los jugadores. Ekstrand y col (11) mostraron que los jugadores que habían rendido menos a nivel físico durante el mundial habían jugado más partidos durante las diez semanas previas. Además observaron que el 60% de los jugadores que habían jugado más de un partido a la semana antes de la copa mundial tuvieron lesiones o bajo rendimiento durante el mismo. A su vez, Odetoyinbo (12) midieron la actividad realizada en los partidos de jugadores profesionales del Reino Unido durante un periodo de calendario congestionado (3 partidos en 5 días) para estudiar la recuperación entre encuentros. Los datos mostraron que el corto espacio de recuperación podría haber influido en el perfil de la actividad de los jugadores durante el partido, afectando a los metros recorridos a alta intensidad, claves en el rendimiento.

El proceso de recuperación no será importante solo tras la competición, sino tras sesiones de entrenamiento de alta intensidad, que puedan llevar a estados de fatiga (13). En estos casos una recuperación adecuada está considerada como uno de los factores más decisivos en el rendimiento de los esfuerzos que se realicen a posteriori (7, 14). Por estas razones, en el proceso de entrenamiento será importante tanto la carga de trabajo a la que sea sometido el futbolista como la carga de recuperación entre los diferentes esfuerzos (15). Incrementando la calidad de la recuperación podremos hacer que los futbolistas ejecuten la próxima sesión de entrenamiento en menos tiempo y con mayor calidad (16).

El interés de esta temática en la literatura científica ha sido creciente en los últimos años. En la actualidad existe una gran cantidad de investigaciones en las cuales se estudian diferentes procesos y estrategias de recuperación. Encontramos investigaciones que implementan estrategias de recuperación activa a través de ejercicios aeróbicos de moderada/baja intensidad (3, 17-19), estiramientos (2, 19, 20), estimulación eléctrica (21-23), hidroterapia (16, 24-31), investigaciones centradas en medidas nutricionales post-ejercicio (32-35) u otras focalizadas en el estudio del sueño y de las implicaciones que la falta de éste puede acarrear (36-39).

No obstante, hoy día no puede asegurarse que exista una técnica más eficaz que las demás. Cada técnica utilizada puede focalizar sobre ciertos aspectos concretos de la fatiga y al ser esta multifactorial, podría entenderse que una sola técnica de recuperación no sea

suficiente para una completa recuperación. Es posible que la combinación de técnicas sea una estrategia más adecuada, al actuar sobre diferentes aspectos de la fatiga. Hay autores que avalan esta hipótesis explicando que las estrategias de recuperación que combinan diferentes técnicas parecen ser más eficaces que aquellas que emplean una sola técnica para devolver al atleta a su estado inicial de bienestar (3, 4).

1.2. Características del esfuerzo en el fútbol masculino

El fútbol es un deporte de naturaleza intermitente en el que aparecen esfuerzos de alta intensidad como sprints, cambios de dirección o acciones cuerpo a cuerpo y esfuerzos de baja intensidad como andar o carreras a baja velocidad (40-42). En general, los deportes de equipo caracterizados por esfuerzos de alta intensidad tienen unas altas demandas a nivel perceptivo, psicológico y neuromuscular (43, 44).

Durante un partido de competición de élite un futbolista puede llegar a recorrer entre 9 y 12km (45-47). Los jugadores alcanzan una frecuencia cardíaca media (FCm) del 85% y una frecuencia cardíaca máxima (FCmáx) en torno al 98% del valor máximo, cubriendo alrededor de 2.4 km a alta intensidad, 0.6 de los cuales a sprint (47, 48). Los jugadores de élite emplean la mayor parte del tiempo en acciones de baja intensidad, mientras que los esfuerzos de alta intensidad constituyen el 10% de la distancia total cubierta por cada jugador (47, 49, 50). Según Hoff y col (51) los jugadores realizan entre 150 y 250 esfuerzos cortos de alta intensidad, 1 cada 30 segundos, produciéndose los de máxima intensidad cada 90 segundos. En los partidos de élite, un jugador debe correr a alta intensidad cada 60 segundos y realizar un sprint una vez cada 4 minutos (49). Todas estas demandas físicas de la competición van a generar grandes niveles de fatiga y podrá observarse incluso una disminución de la frecuencia con que los jugadores realizan esfuerzos de alta intensidad a medida que avanza el partido (2, 3).

Existen estudios que tratan de acotar los esfuerzos de alta intensidad (2, 52). Los mismos reflejan que en el fútbol de élite la distancia y duración de los sprints es corta, siendo raramente mayores de 20 metros en longitud y de 4 segundos en el tiempo. Esto sugiere que cuando el juego insta al jugador a esprintar, su capacidad de aceleración es más importante que su capacidad de máxima velocidad, ya que las demandas tácticas del juego probablemente hagan que sea imposible alcanzar la máxima velocidad.

1.3. Mecanismos fisiológicos de la fatiga

La fatiga puede ser entendida como el descenso en la capacidad de generar o mantener una fuerza o potencia requerida por parte de los músculos implicados durante la actividad física (53-59), pudiendo llegar a ser considerada como un mecanismo que procura evitar la aparición de lesiones o incluso la muerte (56). Abbiss y Laursen (56) usan el término fatiga para definir sensaciones de cansancio y descensos asociados en el rendimiento y la función muscular. Entienden que el ejercicio es finalizado por el atleta cuando ha llegado a estar exhausto, no fatigado. Por lo tanto cabría decir que la fatiga no comienza en el mismo momento en el cual el organismo falla, sino desde el comienzo de la actividad física donde empezará a desarrollarse de forma progresiva antes de que el músculo llegue al fallo en la tarea requerida. Según estas nociones podemos entender la fatiga como cualquier reducción en la habilidad para ejercer una fuerza o potencia durante el ejercicio, independientemente de si la tarea puede ser mantenida o no (53). Por otro lado, la fatiga puede ocurrir en ausencia de signos aparentes de disfunción muscular o inadecuada disponibilidad de sustratos en el músculo y puede ser influenciada por factores psicológicos (60).

Para Taylor y col (61) el concepto de fatiga no debe ser entendido como algo general y que ocurre sólo a nivel muscular, sino que se da a diferentes niveles del sistema de producción de fuerza, lo que engloba tanto a las propiedades contráctiles del músculo como a los niveles más altos fisiológicos y neurofisiológicos de generación del comando motor (62). De esta forma la fatiga puede darse a niveles periféricos y/o centrales (57-59, 61-64).

Durante el ejercicio las dificultades para mantener la fuerza inicial va a depender de la fatiga periférica que ocurre a nivel distal desde el punto de estimulación nerviosa (43) y de la fatiga central que resultará de un fallo para activar la musculatura de forma voluntaria (53). Como explica Weir (65), la fatiga central incluye hechos que se producen en el cerebro y espina dorsal, mientras que la fatiga periférica ocurre dentro de la unidad motora. A modo ilustrativo, en la figura 1 se puede encontrar una relación de los procesos fisiológicos que se suceden para llegar a la contracción muscular. El fallo o alteración en uno o varios de los procesos reflejados pueden tener como consecuencia el desarrollo de la fatiga (66). No

obstante, es muy difícil determinar el porcentaje de contribución a la fatiga en fútbol de los factores centrales y periféricos (43).

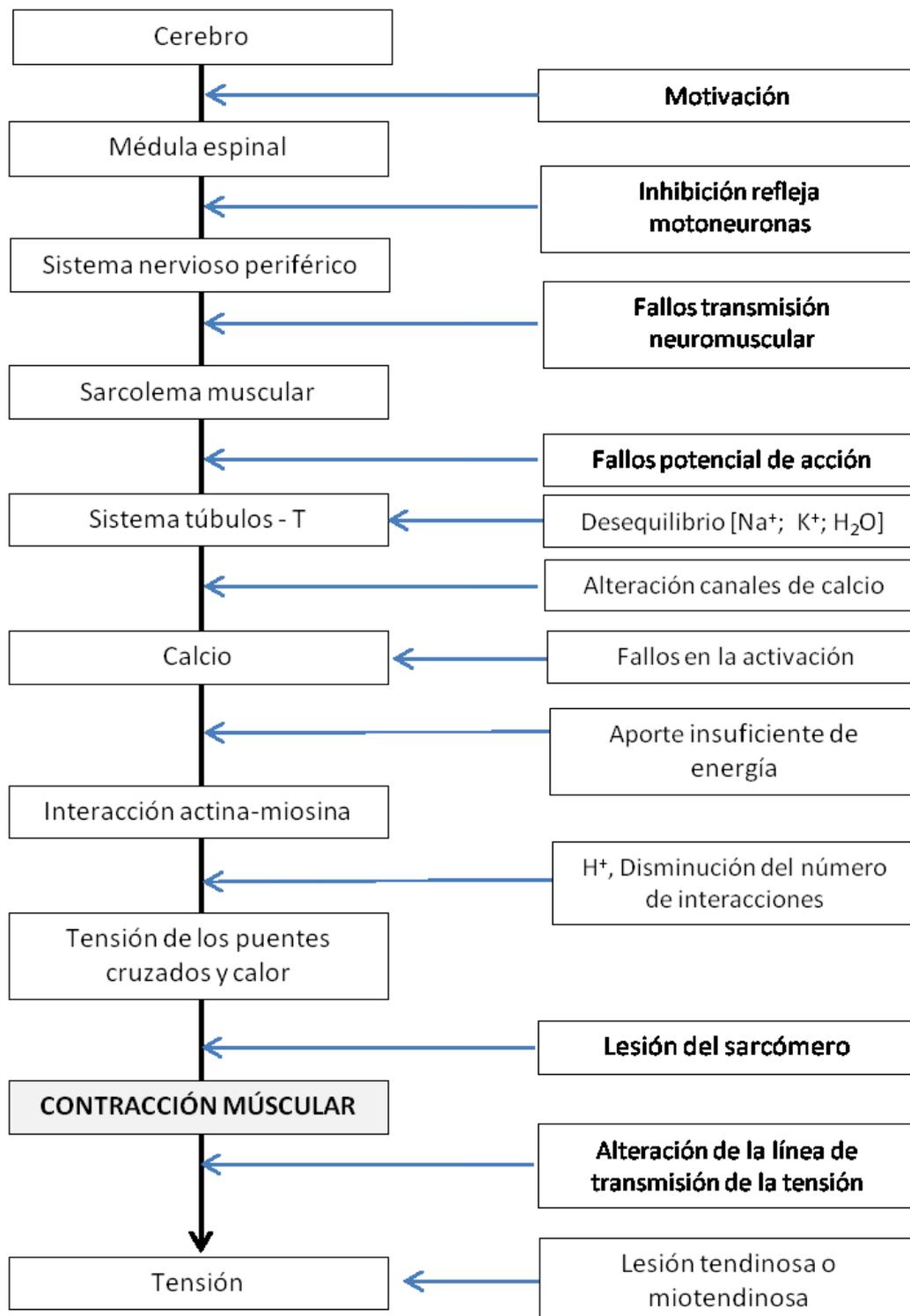


Figura 1. Cadena de procesos fisiológicos que suceden entre el sistema nervioso central y el músculo durante la contracción muscular. Extraída y modificada de López-Calbet (66).

1.3.1. Fatiga central

La hipótesis de la fatiga central se refiere a un fallo en el Sistema Nervioso Central (SNC) a la hora de reclutar al músculo esquelético (fallos a nivel proximal respecto al lugar de estimulación) (63, 67), lo que significa que existe una incapacidad para activar completamente un músculo de forma voluntaria (57, 64, 68). Este hecho lleva a una disminución en la capacidad para mantener una determinada fuerza o potencia, todo ello como consecuencia de una inadecuada activación neuronal (61).

Además, este modelo mantiene que las alteraciones en la concentración de diferentes neurotransmisores como la acetilcolina, serotonina o dopamina influyen negativamente en la densidad de impulsos neuronales que alcanzan a los músculos ejercitados (63, 69). La acetilcolina es el principal neurotransmisor involucrado en el sistema nervioso autónomo, especialmente en la placa motora. En bajas cantidades provoca la contracción muscular pero en cantidades elevadas puede llegar a inhibir la contracción muscular resultante de la estimulación del nervio (70). La serotonina es otro neurotransmisor que tiene un papel importante en la fatiga del SNC jugando un rol relevante en la regulación del estado de ánimo y ha sido relacionada a la fatiga debido a sus efectos conocidos sobre el sueño, letargo y somnolencia, y pérdida de motivación (71). Sin embargo, la serotonina no puede ser atribuida como causa de fatiga de forma independiente y debe ser relacionada con la dopamina de forma que sí se puede llegar a relacionar el ratio serotonina/dopamina directamente con la fatiga (72, 73). Cuando se produce un desequilibrio en el ratio debido a un aumento de la serotonina y un descenso en la dopamina se producirá una reducción en el rendimiento, mientras que si ocurre lo contrario la fatiga puede llegar a retrasarse (72). A este respecto, Foley y col (60) lanzan la hipótesis de que una disminución en la liberación de dopamina reduciría la activación de los ganglios basales y el córtex motor, llevando a una reducción de la conducción neural hacia los músculos esqueléticos y al inicio de la fatiga (60).

1.3.2. Fatiga periférica

La fatiga periférica implica que la habilidad de producir fuerza por parte del músculo se ha visto reducida (57, 64, 68). Taylor y col (55) se refieren a cambios producidos por el ejercicio

que son distales respecto al lugar de estimulación (al contrario que la fatiga central) y que aparecen como un descenso en las contracciones nerviosas o fuerza tetánica generada por los músculos. Nedelec y col (2012) (58) explican que la fatiga periférica parece estar relacionada con procesos de inflamación y daño muscular.

La fatiga periférica puede ser descrita como aquella fatiga originada mediante mecanismos ocurridos dentro de las propias células musculares (74). De forma más específica, Asmussen (75) explicó que en la fatiga periférica hay al menos dos lugares donde se producen los perjuicios al ejercicio: el mecanismo de transmisión (unión neuromuscular, membrana muscular y retículo sarcoplasmático) y el mecanismo contráctil (filamentos musculares). Para Schillings y col (76) el origen de la fatiga periférica incluye la unión neuromuscular, el sarcolema y el aparato contráctil, mientras que los mecanismos involucrados puede ser la excitación-contracción, la acumulación de metabolitos y la depleción energética (76).

En general, las causas de la fatiga periférica pueden ser muy dispares, encontrando que la reducción en la capacidad para general fuerza dentro del músculo puede estar causada por rupturas de las miofibrillas, incremento de fósforo inorgánico, alteraciones en el proceso de excitación-contracción como consecuencia de alteraciones en la liberación de calcio (Ca^{2+}), el alto nivel de acidosis, depleción del glucógeno, deficiencia en el funcionamiento del ciclo de estiramiento-acortamiento, una función alterada de la bomba sodio/potasio o un excesivo incremento de la temperatura muscular (53, 57, 76-81).

1.3.3. Contextualización de la fatiga en el entrenamiento y la competición.

El trabajo de Rey (7) menciona al estudio de Fernández (1992) y explica que en función del tiempo de aparición de la fatiga podemos encontrarnos con (a) la fatiga aguda, que provocaría un descenso en el rendimiento del futbolista y que puede prolongarse desde minutos hasta horas; (b) fatiga subaguda, que aparecería tras diferentes semanas de entrenamiento con insuficientes procesos de regeneración/recuperación; y (c) fatiga crónica o síndrome de sobreentrenamiento, que estaría causada por un desequilibrio entre entrenamiento (estrés) y recuperación (7). La primera de ellas se daría durante o inmediatamente después de la competición o entrenamiento de alta intensidad y es el

principal foco de atención en los estudios que investigan efectos de diferentes técnicas de recuperación tras el ejercicio.

1.3.3.1. Fatiga y entrenamiento

En el entrenamiento deportivo uno de los principios biológicos más importantes y con mayor aplicación es el principio de sobrecarga, el cual establece que para generar adaptaciones en el organismo deben procurarse estímulos que generen un estrés superior al acostumbrado y que llevarán a generar una serie de reacciones (síndrome de adaptación) que harán incrementar el rendimiento (82, 83).

La sesión de entrenamiento generará ese estrés en el organismo que va a afectar a la homeostasis y que llevará a que se produzcan ajustes con el fin de mantener constante el medio interno del organismo durante el ejercicio: elevación de la frecuencia cardiaca (FC) y la ventilación, redistribución del flujo sanguíneo, incremento en la temperatura corporal y un flujo metabólico alterado (1). Tras la sesión de entrenamiento estas adaptaciones agudas volverán a los niveles previos al ejercicio, pero en función de la intensidad, duración y modalidad del mismo cada cambio producido va a requerir un tiempo para volver a ese estado inicial (figura 2), es decir, será necesaria una recuperación para que el organismo vuelva lo antes posible a sus niveles iniciales y además permita que aparezca el fenómeno de la supercompensación, llevando al atleta a mejorar su capacidad de rendimiento (82, 83).

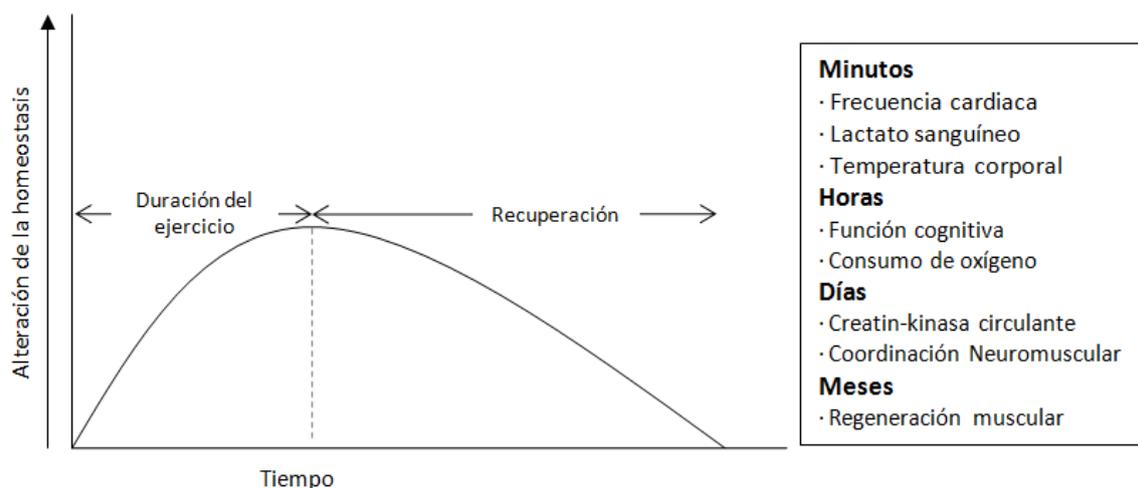


Figura 2. Tiempo de recuperación de diferentes sistemas fisiológicos tras la alteración de la homeostasis producida por el ejercicio, en función de la intensidad, duración y tipo de ejercicio. Extraída y traducida de Lambert y Mújica, 2013 (84).

De esta forma, mantener el equilibrio entre entrenamiento y recuperación en el día a día del jugador será necesario para prevenir el desarrollo de la fatiga. Si durante el proceso de entrenamiento aparece un desequilibrio entre ambos por una inadecuada recuperación podemos provocar que el organismo del atleta permanezca en un estado continuo de fatiga disminuyendo finalmente el rendimiento (85) y pudiendo dar pie a la aparición de lesiones (2, 4-7).

Algunos autores describen que hay una relación directa entre la cantidad de entrenamientos realizados por equipos de fútbol profesionales y el rendimiento físico durante la competición, determinado este mediante el tiempo total que los jugadores realizan carreras de alta intensidad (47, 86). En un estudio de Mohr y col (47) los autores revelaron que durante los periodos de competición donde se juegan partidos en un breve espacio de tiempo y el número de entrenamientos descendía, el rendimiento físico también lo hacía, sugiriendo que es necesario un programa de entrenamiento adecuado para no ver perjudicado el rendimiento durante la competición. No obstante, cabe preguntarse si este descenso en los metros recorridos a alta intensidad era por la falta de entrenamiento entre partidos o más específicamente por el escaso tiempo de recuperación, de forma que los jugadores pudieran verse inmersos en estados de fatiga aguda o subaguda. Como mencionan varios estudios, un periodo de tres a cuatro días entre partidos durante varias

semanas podría ser insuficiente para la completa recuperación del jugador, pudiendo llevar a fatiga crónica o a la aparición de lesiones (87, 88).

1.3.3.2. Fatiga y competición

Para tratar de conocer la evolución de la fatiga durante un partido de fútbol u otros deportes de equipo se han realizado análisis de partidos que revelan que tras esfuerzos de alta intensidad aparece un descenso transitorio en el ratio de trabajo, así como un descenso en la distancia cubierta por los jugadores y de la velocidad a medida que avanza la competición (89, 90). Diferentes estudios muestran como tras un partido de fútbol se requieren entre 48 o incluso más de 72 horas para alcanzar los valores condicionales previos, así como para llegar a la recuperación del daño y la inflamación muscular (43, 58, 87, 91).

La disminución de la capacidad para generar fuerza máxima, realizar saltos, sprints o cambios de dirección se ve disminuida tras el partido de forma significativa en comparación con los momentos previos (43, 92-94). La revisión realizada por Nedelec y col (58) mostró que entre los estudios analizados aparecen descensos de rendimiento de entre 2 y 9% en la capacidad de realizar sprints, un rango de descenso del rendimiento de entre 0 y 12% en la capacidad de máxima contracción voluntaria, 0 y 36% en la fuerza los flexores de rodilla, y de un 0 al 25% en los extensores de rodilla tienen (58).

1.3.3.2.1. Efectos fisiológicos de la competición

En la competición los jugadores se ven expuestos a altas demandas aeróbicas y anaeróbicas que lleva a grandes cambios metabólicos que deben contribuir al desarrollo de la fatiga observado durante y hacia el final del mismo (43, 86, 95). El glucógeno muscular, por ejemplo, se ve reducido entre el 40 y el 90% durante el juego y es probablemente el sustrato energético más importante, lo que hace pensar que su influencia en la fatiga tras el partido sea significativa (95). Existen otros factores como son el incremento de la creatinina en sangre o un aumento del dolor muscular ayudarán a que en los últimos tramos de un partido de fútbol la capacidad de mantener al máximo nivel las acciones de juego se vean reducidas (95-97). De hecho, los jugadores llegan a alterar en ocasiones sus patrones de movimiento no solo en respuesta al contexto de la competición sino también a la

acumulación de demandas fisiológicas, con el fin de continuar realizando esfuerzos de alta intensidad a media que la competición avanza (98). Pero además de estos factores relacionados con la fatiga periférica tras la competición, Rampinini y col (43) mencionan que será la fatiga central una de las principales causas para el descenso de la máxima contracción voluntaria y la capacidad para esprintar.

1.4. Parámetros fisiológicos para medir fatiga y recuperación

La fatiga como proceso por el cual se produce un descenso del rendimiento del organismo ha sido muy estudiado a lo largo de los últimos años. Sin embargo, puede encontrarse una primera referencia a la fatiga y los cambios producidos en el contexto muscular a inicios del siglo XX, cuando en el año 1904 Fletcher (99) publica un artículo referido a las propiedades osmóticas de músculo y sus modificaciones durante la fatiga. En la figura 3 puede observarse el creciente interés que tuvo esta temática desde que a inicios del pasado siglo se registró el primer artículo respecto a la fatiga muscular.

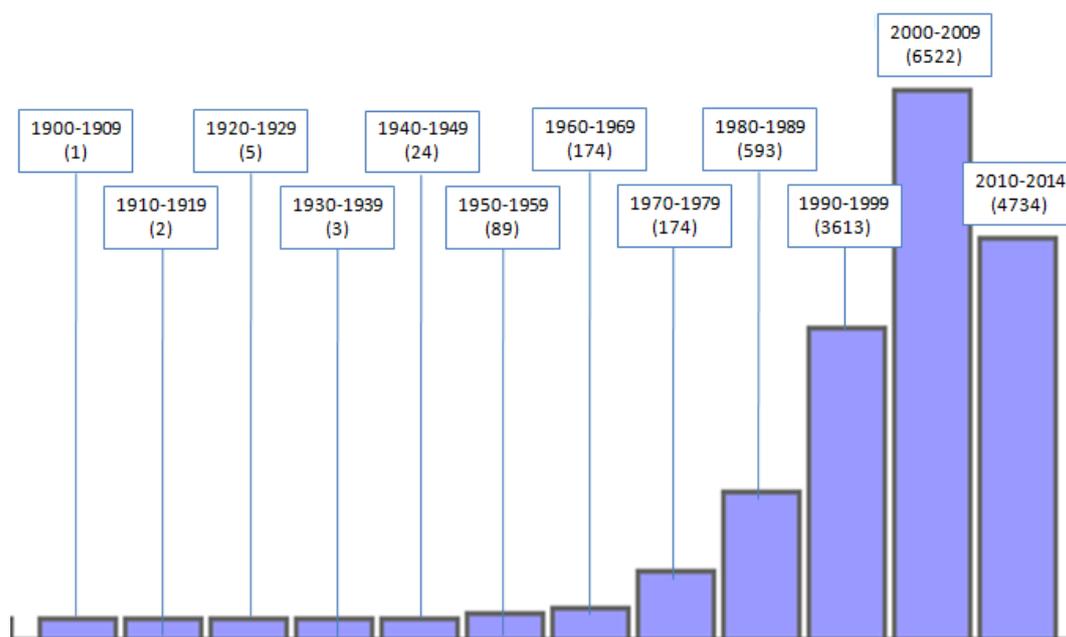


Figura 3. Extraída y modificada de la base de datos Medline. Búsqueda de las palabras claves "muscle" y "fatigue". La figura muestra un diagrama de barras, reflejando cada una de ellas el volumen de artículos publicados por cada década desde inicios del siglo XX. La barra más a la izquierda muestra la primera década del siglo XX, mientras que la barra de más a la derecha señala la década actual. Entre paréntesis el número de registros por cada década.

Desde entonces los estudios han intentado medir tanto la fatiga como el proceso de recuperación mediante indicadores fisiológicos de diferente tipo. La producción de ácido láctico (en músculos de anfibios) fue ya investigado en 1913 por Peters (100), publicándose dos décadas más tarde un artículo en el que se hablaba de forma explícita a cerca de la acidosis muscular, la acumulación de lactato y la depleción de glucógeno como indicadores de fatiga muscular (101). Con el tiempo fueron apareciendo estudios que relacionaban la fatiga con impulsos eléctricos (102), otros que estudiaban la unión neuromuscular (103) o estudios que empezaban a estudiar mediadores químicos como la adrenalina y su relación con la fatiga (104). Durante todo este tiempo la evolución en conocimiento gracias a la innovación tecnológica ha sido exponencial, existiendo un abanico muy extenso de indicadores en la actualidad. En el presente punto se exponen diferentes indicadores fisiológicos utilizados por los investigadores en la actualidad para medir los niveles de fatiga alcanzados por los atletas durante la práctica deportiva y la recuperación de la misma.

1.4.1. Hormonas

Los niveles de testosterona, cortisol y del ratio testosterona/cortisol han sido estudiados en diferentes deportes para medir niveles de fatiga post-competición (105, 106) o tras largos periodos de entrenamiento (105, 107), ya que ambas hormonas han sido propuestas como indicadores fisiológicos para evaluar el estado anabólico-catabólico del organismo, además de como índices de adaptación al entrenamiento del sistema endocrino (108, 109). En cuanto a su medición, algunos autores explican que la testosterona y el cortisol tomadas de la saliva miden mejor las fracciones biológicamente activas de esas hormonas que aquellas muestras obtenidas de la sangre (110, 111).

La testosterona es el principal indicador anabólico para la síntesis proteica (112) con un efecto preventivo contra la proteólisis (113, 114), y estimula el almacenamiento de glucógeno (114). Según Pillay (115) la relación entre el ejercicio y la testosterona no está libre de controversia, ya que podría discutirse si ésta es una variable que refleje el estado o el rasgo del sujeto. Entre miembros del mismo sexo podemos encontrar que algunos sujetos tienen valores dos veces más altos que otros (115, 116). En ocasiones el descenso en los niveles de testosterona pueden ser simplemente debidos a los cambios en los ciclos circadianos, pues existe evidencia que refleja que la concentración de dicha hormona

descenderá desde primeras horas de la mañana hasta la noche, independientemente de la inclusión de entrenamiento de fuerza o no (117, 118).

Por otro lado, el aumento de la testosterona será más común tras la realización de ejercicio de fuerza que en aquellos predominantemente aeróbicos (108, 110, 112). Como mostraron Izquierdo y col (119), parece ser que los valores basales de testosterona serán menores en aquellos deportistas que practiquen una actividad principalmente aeróbica. En cuanto al ejercicio con cargas, la magnitud del incremento de testosterona (120) tras este tipo de entrenamiento va a depender de la intensidad y el volumen del ejercicio (81, 121).

En el fútbol, la testosterona ha sido analizada tras la realización de partidos de competición y amistosos y en general la tendencia de los estudios muestra que no presenta valores post-ejercicio elevados (94, 105, 112, 122, 123). No hay que dejar de lado el componente psicológico a la hora de interpretar los datos de los niveles hormonales, pues como muestran algunas investigaciones se han encontrado niveles de testosterona post-competición más elevados en deportistas que han obtenido resultados positivos en comparación con aquellos que han obtenido un resultado final negativo (124, 125).

Diferentes investigaciones han mostrado elevados niveles catabólicos en la recuperación post-partido, principalmente debido a los altos valores de cortisol (94, 108, 112). El cortisol es la principal hormona catabólica con un rol importante en el aumento la degradación de proteínas y la disminución de la síntesis proteica (126-129). Aunque el cortisol no es la única hormona en sufrir cambios en sus valores debido al ejercicio será probablemente una de las hormonas con mayor reacción al mismo (130), siendo considerada una de las más relevantes hormonas de estrés (126). La razón por la cual se encuentran elevados niveles de cortisol tras la competición es multifactorial y hay que tener en cuenta que la respuesta de dicha hormona no solo dependerá del estrés físico sufrido por el atleta sino también del estrés psicológico (48, 131), pues su aumento se produce incluso antes de que comience la actividad como respuesta homeostática del organismo (131). Existen estudios que han mostrado elevados niveles de cortisol en los momentos previos y durante un partido de fútbol (123, 132, 133), como también ha ocurrido en otros deportes similares de características intermitentes como el fútbol australiano o el fútbol americano (106, 134-136).

Entre los mecanismos fisiológicos responsables de la aumento del cortisol tras la competición en fútbol Thorpe y col (112) mencionan que el cortisol tiene propiedades anti-inflamatorias, pudiendo ser necesario para paliar el daño muscular producido tras la competición y que la respuesta adrenal será mayor en ejercicios de naturaleza intermitente en comparación con ejercicios continuos.

Por otro lado, el equilibrio entre el estado anabólico y catabólico del organismo se representa por el ratio de testosterona/cortisol (110), habiéndose sugerido este ratio como un indicador potencial para la recuperación insuficiente o síndrome de sobreentrenamiento, ya que este desciende tras el ejercicio aeróbico intenso y un entrenamiento crónico de volúmenes elevados (137). Según Thorpe y col (112) un ratio disminuido está asociado a cansancio, letargo e incluso a una disminución de rendimiento. En la tabla 1 se puede observar cómo en función de la tarea que se realiza y de la duración del estudio podemos encontrar diferentes respuestas del organismo al ejercicio, observando en general que el cortisol muestra una tendencia a subir tras la actividad física y cómo la testosterona tiene una tendencia más irregular incrementando sus niveles en unos casos y descendiendo en otros.

Tabla 1. Resumen de diferentes estudios que miden niveles hormonales tras entrenamiento o competición.

Autor (año)	Tarea realizada o periodo de medición	Variable	Post-E	≥ Post-24h	Deporte
Silva y cols (2011)	12 semanas entrenamiento	TEST _s	↓		Fútbol
		COR _s	↑		
Filaire y cols (2001)	Seguimiento durante la temporada	TEST _s	↓		Fútbol
		COR _s	=		
Thorpe y cols (2012)	Partido de liga de competición	TEST _s	↑		Fútbol
		COR _s	↑		
Ispiridis y cols (2008)	Partido de entrenamiento	TEST _s	=	=	Fútbol
		COR _s	↑	=	
West y cols (2014)	Partido	TEST _s	↓	↓	Rugby
		COR _s	↑	↑	
Moreira y cols (2009)	Partido de entrenamiento	COR _s	=		Fútbol
		TEST _s	↓		
Elloumi y cols (2003)	Partido de entrenamiento	COR _s	↑	=	Rugby
		TEST _s	↑		
Gorostiaga y cols (2004)	11 semanas de entrenamiento simultaneo de fútbol y fuerza explosiva	TEST _b	↑		Fútbol
		COR _b	↓		
Silva y cols (2013)	Partido de fútbol profesional oficial	TEST _b	=	=	Fútbol
		COR _b	↑	↑	
García-Pallarés y cols (2009)	5 semanas periodo descanso activo	TEST	↑		kayak
		COR	↓		
	5 semanas periodo descanso pasivo	TEST	↑		
		COR	↓		

TEST_s: medición de testosterona en saliva; COR_s: medición de cortisol en saliva; TEST_p: medición de testosterona en sangre; COR_p: medición de cortisol en sangre. Post-E: primera medición post ejercicio o periodo de entrenamiento; = valores iguales a los basales; ↑ Valores incrementados respecto a los basales; ↓ valores disminuidos respecto a los basales.

En una evaluación a corto plazo, Thorpe y col (2012) analizaron 7 jugadores semi-profesionales antes y tras un partido de competición encontrando elevados niveles de cortisol post-ejercicio, explicando que esta respuesta puede estar condicionada tanto por el estrés psicológico propio de la competición como por la prolongada duración y naturaleza intermitente del esfuerzo físico. Por su parte, Filaire y col (138) encontraron un leve incremento del cortisol a lo largo de una temporada en 17 jugadores de fútbol. Los autores realizaron un estudio longitudinal durante una temporada midiendo cortisol y testosterona al inicio de la misma (T1), antes (T2) e inmediatamente después (T3) de un periodo de entrenamiento de alta intensidad y finalmente 16 semanas después (T4) de dicho periodo. Las muestras se tomaron al levantarse (8:00 am), antes de desayunar (11:30 am) y otra a la tarde (5:00 pm). Los autores hallaron que el cortisol tan solo incrementó durante el T3 a las 11:30 am, mientras que la testosterona mostró un descenso generalizado a las 8:00 am y a las 5:00 pm.

No se ha hallado en la literatura valores de referencia de testosterona y cortisol en saliva para jugadores de fútbol. En principio, los artículos basan sus discusiones en función del aumento o la disminución significativa de los niveles hormonales post-ejercicio respecto a los valores basales (94, 105, 109). Con el fin de conocer estos valores, Elloumi y col (106) tomaron muestras de hormonas en sus propios sujetos durante un día de descanso dos meses antes de realizar los test, y así tener unos valores de referencia específicos. Por su parte, Silva y col (105) ofrecen unos valores de referencia de testosterona y cortisol en sangre sin especificar la fuente de donde fueron obtenidos (testosterona = 2.9 - 13 ng·mL⁻¹; Cortisol = 30 – 150 ng·mL⁻¹). Finalmente, Aardal y Holme (139) realizaron un estudio con el fin de establecer valores de referencia en el cortisol en saliva y sangre a primera hora de la mañana (8:00am) y por la noche (10:00pm) (tabla 2), para el cual contaron con 123 hombres y 74 mujeres de entre 10 y 70 años.

Tabla 2. Concentraciones de cortisol en saliva de una población de referencia tomado por los autores. Modificado y traducido de Aardal y Holme (139)

Edad	Sexo	N	Cortisol (nmol/L)			
			Mañana		Tarde	
			Media	Rango	Media	Rango
21-30	V	26	10.0	3.1 – 20.5	2.2	<0.5 – 8.5
	M	20	14.6*	7.5 – 37.2	1.1	<0.5 – 2.9
31-40	V	37	12.1	3.3 – 42.8	1.4	<0.5 – 9.9
	M	22	15.0*	7.5 – 41.8	1.7	<0.5 – 3.7
41-50	V	30	11.4	4.9 – 30.0	1.6	<0.5 – 9.1
	M	9	11.4	3.0 – 35.7	2.2	0.7 – 5.0
51-60	V	21	10.3	3.1 – 22.4	1.6	<0.5 – 6.3
	M	13	10.0	4.1 – 20.4	2.6	6.0 – 7.0
61-70	V	7	9.7	4.7 – 18.2	2.2	0.7 – 3.7
	M	10	9.1	7.3 – 15.7	1.5	0.6 – 3.1
Total	V	121	10.7	3.1 – 42.8	1.8	<0.5 – 9.9
	M	74	12.0	2.6 – 41.8	1.8	<0.5 – 7.0
		195	11.9	2.6 – 42.8	1,8	<0.5 – 9.9

1.4.2. Daño muscular

El daño muscular inducido por el ejercicio es una rotura de la fibra muscular que incluye daño en la membrana celular y rotura de las miofibrillas, caracterizada por desorganización y pérdida de la integridad de las bandas Z (140), lo cual provocará una reacción inflamatoria y cambios en el proceso de contracción dentro del músculo que llevará a un descenso en la capacidad de éste para producir fuerza y por tanto una disminución de rendimiento, además de la aparición de dolor y sensación de debilidad y rigidez muscular (31, 87, 141-143). El dolor y la rigidez muscular aparecerán entre 24 y 48 horas tras el ejercicio y son consideradas junto con los demás efectos mencionados causas indirectas del daño muscular(144). Estos trastornos en el músculo pueden verse causados por una reanudación del entrenamiento tras un periodo de reposo, comienzo de un entrenamiento de fuerza, cambio en los contenidos de entrenamiento o un incremento de la intensidad y/o duración del ejercicio (145).

Durante la práctica deportiva el músculo ejecutará contracciones isométricas (longitud de las fibras constantes), concéntricas (acortamiento de fibras) o excéntricas (alargamiento de fibras), siendo estas últimas las principales responsables del daño muscular(146, 147). En el fútbol se realizan actividades de alta intensidad como esprintar, cambiar de dirección, saltar, golpear el balón, proteger el balón o luchar por una posición determinada en el

campo (42, 45-47, 95). Tras terminar un partido de fútbol se puede encontrar que todas estas sollicitaciones con fases excéntricas de alta intensidad han generado un daño muscular de mayor o menor nivel (58). La reparación de un fibras tras el partido de fútbol puede llevar hasta 4 ó 5 días pudiendo ser además un factor limitante en el rendimiento en deportes de equipo en momentos en los que la competición se da de forma muy seguida (148). La recuperación por tanto será básica para acelerar ese proceso de reparación. Uno de los indicadores estudiados para medir daño muscular es la creatinquinasa (CK) (149-152), siendo utilizado como indicador indirecto de recuperación tras el ejercicio en estudios que han utilizado tratamientos con aplicación de hielo (153), recuperación activa (16, 92) o vendas de compresión (154).

El daño en la membrana celular mencionada anteriormente tendrá como consecuencia la liberación de proteínas intracelulares al torrente sanguíneo, entre las que se encuentra la CK, que será por tanto un índice indirecto del daño muscular reflejando de forma específica los daños producidos en el sarcolema (150). Sin embargo, existe hoy día cierta controversia acerca de la idoneidad de la CK para medir daño muscular pues se piensa que es muy dependiente de diferentes variables centrales (155). Hay autores que explican que efectivamente la CK en sangre se ve elevada tras el ejercicio pero que existen grandes diferencias interindividuales que hacen dudar de la idoneidad de esta proteína como indicador fiable de daño muscular (143). La explicación a estas diferencias entre sujetos son limitadas y pueden estar influenciadas por el género, duración e intensidad del ejercicio, el estado de entrenamiento del individuo, predisposición genética o la distribución de cada tipo de fibra en los músculos esqueléticos (150).

1.4.3. Temperatura central

Aunque no hay evidencias claras respecto al comportamiento de la temperatura central con el ejercicio, parece ser que la tendencia es que aumente (156, 157). Diferentes estudios lo han comprobado tanto en ejercicios submáximos (3, 158) como en protocolos de esfuerzo máximos (159). No obstante, un estudio de Kistemaker y col (160) refleja que la temperatura central puede aumentar o descender sus valores tras el ejercicio en función del lugar de toma de temperatura.

Las personas entrenadas tienen mayor capacidad termorreguladora que los sedentarios, como se comprueban por la atenuada elevación de la temperatura central y la rápida activación de la sudoración durante el ejercicio submáximo de los primeros sobre los segundos (158, 161, 162). Este hecho lo mostraron Edwards y col (163), los cuales observaron que el efecto de un partido de fútbol en jugadores profesionales y amateurs sobre la temperatura central era diferente, pues esta aumentó en ambos grupos tras los primeros 45 minutos de juego, pero para los jugadores amateurs ésta siguió incrementando hacia el final del partido, mientras que para los profesionales siguió estable.

Un aumento excesivo de la temperatura central puede provocar un descenso de rendimiento (164, 165), aspectos que pueden darse especialmente en competiciones o entrenamientos en climas calurosos. Los jugadores que compiten en condiciones de calor (temperaturas a partir de 30º) (164) recorren menor distancia en el partido y muestran mayores niveles de fatiga que aquellos que compiten en condiciones ambientales de temperaturas más bajas (166, 167). Se conoce además que la temperatura central aumentada puede llevar a una alteración de impulsos neuronales (168), lo que a su vez puede llevar a un descenso del rendimiento del atleta no solo físico sino cognitivo (169), aspecto que incluso se ha podido comprobar en hipertermia pasiva (168-170).

Ozgunen y col (167) midieron temperatura central tras dos partidos de fútbol, uno con alto índice de calor ($36\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ y $61\pm 1\%$ humedad) y otro en condiciones de calor moderado ($34\pm 0,1^{\circ}\text{C}$; $38\pm 2\%$ humedad). Los resultados mostraron que los valores de la temperatura central incrementaron a medida que avanzaron ambos encuentros, siendo mayor post-partido que pre-partido, aunque los autores señalan que la temperatura pico se alcanzó alrededor del minuto 30 en ambos partidos, sugiriendo que la temperatura central medida al final del mismo puede no reflejar la temperatura pico alcanzada cuando existen condiciones de calor y humedad. Según Racinais y col (170) los jugadores que compiten en condiciones de calor durante un prolongado periodo de tiempo terminan por sufrir adaptaciones fisiológicas al mismo, y ven disminuida su temperatura central y el umbral de temperatura para la sudoración.

1.4.4. Capacidad muscular de producir fuerza

La capacidad o habilidad de producir fuerza puede ser un indicador viable para medir la fatiga y la recuperación post-ejercicio (57). Esta capacidad puede ser determinada mediante la medición de la máxima contracción voluntaria (MCV), a través de test de fuerza (sprint o saltos) o electromiografía (EMG) (43, 44, 171). En diferentes deportes en los que los atletas realizan esfuerzos de alta intensidad de forma intermitente, como el fútbol, se observan descensos en los picos de velocidad o en la distancia total recorrida a alta intensidad a medida que transcurre la competición, siendo estos cambios en los parámetros de rendimiento de campo relacionados con una disminución en la función musculo-esquelética, observable a través de la reducción en la MCV y CMJ (57).

Como explican Rampinini y col (43) la disminución en la capacidad muscular de producir fuerza puede estar condicionada por factores periféricos o centrales. En su estudio, esta capacidad fue determinada midiendo las propiedades contráctiles del cuádriceps mediante estimulaciones eléctricas, la MCV mediante un test de fuerza de extensión de rodilla y sprints. Estas pruebas las realizaron antes, inmediatamente después, 24 y 48 horas tras un partido de fútbol amistoso en 20 jugadores profesionales. El estudio desprende que la fatiga tras un partido de fútbol será una combinación de factores periféricos y centrales, destacando una relación de la fatiga central con el descenso de la MCV y el descenso en rendimiento en sprints (20+20m con 180º cambio de dirección), mientras que la fatiga periférica la asociaron al dolor muscular y a las respuestas mecánicas a estimulaciones de baja frecuencia.

Con el fin de determinar la capacidad de recuperación del organismo tras dos partidos de fútbol de élite femenino de categoría sub17, Andersson y col (92) midieron la capacidad de producir fuerza del músculo mediante un test de CMJ, sprint de 20 metros y máxima fuerza isocinética en la flexión y extensión de rodilla. Estas mediciones las realizaron inmediatamente después, 5, 21, 45, 51, y 69 horas tras un primer partido de fútbol, e inmediatamente después de un segundo partido. En este caso los autores hallaron una reducción significativa en el sprint, CMJ y en la fuerza isocinética tras el primer partido. El test de sprint volvió a sus valores normales antes que el test de fuerza isocinética, mientras que el test de salto vertical aún no había recuperado al iniciar el segundo partido. La

medición de la capacidad de producir fuerza del músculo mediante test de fuerza isocinética, sprint, salto o electroestimulación va a ayudar a observar la recuperación de la función muscular. Según Minnet y Duffield (57) no siempre se observarán descensos de rendimiento tras el ejercicio, pues esto dependerá del deporte y de la carga a la que sea sometido el atleta y habrá que tener en cuenta que los cambios en la función neuromuscular están afectados además por la duración de la medición (172) y la proximidad de los test a la conclusión del ejercicio (171).

1.4.5. Radiación de calor (termografía infrarroja)

La termografía infrarroja es una técnica que permite medir y producir una imagen visible de la temperatura de los objetos. A través de imágenes térmicas de alta resolución podemos tener información acerca del sistema de termorregulación del organismo, obteniendo un perfil térmico general o local del sujeto y así información de las respuestas fisiológicas al ejercicio (173). Según Barnes (102), mediante la termografía infrarroja se estima la temperatura de las diferentes aéreas corporales mediante el registro de la radiación infrarroja liberada por la actividad metabólica y el flujo sanguíneo del cuerpo humano.

En la actualidad hay un creciente interés por la utilización de la termografía para monitorizar procesos de recuperación de lesiones y procesos de recuperación tras el ejercicio (174-176), pues mediante la detección de alteraciones en la temperatura pueden detectarse posibles lesiones (177). Esto es posible ya que se conoce que la reacción inflamatoria del organismo (aumento del flujo sanguíneo debido a una mayor activación celular) (178) provoca imágenes hipertérmicas (179), mientras que por el contrario se podrán observar imágenes hipotérmicas cuando hay compresión o la zona estudiada del cuerpo tiene procesos degenerativos (180). Según Garagiola (180), la termografía infrarroja no va a revelar alteraciones anatómicas, sino el estado de los tejidos, siendo el tipo de alteración térmica dependiente de la intensidad del fenómeno biológico que esté sucediendo en el organismo (178).

A la hora de monitorizar la temperatura de la piel mediante la termografía infrarroja con el fin de conocer cómo evoluciona el proceso de recuperación tras el ejercicio o tras una lesión, será importante observar que los valores vuelven a su estado inicial por un lado, y

por otro, que mediante la comparación directa de áreas contralaterales los valores estén equilibrados (174-176).

Gómez y col (181) explican que durante el proceso de recuperación, incluso tras 24 horas, si una de las zonas corporales no llega a disminuir su temperatura como lo hace su zona contralateral es porque los procesos metabólicos locales están aumentados, señal de que el organismo está necesitando de más tiempo para recuperar los tejidos en esa zona, con lo que podremos intuir un posible daño en los tejidos aunque el atleta no tenga dolor. Habrá que tener en cuenta que en función del tipo de deporte practicado, el perfil térmico de cada persona puede cambiar, encontrando que la extremidad dominante suele presentar unos valores más altos de forma constante (181).

1.4.6. Concentración de lactato en sangre y acidosis muscular.

Un deporte como el fútbol implica realizar esfuerzos cortos de alta intensidad unido a periodos más largos de moderada y baja intensidad, pudiendo llegarse a alcanzar durante la competición altos niveles de lactato sanguíneo con valores entre $3-6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ hasta $12 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, además de una elevada acidosis (41, 182). Para Mohr y col (41) estos valores sugieren que el sistema energético anaeróbico está muy demandado durante periodos del juego que se dan a alta intensidad.

Entendiendo la acumulación del lactato (La^-) y la acidosis muscular y sanguínea como una de las causas principales de la fatiga muscular, muchos estudios se han centrado históricamente en encontrar las técnicas de recuperación adecuadas con el fin de hacer disminuir el La^- y el estado ácido del organismo lo antes posible, siendo la recuperación activa con ejercicios aeróbicos de baja intensidad uno de los más utilizados (183-186). Se sabe que el ejercicio de alta intensidad prolongado en el tiempo requiere de la glucólisis anaeróbica para abastecer de energía al cuerpo, con el consecuente incremento en la acumulación de ácidos inorgánicos, de los cuales el ácido láctico es el más importante a nivel cuantitativo (77). Este ácido se disocia en La^- e iones hidrógeno (H^+), siendo el aumento en las concentraciones de H^+ la principal causa atribuida a la fatiga muscular (77).

Sin embargo, según Nedelec y col (58), la eliminación de La^- tras la realización de una actividad no implicaría necesariamente un incremento en el rendimiento en el ejercicio

subsiguiente, pues existen estudios que han encontrado un descenso de la concentración de lactato ($[La^-]$) tras la recuperación activa sin que haya una recuperación en el rendimiento (187, 188). El paradigma del lactato y la acidosis muscular como causa de la fatiga muscular está cambiando con el paso de los años y ha sido discutido por diferentes autores (189, 190) que muestran que esta reducción finalmente tiene un efecto pequeño en la contracción muscular a temperaturas fisiológicas (77). Así, parece ser que tanto el aumento de la $[La^-]$ como el aumento de la $[H^+]$ no son principales responsables de la aparición de la fatiga (191).

Peinado (192) explica que existen 3 posturas diferenciadas que tratan de explicar este hecho: una primera desarrolla que la fuente de los H^+ que causan la acidosis es la hidrólisis del adenosin-trifosfato (ATP) no mitocondrial, siendo dicho ATP la fuente para generar iones de hidrógeno en lugar del lactato (193). La segunda postura defiende la explicación tradicional de que el ácido láctico es la principal causas de la acidosis en el ejercicio (194), no aceptando las nuevas hipótesis (193). La tercera postura estaría formada por los defensores de la aproximación físico-química de Stewart, exponiendo que el estado ácido-base está relacionado por tres variables y que por tanto el lactato no es el único responsable de la acidosis en el ejercicio, siendo incorrecto explicar dicha acidosis basándose en el mero incremento de ácido láctico (195).

También se encuentra el debate entre el ácido láctico y el fósforo inorgánico para explicar la principal causa de fatiga muscular. Westerbland y col (77) explican que además de la acidosis, el metabolismo anaeróbico en el músculo esquelético incluye la hidrólisis de la fosfocreatina (PC) a creatina y fósforo inorgánico (Pi), acumulándose este debido a la actividad muscular intensa. Esta acumulación de Pi puede afectar negativamente a la contracción muscular de dos formas: (a) los modelos de puentes cruzados proponen que el Pi es liberado en la transición de contracciones musculares de baja intensidad a contracciones de alta intensidad, implicando que dicha transición se vería dificultada por la acumulación del Pi; (b) por otro lado, el incremento de Pi podría afectar a la liberación de Ca^{2+} sobre el retículo sarcoplasmático, dificultando el proceso de contracción muscular (77). Además hay que tener en cuenta que en seres humanos la correlación entre una función muscular deteriorada y un pH reducido no está siempre presente, pues en ocasiones se

encuentra como la capacidad de producir fuerza se recupera antes que el pH tras la finalización de un ejercicio fatigante (196).

A la vista de los estudios publicados en la literatura, estamos lejos de un consenso para establecer si la acidosis muscular generada tras el ejercicio físico es causa de la fatiga muscular.

1.4.7. Deshidratación

La deshidratación es un proceso que se origina con la práctica deportiva como consecuencia de la pérdida de fluidos a través del sudor, que llevará a los atletas a disminuir sus capacidades físicas, incrementando su ritmo cardíaco y la temperatura central (197). En la fase de recuperación los atletas van a necesitar una compensación de los fluidos perdidos, ya que la capacidad de rendimiento óptimo y la salud de los deportistas dependen en gran medida de un equilibrio hidroelectrolítico adecuado, el cual va a ser puesto en peligro durante el ejercicio debido a la redistribución de agua y electrolitos entre diferentes zonas corporales y además, por la pérdida de líquidos mediante el sudor (1). Debido a que los sujetos hidratados serán más tolerantes al ejercicio prolongado (198) la hidratación durante el ejercicio será también de vital importancia. Si la pérdida de fluidos se mantiene por debajo del 0.5% del peso corporal no parecen encontrarse efectos negativos, mientras que a partir de esa cifra el rendimiento puede verse negativamente afectado, con una inadecuada regulación de la temperatura, función cardiovascular o metabolismo muscular (199). La medición de la deshidratación más común para este propósito es la medición del peso antes y después de la realización de la actividad física, controlando la cantidad de líquido ingerida durante la misma (166, 200).

Son varios los autores que afirman que tras la finalización de un partido de competición jugando en condiciones térmicas neutras se pierde en torno al 2% de la masa corporal debido a la pérdida de líquidos (4, 35, 58), o en otros términos, más de 3 litros de fluidos (41, 45, 201), lo cual puede llevar a un descenso en el rendimiento. La pérdida de masa corporal por fluidos de un 1-2% contribuye a la elevación de la temperatura central, al estrés cardiovascular y a un posible descenso de rendimiento (41, 200), mientras que más de un 5% puede llevar a un descenso del rendimiento de hasta un 30% (199). Armstrong y

col (202) mostraron como una pérdida de peso correspondiente a un 2% de pérdida de peso puede llevar a un 20% de descenso en el rendimiento aeróbico.

Según Nedelec (58), la correcta hidratación juega un papel fundamental en la recuperación tras el ejercicio, ya que la pérdida del volumen del líquido intracelular reduce el ratio de síntesis de glucógeno y proteínas. Estos problemas de deshidratación pueden tener menor presencia en las sesiones de entrenamiento en fútbol, donde el cuerpo técnico puede regular los ratios de actividad/descanso y por tanto la regulación de la ingesta de los líquidos. En periodos de entrenamiento donde se realizan más de una sesión al día, la rehidratación y reposición electrolítica cobrará una especial importancia tras la sesión, sobre todo si estos períodos, como suele ocurrir en fútbol, se suceden en épocas de condiciones climatológicas adversas (7).

1.4.8. Depleción de glucógeno

El glucógeno muscular es uno de los sustratos energéticos utilizados por el organismo de un futbolista durante un partido (46) y su depleción puede ser una de las causas principales para la fatiga hacia el final del mismo (46, 47, 58, 203). Krustup y col (80) observaron como al final de un partido de fútbol la fibras musculares mostraban estar vacías o parcialmente vacías de glucógeno, pudiendo verse disminuida la concentración del mismo hasta en un 75% (204). La reducción de glucógeno muscular como resultado del ejercicio prolongado estimulará la síntesis de glucógeno durante la recuperación, de forma que la ingesta de alimentos ricos en carbohidratos tras la finalización del ejercicio llevará por un lado a incrementar el ratio de síntesis de glucógeno y por otro, a incrementar el nivel de glucógeno incluso por encima de los niveles pre-ejercicio (1).

Pueden encontrarse estudios que estiman que el momento idóneo para la ingesta y reposición de hidratos de carbono está en las dos primeras horas tras el cese de la actividad física (205-207). Ivy y col (208) observaron que los sujetos que ingerían carbohidratos inmediatamente tras el ejercicio mostraban una cantidad de glucógeno muscular tras 6 horas mayor que aquellos que realizaron una ingesta una vez transcurridas dos horas de la finalización del mismo (208). Rey (7) explica que durante estas dos primeras horas tras el ejercicio existe una mayor permeabilidad de la membrana de la célula muscular o incluso

una mayor actividad de enzimas como el GLUT4, asociadas a la síntesis de glucógeno (209). Por su parte, durante la primera hora tras el ejercicio se incrementa la sensibilidad a la insulina y la permeabilidad de la membrana celular a la glucosa, dándose los mayores ratios de resíntesis de glucógeno muscular (208), lo cual puede ser consecuencia principalmente al hecho de que la enzima glucógeno-sintetasa se activa por la depleción de glucógeno (210).

1.5. Parámetros subjetivos para medir fatiga y recuperación

El interés por la medición del dolor en el ámbito clínico y por establecer de forma subjetiva la intensidad del esfuerzo durante y tras el ejercicio data desde finales de la década de los cincuenta e inicios de la década de los sesenta (211-214). Desde entonces ha sido muy amplio el uso que se ha dado a diferentes escalas subjetivas con el fin no solo de establecer valores subjetivos de fatiga sino también de recuperación. A continuación se describen las principales escalas utilizadas en el deporte en general y en la presente investigación en particular.

1.5.1. Escalas de esfuerzo percibido de Borg

El modelo de Borg está basado en que el ratio subjetivo de una intensidad de esfuerzo debe ser aproximadamente igual para todos los sujetos, ofreciendo la teoría para desarrollar una serie de escalas verbales numéricas con respuestas escalonadas en intervalos (215). De esta forma, la escala de esfuerzo percibido o *Rate of Perceived Exertion* (RPE) de Borg (216, 217) tiene como fin cuantificar la carga de entrenamiento que percibe el sujeto o los niveles de fatiga alcanzados por el atleta durante y tras el ejercicio (215, 218-221). Esta escala tiene una función de aumento lineal durante un test incremental (215) de hecho Seliga y col (222) documentaron que los valores de RPE aumentan significativamente con el incremento en la carga de trabajo, estableciendo una carga muy alta en valores de 14-16. Por otro lado, se han encontrado niveles moderados-altos de fatiga en valores de RPE de 15, que representa el 75%-90% del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) (221). Cabe decir que la escala de esfuerzo percibido de Borg no solo se usa para determinar intensidad de trabajo en test de laboratorios, pues esta escala está muy bien aceptada en la bibliografía referida al fútbol, existiendo diferentes estudios que la han empleado en entrenamiento o competición (223-227).

Por otro lado, se puede encontrar en la bibliografía otros tipos de escalas subjetivas de esfuerzo percibido (Figura 4). La escala original RPE6-20 desarrollada por Borg (217) es una escala de 15 puntos, donde 6 es el valor más bajo y 20 el más alto, la cual fue diseñada con el fin de proporcionar datos que se incrementaran linealmente con la intensidad del estímulo, la FC y el consumo de oxígeno (VO_2) para el trabajo aeróbico de un carácter estable en cicloergómetro (217). Posteriormente se desarrollaron las escalas de Borg CR10 (215, 216, 218) y CR100 (228) las cuales tienen indicaciones verbales y numéricas relacionadas y ordenadas de forma gradual para estimar la magnitud del esfuerzo (215).

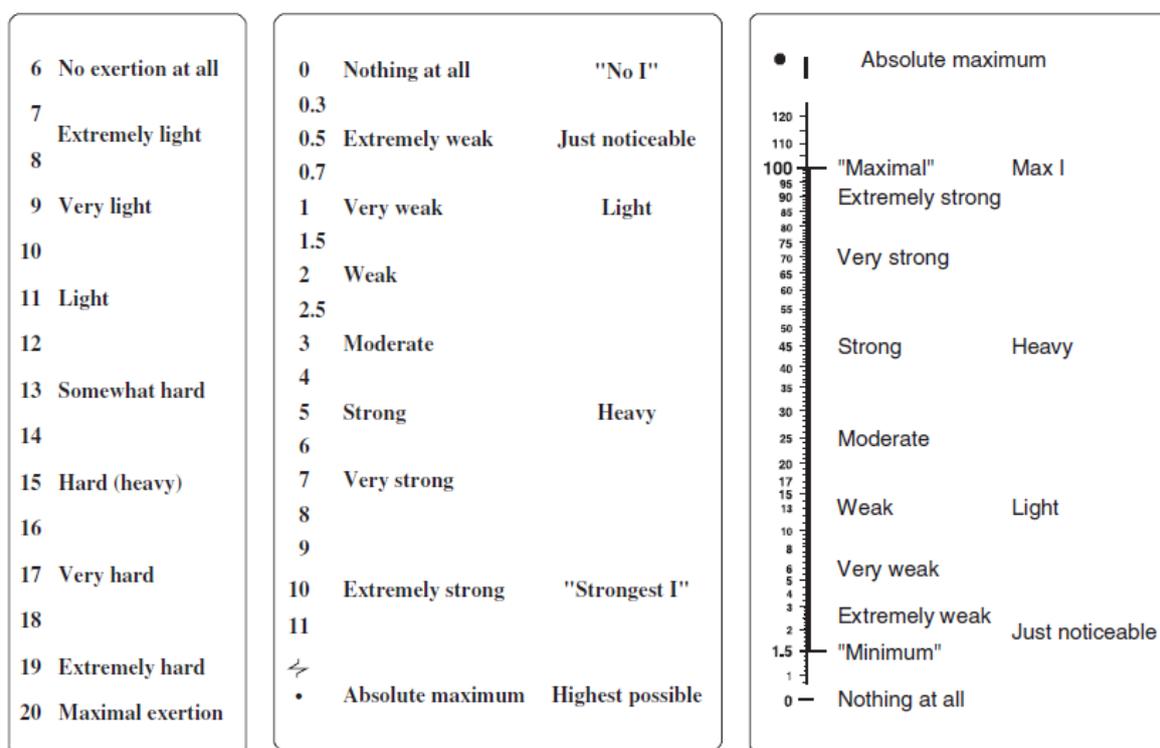


Figura 4. Tres tipos de escalas subjetivas de esfuerzo percibido, tomada de Borg y Kaijser (215). Izquierda: Escala de Borg RPE (217, 218); centro: Escala de Borg CR10 (216, 218); derecha: Escala de Borg CR100 (228).

Con la escala CR10, la idea de Borg (216) fue realizar una escala numérica simple donde cada valor estuviera sujeto a una expresión verbal que fuera entendible por la mayoría de los sujetos, y que fuera fácil de reconocer visualmente. En su artículo de 1982, Borg propone que la escala RPE6-20 es más aconsejable para usarla como escala de esfuerzo percibido mientras que la CR10 sería especialmente adecuada para determinar otros síntomas subjetivos, como dificultades respiratorias o dolor localizado. No obstante, la escala CR10 de

Borg ha sido utilizada tanto para medir percepción subjetiva de esfuerzo en fútbol (figura 5) (223, 226) como para medir dolor muscular específico (218, 229) tanto en extremidades superiores (230), zona lumbar (231) o en extremidades inferiores (232).

Rating	Descriptor
0	Rest
1	Very, very easy
2	Easy
3	Moderate
4	Somewhat hard
5	Hard
6	
7	Very hard
8	
9	
10	Maximal

Figure 5. Escala CR10 de Borg tomada de Impellizzeri (223). Esta escala fue modificada por Foster y Col (233) y usada por Impellizzeri (223) con el objetivo de medir el esfuerzo percibido.

1.5.2. Escala de percepción de la calidad de la recuperación

La escala de percepción de la calidad de la recuperación o *Total Quality Recovery* (TQR) (234) ha sido utilizada en diferentes investigaciones para medir el proceso de recuperación tras el ejercicio físico (3, 7, 218, 225, 234). Usando la escala TQR el proceso de recuperación puede ser monitorizado y relacionado con la escala RPE de Borg, ayudando al atleta, al igual que la RPE, a mejorar o incrementar la capacidad de evaluar su propio estado focalizando la atención en las señales psicofisiológicas derivadas de su propio cuerpo (234). Los autores Kentä y Hassmén (234) explican que el principal objetivo a la hora de desarrollar esta escala es optimizar el equilibrio entre entrenamiento y recuperación, y además reducir el riesgo de lesiones por sobreuso, esto es, ayudar a mantener al atleta en un estado de salud óptimo y disponible para llevar a cabo el mayor número de entrenamientos posibles. Además, desarrollaron la escala TQR basándose en la escala RPE de Borg (216, 217) (figura 6), con el fin de generar una escala lo más sencilla de usar posible y relacionarla con uno de los métodos más usados en la ciencia para determinar sensaciones subjetivas.

Rey (7) alude al principio de supercompensación para explicar que a mayor magnitud del estímulo más larga deberá ser la recuperación, y explica que por esta razón los autores que idearon esta escala (234) abogaron por monitorizar el proceso de recuperación en estrecha relación con la carga de entrenamiento, relacionando la escala TQR con la RPE.

Ratings of perceived exertion (RPE)	Total quality recovery (TQR)
6	6
7 Very, very light	7 Very, very poor recovery
8	8
9 Very light	9 Very poor recovery
10	10
11 Fairly light	11 Poor recovery
12	12
13 Somewhat hard	13 Reasonable recovery
14	14
15 Hard	15 Good recovery
16	16
17 Very hard	17 Very good recovery
18	18
19 Very, very hard	19 Very, very good recovery
20	20

Figura 6. Escala TQR de percepción de la calidad de la recuperación, tomada de Kentä y Hassmén (234). Izquierda: Escala de Borg RPE (216, 217); Derecha: Escala TQR de Kentä y Hassmén (234).

La escala TQR que se ha explicado es lo que Kentä y Hassmén (234) llamaron TQR percibida o subjetiva (TQRperc). Pero además de esta crearon otra escala llamada TQR acción (TQRac), más compleja, con el fin de objetivizar la recuperación. Con ambas escalas los autores pretendían integrar aspectos cualitativos (TQRac) y cuantitativos (TQRperc) de la recuperación. Más concretamente, la escala TQRac monitoriza las acciones de los atletas en 4 principales áreas: nutrición e hidratación, sueño y descanso, relajación y apoyo emocional, estiramiento y descanso activo. Durante las primeras 24 horas tras el entrenamiento o

competición, los atletas deben puntuar sus acciones, encuadradas en estas 4 áreas, teniendo cada una de ellas un número máximo de puntos de recuperación (nutrición e hidratación: 10, sueño y descanso: 4, relajación y apoyo emocional: 3; estiramiento y descanso activo: 3), siendo el máximo para la TQRac 20 puntos.

Al igual que en el presente estudio, hay autores que se han centrado en la TQRperc para monitorizar la recuperación de jugadores de fútbol. Brink y col (225) midieron la recuperación durante una temporada completa en jugadores de fútbol de un mismo equipo (17 ± 0.5 años), pidiendo a los jugadores antes de cada partido y cada entrenamiento que evaluaron su nivel de recuperación a través de la TQRperc, encontrando que la puntuación media fue de 14.7 ± 1.3 (buena recuperación). Por su parte, Kinugasa (3) uso la TQRperc para medir tres tipos de recuperación tras tres partidos amistosos en jugadores adolescentes (14 ± 0.7 años), preguntando a los jugadores dos horas antes del partido, 10 minutos tras el partido, inmediatamente tras la estrategia de recuperación, y 24 tras el partido. Según la TQRperc los jugadores recuperaron peor utilizando una recuperación pasiva (estiramiento y elevación de piernas) que cuando realizaron una recuperación combinada activa (inmersión en agua fría y recuperación activa en cicloergómetro).

1.6. La recuperación tras el ejercicio

La recuperación es un proceso multinivel (psicológico, fisiológico y social) para el restablecimiento de las habilidades de rendimiento (235), que deberá focalizarse en todos sus niveles posibles (236). El principal objetivo de la recuperación será devolver el cuerpo y la mente a los niveles en los que se encontraban antes de la actividad con la mayor celeridad posible (236). Rey (7) describe el proceso de recuperación como gradual y acumulativo, que finalizará al lograr el restablecimiento eficiente del estado del sujeto a nivel fisiológico, psicológico, conductual, social y ambiental y que incluirá a los subsistemas cardiovascular, hormonal, endocrino y muscular. La fatiga producida tras la competición o el entrenamiento de alta intensidad puede estar relacionada con múltiples factores, tanto a nivel periférico como central, como se comentó ampliamente en el punto 1.3. Así, se entiende que el proceso de recuperación debe incluir una estrategia de recuperación adecuada para atender al mayor número de causas posibles de fatiga. Para este fin pueden utilizarse más de una técnica de recuperación, existiendo en la bibliografía un gran número

de estudios que nos da la posibilidad de conocer mejor qué tipo de recuperación puede convenir en función del tipo de ejercicio realizado o momento de entrenamiento en que nos encontremos.

Existe un patrón de recuperación bifásico del rendimiento muscular que incluye una fase de rápida recuperación relacionada con la fatiga metabólica tras las primeras horas después del ejercicio (regeneración energética), seguida de una fase más lenta de recuperación que se llevará a cabo en los días posteriores centrada en el daño muscular (regeneración estructural) (87). Conocer este hecho ayudará a entender mejor los procesos de regeneración del organismo y por tanto a optimizar las técnicas de recuperación que apliquemos.

La programación de la recuperación post-ejercicio tendrá como objetivo la aceleración de la recuperación del organismo en estado de fatiga, de forma que en la relación estrés/recuperación esta segunda se vea beneficiada. Con el balance positivo a favor de la recuperación los atletas podrán tolerar mayores cargas de entrenamiento en un corto espacio de tiempo y ver aumentados los efectos positivos del entrenamiento (13). Llegado este punto cabe diferenciar entre los términos estrategia de recuperación y técnica de recuperación, que para esta investigación han sido clasificados como dos conceptos diferentes: por *técnica de recuperación* se entiende aquel procedimiento, recurso o protocolo específico de recuperación llevado a cabo en un momento específico que focaliza en unas determinadas causas de la fatiga. Las técnicas de recuperación serán las herramientas a través de las cuales se llevarán a cabo las estrategias de recuperación. El concepto de *estrategia de recuperación* puede entenderse como un proceso regulable, un conjunto de acciones encaminadas a paliar los efectos de la fatiga focalizando en el mayor número de causas posibles de la misma y que puede englobar desde una a varias técnicas específicas de recuperación. La estrategia de recuperación será la planificación de las medidas a tomar que incluirá aquellas que se llevarán durante todo el proceso de entrenamiento/competición, antes, durante e inmediatamente después de la realización de la actividad física, tanto a corto, medio o largo plazo.

La recuperación activa con ejercicios aeróbicos de moderada/baja intensidad es una de las más estudiadas (3, 17-19); junto con estiramientos (2, 19, 20), hidroterapia (16, 24-31), la

estimulación eléctrica (21-23) o las medidas nutricionales post-ejercicio (32-35). El estudio del sueño (36-39) es un área que está tomando de mayor relevancia también en los últimos años.

Nedelec (87) expone datos sobre las preferencias de los equipos profesionales de fútbol franceses a la hora de implementar estrategias de recuperación tras los entrenamientos. Estos muestran que la crioterapia y los baños de contrastes fueron los más utilizados (88%), seguidos de la recuperación activa (81%), masajes (78%), estiramientos (50%), vendajes de compresión (22%) y estimulación eléctrica (13%). Se menciona también que la nutrición y la hidratación fueron consideradas estrategias de recuperación eficaces por el 97% de los profesionales, así como el sueño (95%).

No obstante, aún hoy día no puede asegurarse siguiendo los resultados de la literatura científica qué técnica de recuperación es la más eficaz. Esto es debido probablemente a que cada técnica utilizada focaliza sobre ciertos aspectos concretos de la fatiga, siendo esta multifactorial, por lo que parece ser que una sola técnica es insuficiente como para poder denominarla la más eficaz dentro del proceso de recuperación. Así, la combinación de técnicas podría ser la mejor de las estrategias, focalizando en diferentes aspectos de la fatiga (metabólicos, neuronales o cognitivos). Barnett (4), en su revisión, avala esta hipótesis, mencionando que las estrategias de recuperación que combinan diferentes técnicas parecen ser más eficaces que aquellas que emplean una sola técnica para devolver al atleta a su estado inicial de bienestar.

Pero el proceso es más complejo si cabe, ya que como explica Tessitore (5), a pesar de que el fútbol es un deporte de equipo el entrenamiento debería incluir fases individualizadas, y debido a que la eficacia de las estrategias de recuperación pueden presentar variabilidades interindividual, podría sugerirse usar diferentes estrategias de recuperación con diferentes jugadores (5).

1.6.1. Técnicas de recuperación post-ejercicio. Evidencias e implicaciones fisiológicas

1.6.1.1. Crioterapia

La crioterapia puede definirse como el enfriamiento del cuerpo con fines terapéuticos (237). Se han propuesto a lo largo de los años diferentes métodos de enfriamiento entre los que se encuentran las cámaras de frío para el cuerpo entero (*whole body cryotherapy*), la inmersión en agua fría, chalecos de enfriamientos o la aplicación de masaje con hielo (238).

1.6.1.1.1. Efectos fisiológicos de la crioterapia

En general, tras la exposición al frío se genera una disminución de la temperatura de diferentes tejidos, una vasoconstricción y una reducción de la inflamación o analgesia (237, 239-241). La vasoconstricción se va a producir por la acción del frío sobre la piel y los vasos sanguíneos y por la estimulación de los receptores cutáneos que llevarán a una excitación de fibras adrenérgicas sensoriales, que al aumentar su actividad van a provocar dicho fenómeno. Esto llevará a una disminución del flujo sanguíneo hacia los tejidos periféricos que reducirá los procesos locales metabólicos, además de atenuar la respuesta inflamatoria y la formación del edema alrededor del tejido dañado (241). Por otro lado, la analgesia localizada provocará un alivio del espasmo muscular en las zonas expuestas y consecuentemente una reducción del dolor muscular. La causa de estos efectos podría ser una disminución de la velocidad de conducción del impulso nervioso en las fibras sensitivas, de la actividad del huso muscular, de la respuesta de estiramiento reflejo y de la espasticidad, lo que acaba por inhibir el ciclo de dolor (242). Wilcock y col (243) propone además que la reducción de la sensación de dolor viene dada no sólo por la reducción de la velocidad de conducción nerviosa, sino además por una reducción de la necrosis y por un descenso del metabolismo de las células, lo que lleva a reducir el daño muscular y finalmente la sensación del dolor.

Poppndieck (238) explica en una revisión realizada en 2013 que los efectos positivos que tiene la aplicación de frío sobre la recuperación de diferentes capacidad físicas (resistencia, salto y fuerza) son muy pequeños y que en todo caso será la cualidad del sprint la que puede verse más beneficiada, posiblemente debido a una recuperación mayor de las capacidades neuromusculares, de las cuales depende la velocidad (238).

1.6.1.1.2. Exposición al frío a largo plazo y sus posibles efectos negativos

Parece existir cierta duda a la hora de aplicar la crioterapia como medio de recuperación de forma consecutiva durante largos periodos de tiempo por la posibilidad de disminuir los efectos beneficiosos y las adaptaciones al entrenamiento (244). Frolich y col (245) observaron como la inmersión en agua fría aplicada de forma continua a largo plazo (5 semanas de entrenamiento de fuerza) afectó de forma negativa a la adaptación al entrenamiento de fuerza en miembros inferiores. Aunque ese efecto negativo fue pequeño, y los autores explican que la probabilidad de que los efectos fueran relevantes era del 40%, es otro dato más a tener en cuenta a la hora de aplicar la crioterapia de forma sistemática como técnica de recuperación.

Esto puede ser debido a la supresión parcial de las proteínas de estrés (*heat shock proteins*) que se da como consecuencia de la exposición al frío (87, 246). Las proteínas de estrés están encargadas de funciones como la protección celular, facilitación de la adaptación muscular, regulación del metabolismo energético y relación con la respuesta del sistema inmunológico, además de luchar contra las alteraciones en la síntesis de otras proteínas celulares (247). Cualquier tipo de estrés que altere la homeostasis del organismo, como va a ser el entrenamiento, va a hacer que se produzcan este tipo de proteína de estrés con el fin de ayudar a esos procesos regenerativos mencionados (247). Por lo tanto, si efectivamente la exposición al frío de forma prolongada conlleva una disminución en la expresión de estas proteínas, teniendo en cuenta el rol de las mismas, esta exposición podría llevar a una disminución de la adaptación del organismo a las cargas de entrenamiento.

Son varios los autores que afirman que la crioterapia o exposición al frío, mediante inmersión en agua fría principalmente, puede ser beneficiosa para mejorar el rendimiento y reducir el dolor muscular en periodos de competición muy congestionados, pero que no será apropiada en periodos de entrenamiento donde el objetivo sea la adaptación del organismo, ya que se puede interferir con los procesos de reparación y adaptación (87, 244, 246).

1.6.1.1.3. Cámaras de frío

La crioterapia con cámaras de frío consiste en una exposición a temperaturas extremadamente frías (-100°C a -160°C) durante cortos periodos de tiempo (2-5 minutos) en cámaras o habitaciones habilitadas para producir un frío seco (240, 241). Las personas que se introducen dentro de las cámaras visten con un pantalón corto o ropa de baño, guantes, una banda de lana que cubre las orejas, una máscara que cubre nariz y boca, y unos zapatos y calcetines secos, todo ello en para reducir el riesgo de problemas relacionados con el enfriamiento.

Experimentos llevados a cabo en cámaras de frío han comprobado como los voluntarios experimentaban menor sensación de fatiga, incremento del estado de ánimo o incluso mejora del sueño (242). Ziemann y col (239) observaron que tras 5 días consecutivos de entrenamiento de media intensidad y aplicación de crioterapia en dichas cámaras dos veces al día, se reducían los niveles de marcadores inflamatorios y que incluso se produjo una potenciación en el efecto del entrenamiento.

En una revisión realizada por Bleakley y col (237) se expone que aún existen resultados preliminares sobre los efectos positivos de esta técnica sobre mediadores de la inflamación, capacidad oxidativa, función autonómica y la mejora de la percepción de la recuperación y el dolor tras el ejercicio. A día de hoy no existe evidencia de que las cámaras de frío aporten mayores ventajas que el resto de métodos de crioterapia (237).

1.6.1.1.4. Chalecos de enfriamiento

Los chalecos de enfriamiento son un método para combatir la hipertermia leve (248, 249). Las demandas metabólicas del músculo ejercitado y la necesidad de disminuir la temperatura de la piel sobre todo en ambientes calurosos y húmedos harán que la producción de calor exceda la disipación del mismo, aumentando entonces la temperatura central en exceso hasta que se llegue a producir la hipertermia (250). Esta puede perjudicar el rendimiento del atleta disminuyendo el tiempo hasta el agotamiento en pruebas de resistencia (251), además provocar golpes de calor como consecuencia de un fallo en el sistema de termorregulación (250). Además, la hipertermia puede acelerar e incrementar el

metabolismo de carbohidratos y descender el aporte de oxígeno a los músculos ejercitados, lo que pueden provocar un estado de fatiga del atleta antes de lo normal (252).

Los chalecos de enfriamiento son utilizados tanto pre-ejercicio como post-ejercicio. De forma previa al ejercicio podrían ayudar a mejorar el rendimiento debido a una mejora en la capacidad de almacenamiento de calor, retrasando los efectos de la hipertermia mencionados en el párrafo anterior (248, 253). El enfriamiento producido por los chalecos puede atenuar el incremento de la temperatura central y temperatura de la piel, además de reducir la FC durante la carrera en condiciones de calor (254, 255). Cuando se ha utilizado como medio de enfriamiento y recuperación entre dos series de ejercicios aeróbicos ha mostrado mayores beneficios sobre la FC, la ventilación y el VO_2 en los primeros minutos de la segunda serie de trabajo que otras técnicas como la inmersión en agua fría (256).

Sin embargo, existen estudios que no muestran resultados positivos, como el de Brade y col (248), que midieron la temperatura central de sujetos que realizaron 30 minutos de cicloergómetro al 75% del consumo de oxígeno máximo ($VO_{2máx}$) en condiciones de calor (35 ± 1.4 °C; $52\pm 4\%$ humedad). En el estudio se llevaron a cabo 3 tipos de vuelta a la calma diferente, usando (i) chalecos de enfriamiento de miofibras con un gel (cristal) en los bolsillos para enfriar (Heat Cooling Vest), (ii) chalecos de neopreno que como material refrigerante que contenía PC17 (sustancia cristalina y sólida para absorber calor) en los bolsillos o (iii) recuperación pasiva sin ningún tipo de chaleco. Durante la recuperación los sujetos se ubicaron en una habitación aclimatada a 24.9 ± 1.8 °C y 39 ± 10 % de humedad. Finalmente los autores no encontraron beneficios asociados a la utilización de chalecos de gel o de PC17 en el descenso de la temperatura central de los participantes.

1.6.1.2. Hidroterapia

Mediante la hidroterapia el atleta realiza una inmersión en agua como proceso de recuperación. Aunque dentro del agua puede realizarse recuperación activa, en este punto nos centraremos en una recuperación pasiva (sujeto estático) donde las variables a tener en cuenta serán la temperatura del agua, la duración, el momento y la profundidad. Atendiendo a estas cuatro variables que se proponen en la literatura (87, 257) y a su posibilidad de combinación encontramos un número casi ilimitado de protocolos para

aplicar la hidroterapia, lo que hace que la comparación de los resultados entre los estudios deba ser cautelosa. En la revisión realizada por Versey y col en 2013 (257) los autores exponían que las temperaturas utilizadas en la literatura para trabajar la inmersión en agua fría oscilan entre los 5 y los 20°C, siendo lo más común ver 5°C o el rango de 10-15°C. En cuanto a la duración, las inmersiones tienen una gran disparidad, oscilando entre 3-20 minutos y existiendo protocolos que las realizan de forma continuada (5-20 minutos) o interválica (inmersiones de 3-5 minutos con pausas de 1-2.5 minutos). Además, la aplicación de la hidroterapia suele darse entre los primeros 30 minutos después de acabada la actividad física, de forma inmediata, si bien también puede darse una aplicación más extendida en el tiempo donde esta técnica se lleva a cabo varias veces al día durante varios días o incluso semanas (257).

La profundidad será un factor importante a tener en cuenta en las inmersiones en agua. Cuando una persona permanece de pie en el agua experimenta una presión externa que lleva a una compresión que actúa sobre el cuerpo hacia dentro y hacia arriba, provocando que las sustancias gaseosas y líquidas se muevan hacia las áreas de baja presión (258). Este hecho hace que al sumergirse una en el agua a la altura de la cadera haya un mayor flujo de fluidos desde las extremidades inferiores hacia la caja torácica, siendo este movimiento de fluidos (aumento del retorno venoso) lo que puede hacer que se mejore recuperación tras el ejercicio (259). Así, a mayor profundidad mayor será la presión hidrostática a la que se ve sometido el organismo, y esto puede llevar además a una elevación del gasto cardíaco, del flujo sanguíneo muscular y de la difusión de productos de desecho metabólicos desde el músculo a la sangre (259). Por otro lado se puede ver disminuido el tiempo de transporte de oxígeno, nutrientes y hormonas a los músculos fatigados (243, 259), además de limitar el edema tras el ejercicio lo que puede llevar a una reducción del dolor muscular y a mantener el transporte de oxígeno a los músculos, facilitando el mantenimiento de su función contráctil (259).

1.6.1.2.1. Inmersión en agua fría

El agua fría como medio de recuperación también podría ser encuadrada dentro de las técnicas de crioterapia ya que aplica frío como medio de recuperación. Esta técnica va a producir efectos fisiológicos similares a los que se expusieron en el punto “Efectos

fisiológicos de la crioterapia”, es decir, disminución de la temperatura muscular y del daño muscular, vasoconstricción, relativo descenso del flujo sanguíneo, reducción de la respuesta inflamatoria, reducción de edemas localizados y analgesia localizada (59, 87, 260). Pueden encontrarse estudios que describen efectos positivos de esta técnica en el rendimiento del atleta (261, 262), aunque no puede hablarse de consenso pues en ocasiones no se encuentran dichos efectos positivos o estos son leves (261-263).

Comparada con la recuperación pasiva, parece ser que la inmersión en agua fría es beneficiosa durante la recuperación para mejorar la fuerza, la potencia y reducir el dolor y el daño muscular (245). Dune y col (264) mostraron que la inmersión en agua fría durante 15 minutos a 5 y a 8°C fue más eficaz que la recuperación pasiva (sujetos sentados en seco). Los sujetos realizaron dos test en tapiz rodante hasta el agotamiento, y entre ambos se llevó a cabo una de las tres recuperaciones. En las dos técnicas que emplearon inmersión en agua fría los sujetos aumentaron su rendimiento.

Roswell y col (142) compararon dos protocolos de recuperación tras los partidos de fútbol celebrados en un torneo de 4 días de duración, realizando inmersión en agua fría (10°C) e inmersión en agua a temperatura neutral (34°C). La primera de ellas fue más efectiva a la hora de reducir la percepción de dolor muscular en las piernas y la fatiga en general, además de mejorar los datos de partido de los jugadores, mediante un menor descenso de la distancia recorrida en competición. Otros estudios muestran que la inmersión en agua fría mejora la recuperación tras entrenamiento de alta intensidad en ciclistas en comparación con baños de contraste o recuperación pasiva (29), o promueve una mejor recuperación en la capacidad de aceleración (sprint de 20 metros) en jugadores de baloncesto durante un torneo de 3 días, en comparación con recuperación basada en la utilización de vendas de compresión o estiramiento más ingesta de carbohidratos (262).

Aun así, estos estudios están centrados en los efectos a corto plazo de la inmersión en agua fría, mientras que a largo plazo la crioterapia en general puede tener efectos negativos, como se señaló en el punto “1.6.2.1.2. Exposición al frío a largo plazo y sus posibles efectos negativos”.

1.6.1.2.2. Baños de contraste

La terapia de contraste utiliza la inmersión combinada en agua fría y caliente, si bien esta última se encuentra en ocasiones como ducha de agua caliente. Diferentes estudios practican principalmente contrastes con 1 minuto de agua fría y 1-2 minutos de agua caliente con un total de entre 6 a 15 minutos de terapia (257, 265-267), no existiendo consenso sobre si es más ventajoso terminar con agua fría o caliente (257). Se puede pensar que debido a los efectos positivos del frío sobre el dolor muscular y la sensación de bienestar localizado debido a la analgesia, finalizar la terapia con bajas temperaturas podría ser más adecuado (268).

Hay autores que reflejan la dificultad para conocer el mecanismo por el cual esta técnica mejoraría la recuperación ya que este tipo de protocolo parece no alterar la temperatura de los diferentes tejidos. Un posible mecanismo por el cual esta técnica sería eficaz es que la acción del contraste provoca un cambio de temperatura que lleva a una alternancia de vasodilatación-vasoconstricción, lo que puede provocar una reducción de edemas a través de una acción de bombeo, influyendo en la reducción del espasmo muscular y en respuesta inflamatoria o aclarado de sustancias de desecho (4). A este respecto Gill y col (16) mostraron que la terapia de contrastes ayudó a aclarar los niveles de creatinquinasa en jugadores de rugby, en comparación con la recuperación pasiva. También se ha sugerido que el baño de contrastes puede alterar la perfusión muscular induciendo un trasvase de fluidos desde el interior de la célula muscular a los vasos sanguíneos, lo que puede llevar a un daño menor en la célula muscular (Vaile, 2007).

Higgins y col (269) observaron como el baño de contrastes fue más eficaz en la mejora del rendimiento de habilidades anaeróbicas que la inmersión en agua fría en 26 jugadores de rugby. No obstante no siempre se encuentren efectos positivos en la recuperación, como muestra el estudio de Coffey y col (267), que no hallaron diferencias entre los efectos de terapia de contrastes, recuperación pasiva o activa, tras un test hasta el agotamiento en tapiz rodante. Los baños de contraste muestran mejores datos en la recuperación del dolor y la función muscular que la recuperación pasiva, mientras que al ser comparada con otras técnicas como inmersión en agua fría o carrera continua no muestra diferencias relevantes

(268). El mecanismo por el cual los baños de contraste mejoran la recuperación aún debes ser establecidos y actualmente no hay evidencia suficiente para llegar a un consenso (268).

1.6.1.2.3. ¿Baños de contrastes o inmersión en agua fría?

En general, el uso de la inmersión en agua como medio de recuperación muestra tener efectos beneficiosos en la recuperación (5, 16, 31, 268-270). Especificar si es más eficaz la inmersión en agua fría o el baño de contrastes puede ser más complejo. Parece bien establecido que la inmersión en agua fría produce unos efectos analgésicos que lleva a un alivio del espasmo muscular en las zonas expuestas y consecuentemente una reducción del dolor muscular(242), pero habrá que tener en cuenta sus posibles efectos negativos a largo plazo en la adaptación del organismo al entrenamiento (245).

1.6.1.3. Recuperación activa

La recuperación activa puede definirse como la realización ejercicios aeróbicos de baja intensidad llevados a cabo mediante carrera, el uso de ergómetros o ejercicios en el agua (3, 17-19) con una intensidad por debajo del umbral anaeróbico y con un VO_{2max} menor al 65% (165). Entre las actividades realizadas por los equipos de fútbol podemos encontrar como una de las más frecuentes la carrera continua de baja intensidad, sobre todo debido a la facilidad para realizar esta actividad, teniendo en cuenta el coste cero y que no necesita de equipamiento ni espacios especiales.

La recuperación activa favorece a la recuperación mediante el incremento del flujo sanguíneo (271) y de la acción de bombeo generada por la contracción-relajación de los músculos activos que acabara ayudando a la eliminación de sustancias de desecho (272), lo que puede incrementar o mejorar la reposición de sustratos energéticos haciendo llegar más sangre a las fibras musculares (271). Cortis y col (273) explican que de forma inmediata, la recuperación activa puede mejorar la capacidad contráctil del músculo, mientras que a medio-largo plazo puede ayudar al proceso de regeneración del mismo, lo que podría ser debido a los efectos mencionados anteriormente del incremento del flujo sanguíneo. Takahashi y Miyamoto (274) señalan que la recuperación activa va a favorecer una vuelta a la homeostasis tras el ejercicio que puede estar relacionada con el aumento del retorno venoso.

A nivel energético, existe controversia acerca de la utilización de la recuperación activa entre sesiones de entrenamiento o series de esfuerzos cercanas en el tiempo, y si es más adecuada su aplicación o la realización de recuperación pasiva. Por un lado existen estudios que describen una mayor repleción de los depósitos de glucógeno mediante la recuperación pasiva (275) u otros estudios que no reflejan diferencias entre ambas (276, 277). Hay autores que reflejan que cuando el periodo de descanso es menor de 30 minutos entre dos esfuerzos puede ser beneficioso realizar la recuperación activa, ya que esta ayudará al retorno a la homeostasis, mientras que explican que no hay beneficios claros sobre la utilización de dicha recuperación cuando el periodo de recuperación es mayor (278). Sin embargo, Barnett (4) pone en entredicho la recuperación activa por la posibilidad de que ésta dificulte la resíntesis del glucógeno muscular, explicando que la movilización repetida de depósitos de glucógeno unido a un incremento del metabolismo basal puede tener efectos negativos vaciando dichos depósitos y limitando el rendimiento del atleta, aunque añade que esto requiere mayor investigación. Por otro lado, Reilly y Ekblom (2) atribuyen a la recuperación activa un efecto positivo sobre el sistema inmune. Los autores expresan que el cese repentino de la actividad puede llevar a una caída demasiado brusca de la temperatura corporal, lo cual puede volver al sistema más vulnerable a infecciones durante las horas siguientes al ejercicio (2). Otros artículos expresan que el ejercicio aeróbico de baja intensidad regula el número de glóbulos blancos tras el ejercicio impidiendo que descendan sus niveles en exceso (279, 280). Así, parece ser que tras el entrenamiento de alta intensidad, existe un incremento del riesgo de infección de los atletas que puede verse paliado por la realización de la recuperación activa (281).

Revisando la literatura pueden encontrarse estudios que describen tanto efectos positivos de la recuperación activa mediante ejercicios aeróbicos de baja intensidad (273, 282) o ejercicios de fuerza con resistencias ligeras (92, 283), como otros que no hallan efectos beneficiosos (19, 21, 276, 284). Cortis y col (273) llevaron a cabo un estudio durante 3 días en el que 8 sujetos realizaron un test submáximo por la mañana y por la tarde en tapiz rodante. El estudio desveló que la recuperación activa realizada mediante ejercicios de baja intensidad en agua durante 20 minutos tenía un efecto positivo sobre la percepción de la recuperación, pero que no obstante no mostró ningún tipo de mejoría en variables fisiológicas (VO_2 , concentración de lactato, porcentaje de saturación de hemoglobina en los

músculos) o de rendimiento (salto con contramovimiento). Por su parte, Lane y wenger (285) estudiaron la recuperación activa mediante 15 minutos en cicloergómetro al 30% del consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) tras unas series de esfuerzo de alta intensidad, concluyendo que dicha técnica facilita la recuperación entre esfuerzos de alta intensidad en cicloergómetro separados por 24 horas. Dentro de la recuperación activa se encuentran propuestas de ejercicios de fuerza de baja intensidad como medio de recuperación específico. Sayers y col (283) estudiaron si el ejercicio ligero afectaría a la función muscular tras un ejercicio de alta intensidad de los flexores del codo. Los autores encontraron que dicha recuperación tenía un efecto positivo sobre la fuerza isométrica máxima de dicho grupo muscular y la percepción de dolor muscular. En esta ocasión la recuperación activa consistió en 50 repeticiones de curl de bíceps con un peso de 2 kg.

Entre las investigaciones que no reflejan efectos positivos del ejercicio ligero o de baja intensidad sobre la recuperación o que no evidencian ventajas sobre otro tipo de técnicas encontramos el de Anderson (79). Este estudio mostró como la recuperación realizada ente dos partidos de fútbol a través de un circuito aeróbico y de trabajo de fuerza de baja intensidad no tuvo ninguna influencia en la recuperación de parámetros físicos o fisiológicos. Zarrouk (284), por su parte, comparó la recuperación activa con recuperación pasiva y electroestimulación tras un ejercicio concéntrico de alta intensidad en extensores de rodilla, mostrando que la recuperación activa fue la menos eficaz a la hora combatir la fatiga neuromuscular. En este caso la recuperación activa fue realizada mediante 3 minutos de contracciones isocinéticas de moderada intensidad en los músculos ejercitados. En el estudio de Vanderthomen y col (21) se propuso una recuperación activa de 25 minutos en cicloergómetro a 19 sujetos sanos que realizaron previamente 3 series de 25 repeticiones de contracciones isométricas submáximas de los músculos extensores de rodilla, tras la cual no hallaron ningún tipo de mejora en la recuperación de la función muscular. Además los autores realizaron otras dos técnicas de recuperación como son la electroestimulación y recuperación pasiva, ambas durante 25 minutos, no encontrando diferencias entre los efectos de las técnicas.

De esta forma, parece difícil esclarecer si la recuperación activa será una técnica eficaz o no para la recuperación tras el ejercicio debido a la disparidad de resultados encontrados en la bibliografía. A corto plazo, como se comentó anteriormente, Barnett (2006) puso en duda la

realización de la recuperación activa entre series de ejercicios por su posible incidencia negativa en la restauración de depósitos de glucógeno, mientras que años más tarde Le Mur y Fournier (278) enfatizan en los efectos beneficiosos de la recuperación activa cuando se dan periodos de ejercicio en menos de 30 minutos por la aceleración del retorno a la homeostasis, mientras que en periodos de descanso más largos no parece haber efectos positivos sobre la recuperación.

1.6.1.4. Estiramientos

El estiramiento es un tipo de ejercicio ejecutado con el fin de mejorar el rango de movimiento articular (286). Desde hace muchas décadas los estiramientos han sido objeto de investigaciones para estudiar sus efectos previos al ejercicio y en menor medida como medio recuperador (3, 5, 287, 288). Según los autores, históricamente la aplicación de estiramientos como técnica de recuperación tiene como objetivos el incremento del rango de movimiento articular, la relajación muscular, reducir el dolor y la rigidez muscular o mejora de la percepción de recuperación, aunque la eficacia de los mismos está en entredicho (4, 87, 289-292).

Es muy común ver como los estiramientos estáticos son los más empleados tras las sesiones de entrenamiento en fútbol. Dadebo y col (293) mencionan que del tiempo total dedicado al entrenamiento, los clubes de la primera división inglesa empleaban casi el 40% del tiempo a los estiramientos (bien para recuperar o como entrenamiento para aumentar el rango de movimiento). Además las investigaciones orientadas a medir la recuperación también realizan principalmente estiramientos estáticos, según Herbert (294). El estiramiento estático consiste en mantener a un grupo muscular elongado respecto a su situación de reposo de forma mantenida, produciendo una relajación en la unidad músculo-tendón (295). Este tipo de estiramiento mantenido durante 90 segundos puede provocar que la resistencia a la elongación y la rigidez muscular (*stiffness*) se vean reducidas al realizarse un estiramiento posterior, aunque ese efecto durará minutos (295). Estos efectos pueden ser debidos a que el estiramiento afecta a las propiedades mecánicas pasivas del conjunto músculo-tendón (286). Sin embargo, las ganancias en el rango de movimiento más que por la alteración en las propiedades mecánicas, parecen estar producidas por una mejora de la

tolerancia al estiramiento (296), sin que se conozca de forma exacta el mecanismo neural que lo provoca (286).

Rabita y Delaxtrat (297) menciona el estudio de Wiemann y Kamphövner (1995) en el que reflejan que el estiramiento estático aplicado inmediatamente tras el ejercicio de fuerza de alta intensidad lleva a un aumento del dolor muscular tras 48 horas. El proceso inflamatorio que induce al dolor tras el entrenamiento se da por la aparición microlesiones en los elementos contráctiles del músculo y el estiramiento pasivo podría agravar dichas microlesiones prolongando el tiempo de recuperación del músculo (297). El hecho de que a corto-medio plazo el estiramiento no produzca efectos positivos en paliar el dolor muscular (290) o incluso pueda incrementarlo, contrasta con el hecho que se comentó anteriormente de que a efecto inmediato lleva a la relajación muscular, que podría hacer incrementar por algunos instantes la sensación de bienestar.

En la actualidad existe una gran falta de evidencia a cerca de la utilización de los estiramientos como medio de recuperación para mejorar el rendimiento o sensaciones de dolor (4, 87, 289-292). Casáis (298) explica que una de las posibles causas de esta falta de evidencias puede hallarse en que la mayoría de los estudios se centran en estiramientos estáticos. Según el autor, en la literatura específica de fútbol pueden encontrarse recomendaciones para la aplicación de estiramientos pasivos dinámicos como medio para mejorar la sensación de rigidez muscular tras el esfuerzo. De hecho, McNair y col (299) comprobaron que tras la realización de estiramientos pasivos dinámicos la stiffness o rigidez muscular disminuyó de forma significativa en un 16%, disminución que no ocurrió con el estiramiento estático. De esta forma los autores concluyen tras el estudio que cuando el objetivo de un programa de estiramiento es la reducción de la stiffness, el estiramiento pasivo dinámico será más eficaz que el estático.

1.6.1.5. Masoterapia

Galloway y Watt (2004) (300) definen el masaje como una manipulación mecánica de tejidos corporales con la que se ejerce una presión rítmica, con el objetivo de mejorar la salud y el estado de bienestar. El origen exacto de los posibles mecanismos del masaje que producen efectos positivos son más especulaciones que evidencias científicas claras (301). Weerapong

y col (301) exponen un modelo teórico (figura 7) con los posibles mecanismos por los que el masaje puede llegar a tener efectos biomecánicos, fisiológicos, neurológicos y psicológicos, pero insiste que en no hay evidencia que pueda establecer estos mecanismos como comprobados y ciertos.

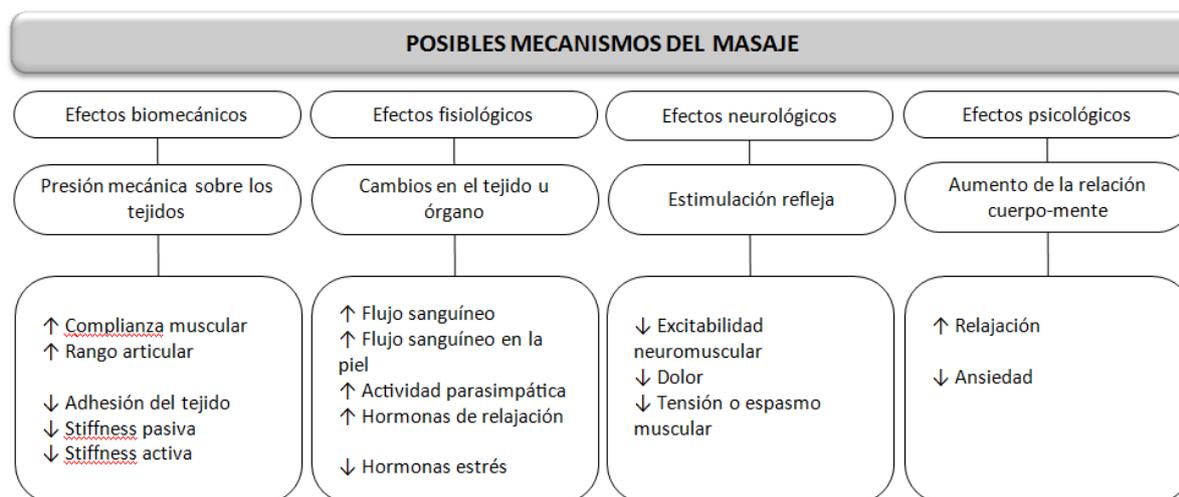


Figura 7. Modelo teórico de los mecanismos del masaje. Modificado y traducido de Weerapong y col (301).

Está generalmente aceptado, que no demostrado, que el masaje va a facilitar numerosos beneficios como el aumento del flujo sanguíneo, la reducción de la tensión y excitabilidad muscular o el incremento de la sensación de bienestar (1). Drust y col (302) explican que el masaje lleva a un aumento leve de la temperatura de la piel, lo que podría provocar una vasodilatación y ayudar al intercambio de nutrientes y oxígeno entre las células y los vasos sanguíneos. Sin embargo, a nivel fisiológico diferentes estudios han mostrado a través de ultrasonido (Doppler y Eco Doppler) como el masaje no incrementa el flujo sanguíneo en músculos esqueléticos pequeños o grandes (antebrazo o cuádriceps) (303, 304), o incluso perjudica el aclarado de sustancias de desecho como La^- o H^+ mediante el impedimento a nivel mecánico del flujo sanguíneo (303).

A nivel de recuperación post-ejercicio, se pueden encontrar diferentes estudios que no reflejan mejoras en el rendimiento tras la aplicación de masaje. Robertson y col (305) llevaron a cabo un estudio con nueve sujetos donde estos realizaban seis sprints de 30 segundos en cicloergómetro con 20 minutos de recuperación, seguido de un test de

Wingate de 30 segundos. Los autores compararon una recuperación pasiva en tendido supino con un masaje de 20 minutos, concluyendo que el rendimiento (potencia media o potencia máxima) de los sujetos no se vio alterado por el tipo de recuperación. Sí hallaron un nivel de fatiga significativamente menor tras el masaje en comparación con la recuperación pasiva (el índice de fatiga lo calcularon mediante el porcentaje de cambio de la potencia entre los primeros cinco segundos y los últimos 5 segundos de un periodo de 30 segundos), lo cual podría reflejar, según los autores, un leve efecto positivo del masaje en la función muscular, sin ser este dato concluyente. Por su parte, el estudio de Dawson (306) no mostró efectos positivos del masaje en la recuperación de la fuerza en cuádriceps e isquiotibiales o en la inflamación de la pierna tras la realización de media maratón en 12 corredores amateurs, aunque siete de ellos sí percibieron mayor sensación de recuperación en la pierna tratada (306). Las respuestas del SNC al masaje incluyen una reducción de la excitabilidad, lo cual lleva a una relajación muscular y a un alivio de los calambres y rigidez muscular (307), lo que puede hacer que a nivel psicológico el masaje tenga un efecto positivo al disminuir la sensación de dolor muscular (308), incrementar la sensación de bienestar (309) y la percepción de la recuperación (306). Estos efectos de relajación que relacionan al plano físico y mental también pueden llegar a contribuir a reducir el estrés propio de la competición (310).

Se ha llegado a postular que incluso esta técnica aplicada sobre el tejido dañado a causa del ejercicio de alta intensidad podría incrementar el daño muscular ya generado previamente llevando a nuevas microlesiones (311). Este hecho fue observado por Viitasalo y col (311) al encontrar mayores concentraciones de creatinquinasa y mioglobina en atletas de élite tras un entrenamiento de fuerza/potencia tras después de aplicar masaje que al no aplicarlo.

En general la bibliografía muestra una falta de datos para establecer que el masaje tiene efectos positivos claros sobre la recuperación tras el ejercicio a nivel físico-condicional (4, 87, 301), o incluso pueden aparecer efectos negativos en forma de microlesiones (4, 311). A nivel psicológico sí existen mayores evidencias sobre los efectos positivos de esta técnica en la percepción de la recuperación y la relajación de los atletas (312).

1.6.1.6. Electroestimulación

La electroestimulación está basada en la transmisión de impulsos eléctricos a través de electrodos superficiales situados en la piel que estimulan las motoneuronas a nivel periférico llevando a la contracción muscular, justificándose su uso a para la recuperación en que esas contracciones pueden ser ventajosas por incrementar el flujo sanguíneo mediante un efecto de “bombeo”, lo que ayudaría a la reparación muscular (313). Hay que tener en cuenta que la electroestimulación puede ser aplicada con diferentes valores de intensidad, frecuencia o características del impulso, ciclos de trabajo y electrodos. En función de estos aspectos la persona que recibe el tratamiento puede no percibir estímulo alguno, percibir estímulo pero sin que exista contracción muscular, percibir el estímulo y además llevar a cabo contracciones musculares involuntarias o finalmente aumentar la intensidad de forma que aparezca el dolor (314).

Hay estudios que no encuentran efectos positivos de la electroterapia a la hora de mantener el rendimiento tras el ejercicio. Vaderthomen y col (21) utilizaron la electroestimulación tras un ejercicio isométrico submáximo de extensión de rodilla (3 series de 25 repeticiones), encontrando que no tuvo efectos positivos a la hora de mejorar de forma significativa la función muscular. Tessitore y col (5) al no hallar efectos positivos en variables condicionales de rendimiento anaeróbico (test de salto y sprint de 10 metros). En el estudio de Heyman y col (315) no se encontraron efectos positivos de la electroestimulación en parámetros de rendimiento (tiempo hasta el agotamiento) o fisiológicos (eliminación de lactato), siendo esta utilizada como técnica de recuperación entre dos test de escalada hasta el agotamiento. A su vez, Pinar y col (316) llevaron a cabo un estudio con estudiantes activos sanos, donde realizaron seis esfuerzos 30 segundos de alta intensidad en cicloergómetro con 30 segundos de recuperación entre ellos. Tras el ejercicio se realizó una recuperación de 24 minutos y tras esta se llevó a cabo el test de Wingate. Los autores no observaron mayor eficacia en la realización de la electroestimulación que en al realizar recuperación pasiva, ni en marcadores de rendimiento (potencia media y máxima), fisiológicos (FC y lactato) o percepción subjetiva de esfuerzo y recuperación (escalas RPE y TQR). Este hecho también se describe en otro estudio donde la electroestimulación no resultó ser más eficaz que la recuperación pasiva, en este caso en la recuperación de la contracción voluntaria máxima de los extensores de rodillas (313).

A nivel perceptivo existe disparidad de resultados, habiendo estudios que muestran cómo la estimulación de baja frecuencia no tiene efecto sobre el dolor muscular tras ejercicio (313, 317), otros que muestran que tiene leves efectos positivos (22) o bien se encuentran mejoras significativas en la sensación de dolor muscular (5) y en la percepción de la recuperación (318). Este alivio del dolor muscular podría estar basado en una inhibición sensorial de fibras aferentes o en la facilitación de liberación de endorfinas, siendo el primero de estos hechos el más comprobado (307). Finberg y col (318) observaron que 30 minutos de recuperación tras la realización de un ejercicio fatigando simulando la carga física de deportes de equipo, mejoró la percepción de la recuperación utilizando electroestimulación en comparación con técnicas pasivas e hidroterapia (318). Tessitore y col (5) también hallaron resultados positivos a nivel de percepción en la recuperación, en este caso a nivel de dolor muscular percibido. En su estudio la electroestimulación se llevó 20 minutos tras un entrenamiento en fútbol durante un periodo de 21 días seguidos en jóvenes jugadores de élite. Según los autores el hecho de mejorar la sensación de dolor muscular podría mejorar la capacidad de trabajo de los jugadores. Por el contrario no hallaron resultados positivos de recuperación en variables de rendimiento anaeróbico (test de salto y sprint de 10 metros). De esta forma, aunque en la literatura se describen ciertos resultados favorables principalmente a niveles perceptivos, existe una gran cantidad de artículos en los que no se encuentran resultados positivos en el uso de la electroestimulación, por lo que aún hoy día no se puede asegurar que esta técnica sea adecuada tras el ejercicio (4, 21, 23, 87).

1.6.1.7. Vendas de compresión

Con el uso de las vendas de compresión se altera el flujo sanguíneo promoviendo el retorno venoso desde las regiones periféricas a las centrales. Esto ocurre gracias a que la fuerza compresiva aplicada a los miembros inferiores reduce el tamaño del diámetro venoso, con el consecuente incremento en la velocidad del flujo sanguíneo en la venas de las extremidades inferiores (319).

Partiendo de este hecho, en el mundo del entrenamiento deportivo comenzó a pensarse en la posibilidad de usar las vendas compresivas con el fin de optimizar la circulación como técnica de recuperación tras el ejercicio, lo que podría ayudar en los procesos de reparación

e inflamación (148). A día de hoy se utilizan por los atletas con el fin de atenuar la respuesta inflamatoria, reducir los efectos de daño muscular inducido por el ejercicio y restaurar la correcta función muscular lo antes posible (148, 154). Aun así, como puede observarse en los siguientes párrafos, los resultados que desprende la literatura aún son poco esclarecedores.

En el estudio de Pruscino y col (148) los sujetos (jugadores de hockey) llevaron vendas de compresión durante 24 horas tras la realización de un ejercicio intermitente y pudieron comprobar que existió una mejora en la percepción subjetiva de la recuperación (148), lo que no ocurrió en marcadores fisiológicos o condicionales. Esto mismo ocurrió en el estudio de Duffield y Portus (154), los cuales no hallaron que las vendas de compresión mejoraran la recuperación de jugadores de cricket en parámetros condicionales o fisiológicos, aunque si hallaron una mejora significativa del dolor muscular tras 24 horas post-ejercicio con el uso de dichas vendas. Si se observaron mejoras en parámetros condicionales en el estudio de Argus y col (320) donde se llevaron a cabo 3 series 30 segundos de sprint máximo con ciclistas entrenados, seguidos de 20 minutos de recuperación entre cada una. El uso de vendas de compresión fue eficaz para mejorar la recuperación entre series de ejercicio de alta intensidad en periodos de recuperación limitados a menos de 20 minutos en ciclistas. En jugadores de rugby la utilización de vendas de compresión no mostró ninguna ventaja sobre la realización de recuperación activa, terapia de contrastes (hidroterapia) o recuperación pasiva (16)

A pesar de su actual utilización y creciente interés por parte de los investigadores, aún existe una falta de evidencias sobre los beneficios fisiológicos de las vendas de compresión para ser utilizadas como medio de recuperación, aunque pueden existir ciertos efectos psicológicos positivos que deben ser tenidos en cuenta (148, 154).

1.6.1.8. Elevación de piernas

En las aéreas localizadas por debajo del corazón el flujo sanguíneo arterial está asegurado gracias a la contracción cardiaca y a la presión hidrostática (321). Por el contrario, el flujo sanguíneo venoso trabaja en contra de la presión hidrostática cuando el sujeto se encuentra en posición vertical, por lo que será mayor cuando este se encuentre en posición horizontal

(tendido supino o prono) (321). Millet (322) explica que en bipedestación más del 70% de la sangre circulante se encuentra por debajo del nivel del corazón y que existen dos mecanismos bien aceptados para evitar que la sangre se acumule en las extremidades y que ayudan al retorno de la sangre al corazón: el bombeo de los músculos respiratorios y esqueléticos (322), siendo este último responsable de que se produzca el vaciamiento rápido del sistema venoso y el drenaje de sangre en los tejidos (321).

Al contrario de lo que ocurre en reposo, durante el ejercicio dinámico la contracción rítmica de los músculos esqueléticos lleva a una compresión de las venas intramusculares creando una considerable cantidad de energía cinética en las mismas (323) y generando oscilaciones en las presiones musculares, lo cual facilita el flujo sanguíneo y el retorno venoso al corazón (324). El bombeo de los músculos esqueléticos es muy efectivo a la hora de vaciar los vasos sanguíneos, ya que más del 40% del volumen sanguíneo intramuscular puede ser impulsado a zonas centrales con una simple contracción muscular (325).

La elevación de piernas sobre el plano horizontal es una maniobra simple que ayudará al retorno venoso, al favorecer el desplazamiento de sangre desde las piernas a la cavidad torácica por efectos gravitacionales (326), lo que algunos autores llaman “autotransfusión” (326, 327). Marik y col (326) proponen que los mayores efectos de esta técnica se van a producir durante el primer minuto. La literatura que utiliza esta técnica como medio de recuperación en el deporte y en concreto tras un partido o entrenamiento de fútbol, es muy escasa. Kinugasa y col (3) llevaron a cabo estiramientos durante 7 minutos seguidos de una elevación de piernas por encima del nivel del corazón durante 2 minutos (técnica combinada a la que denominaron pasiva). Al ser comparada con otras técnicas combinadas tras la realización de partidos de fútbol amistosos no mostró ningún efecto positivo en la recuperación.

La mayoría de los estudios donde aparece la elevación de piernas son principalmente en personas sedentarias con algún tipo de enfermedad vascular (326, 327), lo cual no resta para que los posibles efectos positivos a nivel de retorno venoso de esta técnica se den también en atletas.

1.6.1.9. Humidificación

La humidificación se lleva a cabo mediante el aporte de altas tasas de flujo de aire templado (37°C) y humidificado (100%) a través de una cánula nasal (320). Se ha sugerido que la mejora en la recuperación podría deberse a una mejora en la eficiencia de los músculos respiratorios (320). En la respiración, el aire que se introduce en el organismo es calentado y humidificado por las vías respiratorias altas (fosas nasales y en la tráquea). La humidificación es una técnica que ayuda a este proceso y que ha sido utilizada en el ámbito médico como tratamiento de enfermedades de obstrucción pulmonar crónica, donde los pacientes presentan inflamación de las vías respiratorias o hipersecreción y retención mucosa (328). Encontramos desde exposiciones a corto plazo durante 7 días con una exposición de 3 horas diarias (329), hasta exposiciones a largo plazo durante 12 meses (328).

En el ámbito deportivo su aplicación está muy limitada. Argus y col (320) comparan la humidificación con vendas de compresión, electroestimulación y recuperación pasiva (control) como medios de recuperación de 3 series de sprints de 30 segundos en cicloergómetro, existiendo 20 minutos de recuperación entre cada serie. Sus resultados reflejan como comparada con la técnica control, la humidificación mostró una media de potencia mayor desde el sprint 1 al sprint 3, llegando a concluir que para este protocolo específico es una técnica eficaz, al igual que la electroestimulación (320). Aunque se ha sugerido que la humidificación puede optimizar la recuperación mediante la mejora en la eficiencia de los músculos respiratorios, en la actualidad este hecho es puramente especulativo (320).

1.6.2. Variables fundamentales en la recuperación

En los apartados anteriores se han descrito diferentes técnicas usadas por investigadores y técnicos para mejorar la recuperación post-ejercicio, encontrando en general cómo aún es necesario seguir investigando para conocer exactamente los mecanismos por los que cada una de ellas favorece o perjudica la recuperación, incluso cuando algunas han sido ampliamente estudiadas y tienen un nivel mayor de evidencias. Los técnicos pueden elegir entre un tipo de técnica u otra, pueden existir estudios que presenten datos a favor o en contra de una misma técnica, pero sin embargo existen dos variables que tal y como

expresa Joyce (330), no son negociables para el atleta de rendimiento a la hora de la recuperación: nutrición y sueño.

No solo se trata de optimizar el rendimiento, sino en primer lugar de mantener unos niveles de salud óptimos mediante la correcta nutrición y el correcto número de horas de sueño. Si para una persona no deportista son variables fundamentales para su vida diaria y su salud, para los atletas que someten a su organismo a altas cargas de entrenamiento y altos niveles de fatiga estas variables no solo son necesarias, sino que es imperativo optimizarlas y controlarlas de forma exhaustiva con el objetivo extra de ayudar al organismo a adaptarse a las cargas de trabajo y mejorar su rendimiento. Aunque en el presente punto se desarrollan conceptos para optimizar la recuperación post-ejercicio, estas dos variables son importantes no solo en estos momentos, sino en el día a día del deportista (estilo de vida saludable).

1.6.2.1. Nutrición

La correcta nutrición durante el proceso de entrenamiento ayudará al atleta a adaptarse de forma correcta y a mantener los niveles de salud (331). El ejercicio afectará de forma negativa al organismo a nivel estructural (daños en diferentes tejidos) (143) y energético (depleción de sustratos) (332). En relación a estos dos niveles cabe mencionar, como hicimos en el punto 1.6, que existe un patrón de recuperación bifásico con una fase de recuperación rápida que se produce tras el cese del ejercicio y está orientada a la repleción energética, y una fase de recuperación lenta que puede durar varios días, más orientada a la regeneración del daño de diferentes tejidos (87).

En primer lugar, desde el punto de vista energético, una rápida y eficaz reposición de los depósitos de glucógeno será de gran importancia sobre todo si el atleta debe someter al organismo a altas cargas de trabajo tras poco tiempo de descanso. En la recuperación de las reservas de glucógeno tras el ejercicio también se pueden diferenciar dos fases (205, 208, 332, 333): la fase rápida o insulino-independiente (no hay presencia de insulina) ocurrirá en los primeros 30-60 minutos en caso de que el nivel de glucógeno muscular sea menor a 128–150 mmol/kg y los carbohidratos sean aportados inmediatamente después del ejercicio (332). Pasado este periodo la síntesis de glucógeno se dará a menor velocidad, apareciendo la fase lenta o insulino-dependiente (necesidad de la presencia de insulina). Esta fase puede

durar horas si existe disponibilidad de hidratos de carbono y altos niveles de insulina (332). La correcta planificación de la ingesta de glucógeno post-ejercicio debe tener en cuenta la duración e intensidad del ejercicio, el tipo de carbohidratos y las necesidades personales. Además la ingesta debe ir acompañada de una correcta hidratación, ya que la toma de alimentos sólidos así como alimentos de alta concentración de carbohidratos reducen la absorción de líquidos (334).

En segundo lugar, desde el punto de vista de la regeneración estructural, la ingesta de proteínas elevará directamente el incremento de la síntesis proteica ayudando a la reparación/regeneración del tejido muscular (335). Una simple serie de ejercicio de entrenamiento con resistencias (entrenamiento de fuerza) va a incrementar la síntesis de proteínas en el músculo esquelético, y en menor medida la ruptura o degradación de las mismas (336). A medida que la carga de trabajo se incremente habrá más opciones de que la degradación sea mayor que la síntesis, por lo que la misión de la ingesta proteica tras el ejercicio será la de crear una relación positiva en favor de la síntesis (336). El *timing* en la ingesta de proteínas se ha identificado como un factor clave para favorecer la síntesis proteica tras el ejercicio (335), siendo ésta más eficaz cuando se lleva a cabo inmediatamente tras el cese del mismo (337). Además podría ser positiva realizarla antes o durante el ejercicio, pues puede llegar a elevar la síntesis proteica tras la actividad debido a una mayor cantidad de aminoácidos disponibles durante las primeras fases de la recuperación (337). De esta forma se puede llegar a inhibir la degradación proteica, estimular su síntesis y aumentar la respuesta adaptativa del músculo al ejercicio (336). Así lo mostraron Tipton y col (338) al observar que la ingesta de una mezcla de amino ácidos y sacarosa antes del entrenamiento fue más eficaz que la ingesta de la misma mezcla inmediatamente post-ejercicio a la hora de estimular la síntesis proteica.

Un tercer aspecto importante es la hidratación. Los fluidos juegan un rol fundamental en la regulación de la temperatura corporal, la función muscular y cerebral (339). Se debe tener en cuenta que durante la actividad física se va a producir un incremento en la producción de calor y en consecuencia una pérdida de líquidos, lo que llevará además a una necesidad de reposición electrolítica, por lo que será necesario prevenir una deshidratación excesiva y los cambios en el balance de electrolitos para evitar la disminución del rendimiento (339, 340). En cuanto a la reposición electrolítica, aunque hay estudios que avalan la utilización de

bebidas isotónicas como una forma adecuada de rehidratación en deportistas de élite (340, 341), existen otros que llaman la atención sobre la falta de evidencias científicas de la eficacia de las mismas (342).

Como puede observarse será de vital importancia a la hora de la recuperación tras el ejercicio realizar una correcta aportación de los nutrientes necesarios para (1) ayudar al organismo a compensar las pérdidas energéticas, (2) regenerar/ reparar los tejidos y las estructuras dañadas y (3) promover la correcta rehidratación. Además, existen estudios suficientes para avalar que la ingesta de nutrientes tiene grandes ventajas en el proceso de recuperación si se realiza de forma inmediata tras el ejercicio o incluso durante el mismo (333, 336, 338).

1.6.2.2. Sueño

El sueño es proceso básico dentro de la recuperación del organismo del ser humano, un comportamiento pasivo que afectará a procesos fisiológicos de restauración energética, aprendizaje, habilidad de pensar o memoria, y la falta del mismo puede traer consecuencias negativas para el atleta (343, 344) tanto en el rendimiento físico como cognitivo (345).

A nivel fisiológico existen dos fases principales: *Non Rapid Eyes Movement* (NREM) y *Rapid Eyes Movement* (REM). La primera, que se describe como fase donde no hay movimiento rápido de los ojos (NREM), se divide en 4 sub-fases en las que el organismo se dirige de forma progresiva hacia el sueño profundo, originándose cada vez más ondas cerebrales lentas u ondas delta (343). En la fase REM, donde se describe un movimiento rápido de los ojos, encontramos una atonía muscular y podríamos hablar de un cerebro activado en un cuerpo “paralizado”, con una respiración más agitada y unas ondas cerebrales muy similares a las que se dan cuando una persona está despierta. La mayoría de las personas experimentan de tres a cinco intervalos de sueño REM cada noche (343).

El sueño ligero (50%) está envuelto en la recuperación energética; el sueño profundo (20-25%) se requiere para la recuperación física; la fase REM (20-25%) se requiere para la mejora de la atención, memoria y focalización; y la cantidad total de sueño (7-9 horas) es requerida para mantener una salud óptima (345). La fase de sueño profundo (de ondas cerebrales lentas) es especialmente importante para la recuperación en atletas (346) y se

conoce que durante esta fase se produce una mayor liberación de hormona del crecimiento (GH), generando un entorno anabólico, lo cual hace pensar que permitir al cuerpo llegar a este estado mediante el sueño será básico para la correcta recuperación (343). Además, la privación del tiempo de sueño en la fase profunda pueda incrementar la somnolencia durante el día y reducir el rendimiento (347). En general la falta de sueño puede acarrear problemas a niveles tanto fisiológicos, psicológicos o cognitivos, como pueden ser la reducción en la habilidad de asentar nuevas experiencias en la memoria o debilidad del sistema inmunitario (87, 343, 348, 349).

En ocasiones, aunque el rendimiento físico no se vea afectado a corto plazo, las habilidades mentales o estados de ánimo pueden verse comprometidas. Así lo mostraron Sinnerton y col (350) al no observar un descenso del rendimiento a nivel físico en nadadores tras una disminución de 2,5 horas de sueño por noche durante cuatro noches, aunque si hallaron que el estado de ánimo se modificó significativamente con el aumento de la depresión, tensión, confusión, fatiga, ira y disminuciones en vigor. En el mismo sentido Herrera (345) explica que una reducción del sueño a menos de 6 horas durante más de 4 noches de forma consecutiva puede perjudicar las habilidades cognitivas y el estado de ánimo, el metabolismo de la glucosa, la regulación del apetito y la función inmunitaria.

De cara a la recuperación del atleta y su relación con el sueño, podríamos concluir que hay datos suficientes de las implicaciones positivas que tiene el sueño para el organismo y más aún de los efectos negativos que tiene la falta del mismo (87, 343, 348, 349), lo que hace ver la importancia de controlar esta “herramienta” imprescindible para la recuperación del atleta.

1.6.3. Aplicación práctica de las evidencias científicas

Como se ha explicado con anterioridad, la fatiga es un proceso multifactorial que afecta negativamente a diferentes niveles del organismo (57). Por tanto, teniendo en cuenta que existen múltiples estructuras implicadas en los procesos de fatiga y que en función del deporte se verán afectadas varias de ellas a la vez, sería apropiado pensar que con la utilización y combinación de diferentes técnicas de recuperación podremos paliar de una forma más eficaz los posibles efectos de la fatiga (3).

La inmersión en agua fría es la técnica que aparece con mayor consenso como técnica de recuperación post-ejercicio, teniendo en cuenta los posibles efectos adversos de la su aplicación de forma continuada a largo plazo. Las estrategias nutricionales y el sueño son aspectos fundamentales para la vida cotidiana del ser humano y cobran especial relevancia cuando se trata de optimizar el rendimiento del organismo y de recuperar de exposiciones a altas cargas de trabajo. Priorizar ambos aspectos carece de toda duda y debería ser piedra angular en la planificación de las estrategias de recuperación Joyce (330).

Esto no quiere decir que el resto de técnicas no deban ser utilizadas, pues no hay evidencias de que con su uso empeoren las condiciones del organismo y por otro lado prácticamente todas ellas muestran beneficios en según qué condición y momento. Debatir si una técnica específica es eficaz o no, carecerá de sentido si no se entiende que habrá que tener en cuenta el deporte en el que se utiliza, el *timing* (momento del día, semana o temporada) y la metodología con la que se lleva a cabo.

Finalmente, como se mencionó anteriormente, el fútbol como deporte de equipo tiene o debería tener fases de entrenamiento individualizado para satisfacer las necesidades de cada jugador. De igual forma, y debido a que la eficacia de las estrategias de recuperación pueden presentar variabilidad interindividual, también podría sugerirse individualizar el uso de las estrategias de recuperación en función de las necesidades de los jugadores (5).

A continuación, la tabla 3 muestra un resumen de cada técnica de recuperación expuesta en el presente marco teórico, de sus efectos fisiológicos (unos comprobados y otros aún por confirmar), de los aspectos positivos o negativos de su uso y sus aplicaciones prácticas, con el fin de mostrar una idea general y resumida de la información ofrecida.

Tabla 3. Resumen de los efectos fisiológicos de cada técnica, de los aspectos positivos y negativos en relación a los mismos y aplicaciones prácticas.

ESTRATEGIA	EFECTOS FISIOLÓGICOS PRINCIPALES	ASPECTOS POSITIVOS (+) Y NEGATIVOS (-)	APLICACIONES PRÁCTICAS
CRIOTERAPIA <i>Exposición al frío como terapia.</i>	(1) Vasoconstricción. (2) Disminución de la velocidad de conducción del impulso nervioso en las fibras sensitivas, de la actividad del huso muscular y de la espasticidad. (3) Supresión parcial de las proteínas de estrés (HSP) en exposiciones a largo plazo.	(+) Reducción de la inflamación y analgesia (1,2). (-) Disminución de la adaptación del organismo al entrenamiento si se aplica a largo plazo (3).	<i>Cámaras de frío:</i> Los resultados de efectos positivos aún son preliminares y no parece ofrecer mayores ventajas que otras técnicas que utilicen el frío como terapia. <i>Inmersión en agua fría:</i> De forma puntual para disminuir el dolor muscular tras el ejercicio. Entre series de trabajo anaeróbicos o de fuerza puede descender rendimiento y crear la necesidad de “recalentamiento”. No recomendado su uso continuado en periodos de entrenamiento donde se busca la adaptación, y sí en periodos de alta densidad competitiva.
HIDROTERAPIA	(1) A mayor profundidad mayor presión hidrostática. (2) Contrastes: alternancia de vasodilatación - vasoconstricción. (3) Contrastes: Aumento de la perfusión muscular. (4) Agua fría: Disminución de la velocidad de conducción del impulso nervioso (analgesia).	(+) Mejora del retorno venoso por la acción de bombeo (1,2). (+) Mejora aclarado productos de desecho (1). (+) Reducción de la inflamación (+) Reducción del dolor muscular(4). (-) Disminución de la adaptación del organismo al entrenamiento si se aplica a largo plazo (4).	El uso de la inmersión en agua tras el entrenamiento o competición muestra tener efectos beneficiosos en la recuperación. Aunque ambas técnicas muestran ser eficaces, aún no queda claro si será más eficaz utilizar baños de contrastes o inmersión en agua fría. Hay que tener en cuenta los posibles efectos negativos de la utilización de la inmersión en agua fría a largo plazo.
RECUPERACIÓN ACTIVA	(1) Incremento flujo sanguíneo por acción bombeo de músculo implicados. (2) Utilización de depósitos de glucógeno. (3) Regulación número glóbulos blancos.	(+) Aumento del aclarado de sustancias de desecho (1). (+) Posible prevención de caída del sistema inmune tras el ejercicio. (-) Posible vaciamiento de depósitos de glucógeno.	Se encuentra un gran número estudios con resultados dispares y opuestos que hacen difícil esclarecer la idoneidad de esta técnica. Tras una sesión de entrenamiento o partido de competición donde el siguiente entrenamiento se realizará tras 12-24 horas, esta técnica no parece recuperar parámetros de rendimiento. Sin embargo, en el ámbito de salud, de forma inmediata tras el ejercicio puede prevenir un descenso abrupto del sistema inmune.
ESTIRAMIENTOS	(1) Afecta a las propiedades mecánicas pasivas del conjunto músculo-tendón. (2) Mecanismo neural (desconocido) que aumenta la tolerancia al estiramiento siguiente.	(+) Ganancias en el rango de movimiento. (+) Relajación de efecto inmediato y poco duradero. (-) Incremento dolor muscular. (-) Incremento daño muscular ¿?	Gran evidencia de la falta de efecto positivo sobre la recuperación tras el ejercicio e incluso algún dato que sugiere efectos negativos respecto al daño muscular. Sería recomendable evitarlos especialmente tras sesiones de alta intensidad que generan daño y dolor muscular. El estiramiento pasivo dinámico parece ser más adecuado para mejorar la sensación de rigidez y dolor muscular que el estático.

ESTRATEGIA	EFECTOS FISIOLÓGICOS PRINCIPALES	ASPECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS	APLICACIONES PRÁCTICAS
MASOTERAPIA	(1) Reducción de la excitabilidad. (2) Posible aumento de flujo sanguíneo.	(+) Relajación muscular, alivio de los calambres y rigidez muscular (1). (-) Posible aparición de microlesiones. (+) Aumento de la tolerancia al esfuerzo	Mayores evidencias de eficacia sobre parámetros psicofisiológicos que sobre parámetros de rendimiento condicional o fisiológico. El masaje entre series de ejercicio puede ayudar a aliviar el dolor muscular percibido e incrementar la tolerancia al esfuerzo.
ELECTRO - ESTIMULACIÓN	(1) Estimulación exógena de motoneuronas: contracción muscular. (2) Inhibición sensorial de fibras aferentes (3) Facilitación de liberación de endorfinas.	(+) Aumento de flujo sanguíneo por efecto de "bombeo" (1) (+) Mejora de la percepción de la recuperación (2,3)	En función de los datos a día de hoy podría enfocarse el uso de la electroterapia a la mejora de la percepción del dolor muscular, y aun así hay muchas dudas en cuanto a su eficacia.
VENDAS COMPRESIÓN	(1) Fuerza compresiva reduce el diámetro venoso, incrementando la velocidad del flujo sanguíneo en la venas de las extremidades inferiores.	(+) Aumento del retorno venoso. (+) ↓ respuesta inflamatoria ¿? (+) ↓ efectos del daño muscular ¿?	Posible eficacia en la mejora de la percepción de la recuperación.
ELEVACION DE PIERNAS	(1) Desplazamiento de sangre desde las piernas a la cavidad torácica por efectos gravitacionales: "autotransfusión".	(+) Aumento del retorno venoso. (+) Mejores resultados respecto a la recuperación pasiva.	Efectos positivos probados en el retorno venoso. Si buscamos una recuperación pasiva (por ejemplo en los descansos de los partidos) y aumento del retorno venoso, esta técnica puede ser eficaz y eficiente a tal efecto, al menos durante 1 ó 2 minutos.
HUMIDIFICACIÓN	(1) Ayuda al calentamiento y humidificación del aire, que de forma fisiológica tiene lugar en las vías respiratorias altas.	(+) mejora en la eficiencia de los músculos respiratorios (1)	Efectos positivos en la recuperación tras ejercicio meramente especulativos a día de hoy. Se ha sugerido que la humidificación puede optimizar la recuperación mediante la mejora en la eficiencia de los músculos respiratorios.
ESTRATEGIAS NUTRICIONALES	(1) Reparación tejidos (2) Repleción energética (3) Rehidratación	(+) Mantener niveles de salud y rendimiento.	Variable fundamental e innegociable en la recuperación. Especial hincapié en los aspectos positivos inmediatamente tras la práctica deportiva. El tipo de actividad física variará la necesidad y el tipo de ingesta.
SUEÑO	Sueño ligero (50%): recuperación energética. Sueño profundo (20-25%): recuperación física (liberación hormona GH). Fase REM (20-25%): mejora de la atención, memoria y focalización.	Favorece el balance anabolismo/catabolismo a favor del primero. Imprescindible para niveles de salud óptimos.	Variable fundamental e innegociable en la recuperación. Descanso de entre 7-9 horas es requerido para mantener una salud óptima, y por tanto sentar las bases para un rendimiento óptimo.

II. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Siguiendo las argumentaciones del marco teórico de la presente investigación, puede observarse que el estudio de las técnicas de recuperación post-ejercicio tiene un alto interés en el mundo de las Ciencias del Deporte debido a la relevancia de estas en el rendimiento y la salud de los atletas. Aunque son muchos los conocimientos que a día de hoy se tienen sobre cómo reacciona el organismo a según qué técnica, aún estamos lejos de poder establecer una técnica u otra como la más eficaz para recuperar al organismo.

De forma específica, el problema que dio lugar a la presente investigación era conocer si en un contexto real durante la temporada, donde el entrenamiento del fútbol está orientado a la competición y el principal objetivo no es inducir elevados niveles de fatiga para provocar adaptaciones, existen diferencias entre el uso de diferentes técnicas de recuperación o la combinación de las mismas. La intención fue recopilar datos que tuvieran una aplicación directa en el día a día de los técnicos, en equipos donde los medios de recuperación utilizados son similares a los de este estudio, por su tradición y bajo coste.

III. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

Se proponen las siguientes hipótesis de investigación:

- a. Las estrategias de recuperación combinadas son más eficaces que una estrategia simple en la recuperación de futbolistas profesionales.
- b. Las estrategias de recuperación combinadas que incluyen crioterapia son más eficaces que aquellas que no la incluyen.
- c. Las estrategias de recuperación combinadas estudiadas afectan de igual manera la recuperación de futbolistas de diferente categoría competitiva.

3.2. Objetivos

Los objetivos generales que se derivan de las hipótesis planteadas son los siguientes:

1. Comparar la eficacia de diferentes estrategias de recuperación (simple y combinadas) tras una sesión de entrenamiento en jugadores de fútbol profesionales en periodo competitivo (hipótesis a).
2. Evaluar la eficacia de diferentes estrategias de recuperación combinadas después de un entrenamiento en jugadores de fútbol semi-profesionales en periodo competitivo (hipótesis b).
3. Contrastar la eficacia de dos estrategias de recuperación combinadas en jugadores de fútbol de diferente categoría competitiva (hipótesis c).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Diseño del estudio

El estudio se llevó a cabo mediante dos fases experimentales, ambas en el año 2011 aunque pertenecientes a temporadas diferentes y con dos equipos distintos. La primera fue realizada a mitad de la temporada 2010-2011 con un equipo profesional, mientras que la segunda se realizó en las tres primeras semanas de competición de la temporada 2011-2012 con un equipo semi-profesional.

Las técnicas empleadas en la presente investigación han sido aquellas más utilizadas por la mayoría de equipos tanto profesionales como amateur o de fútbol bases. Esto unido a su bajo coste y a su fácil utilización facilita que la metodología sea reproducible en cualquier contexto por el mayor número de equipos posibles. De esta forma, la propuesta ha sido realizar una investigación enmarcada en un contexto real tratando que los resultados tengan la mayor aplicación posible al trabajo real de campo (validez externa).



Figura 8. Relación de las diferentes fases de la investigación con los objetivos de estudio.

Tabla 4. Resumen de la relación entre objetivos de estudio y las metodologías llevadas a cabo en la presente tesis.

OBJETIVO	FASE EXPERIMENTAL	MÉTODO	SUJETOS (n)
Objetivo 1	Fase Experimental 1. Comparación de las estrategias de recuperación combinadas y simple en jugadores de fútbol de profesionales.	4 estrategias de recuperación aplicadas a 4 grupos durante 4 entrenamientos	20 sujetos
Objetivo 2	Fase experimental 2. Efectos de estrategias de recuperación combinadas en jugadores de fútbol semi-profesionales tras un entrenamiento específico durante la temporada.	3 estrategias de recuperación aplicadas a 3 grupos durante 3 entrenamientos	18 sujetos
Objetivo 3	Fases experimentales 1 y 2. Comparación de la eficacia de dos estrategias de recuperación combinadas entre jugadores de fútbol de élite y semi-profesionales.	Comparación de 2 estrategias de recuperación comunes en las dos primeras fases.	38 sujetos

En la primera fase (tabla 5) se utilizó un diseño cruzado y aleatorizado para comparar los efectos de cuatro estrategias de recuperación post-entrenamiento. La duración de dicha toma de datos fue de cuatro semanas, entre los meses de enero y febrero de 2011, correspondiente a la temporada 2010-2011. Cada semana constaba de dos sesiones de recogida de datos (jueves y viernes), siendo la primera de ellas donde se llevaban a cabo las estrategias de recuperación tras el entrenamiento. El grupo fue dividido de forma aleatoria en cuatro subgrupos de 5 jugadores. Así, el jueves cada uno de ellos realizaba una estrategia distinta a la de los demás, rotando cada semana, de forma que todos los grupos pasaron por todas las estrategias una vez transcurridas las 4 semanas.

Tabla 5. Diseño de la investigación para la aplicación de las estrategias de recuperación de la primera fase experimental.

SEMANA/GRUPO	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Semana 1	Estrategia 1	Estrategia 2	Estrategia 4	Estrategia 3
Semana 2	Estrategia 3	Estrategia 1	Estrategia 2	Estrategia 4
Semana 3	Estrategia 4	Estrategia 3	Estrategia 1	Estrategia 2
Semana 4	Estrategia 2	Estrategia 4	Estrategia 3	Estrategia 1

En la segunda fase (tabla 6), con el fin de determinar el efecto de tres estrategias de recuperación, se utilizó un diseño cruzado y aleatorizado durante las tres primeras semanas de competición de la temporada 2011-2012, entre los meses de septiembre y octubre de 2011. En esta ocasión las sesiones de recogida de datos se llevaron a cabo los miércoles y jueves de cada semana, siendo el grupo dividido de forma aleatoria en 3 subgrupos de 6 jugadores, con el mismo sistema de rotación de la fase anterior.

Tabla 6. Diseño de la investigación para la aplicación de las estrategias de recuperación de la segunda fase experimental.

SEMANA/GRUPO	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Semana 1	Estrategia 1	Estrategia 3	Estrategia 2
Semana 2	Estrategia 2	Estrategia 1	Estrategia 3
Semana 3	Estrategia 3	Estrategia 2	Estrategia 1

4.2. Participantes

4.2.1. Fase experimental 1

Los participantes formaban parte de un club profesional de la primera división española, concretamente del equipo filial o segundo equipo. Todos ellos tenían como mínimo 5 años de experiencia en entrenamiento sistematizado de fútbol con al menos 4 días de entrenamiento por semana. El grupo final constó de 20 futbolistas varones (tabla 7). Antes de la participación en el estudio cada uno de ellos fue informado de las características del mismo, dando su consentimiento y compromiso por escrito, de acuerdo con las premisas dictadas en la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos (250). Cada uno de los participantes debía reunir los siguientes requisitos para poder ser incluidos en el estudio:

1. Participar de forma completa en las sesiones de entrenamiento.
2. No recibir masaje ni aplicación de otras técnicas de recuperación extras a las del estudio.

3. No practicar ningún tipo de actividad física fuera de los horarios de entrenamiento.

Tabla 7. Datos descriptivos (media \pm DT) de la muestra estudiada (n=20)

	Media		DT
Edad (años)	21.8.5	\pm	1.9
Peso (kg)	70.6	\pm	6.8
Talla (cm)	175.5	\pm	5.9
IMC (kg/m ²)	22.9	\pm	1.3
Masa grasa (%)	7.5	\pm	2.2
Masa muscular (kg)	29.8	\pm	9.2

IMC: Índice de masa corporal.

4.2.2. Fase experimental 2

En la segunda fase participaron 18 futbolistas (tabla 8) pertenecientes al segundo equipo (o equipo filial) de un club profesional español de segunda división B, todo ellos con una experiencia no inferior a 5 años de entrenamiento sistematizado. Para poder participar en el estudio los jugadores debían:

1. Participar de forma completa en las sesiones de entrenamiento.
2. No recibir masaje ni aplicación de otras técnicas de recuperación extras a las del estudio.
3. No practicar ningún tipo de actividad física fuera de los horarios de entrenamiento.

Todos los jugadores fueron informados acerca del protocolo a seguir durante las tres semanas del estudio, de los beneficios y de los riesgos del mismo siguiendo las premisas dictadas en la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos (250).

Tabla 8. Datos descriptivos (media \pm DT) de la muestra estudiada (n=18)

	Media		DT
Edad (años)	20.5	\pm	2.0
Peso (kg)	71.0	\pm	4.1
Altura (cm)	176	\pm	6.3

4.3. Pruebas de valoración

4.3.1. Composición corporal

Para el cálculo de la composición corporal se realizó una antropometría siguiendo las directrices de la *International Society for Advancement in Kinanthropometry* (ISAK) (277) y del Grupo Español de Cineantropometría (GREC). Esta fue llevada a cabo una hora antes del entrenamiento de la primera semana en una sala contigua al vestuario del equipo.

El protocolo fue el siguiente:

- Peso: los sujetos se subían a la Báscula marca Detecto (Lafayette Instruments Company, Lafayette, Indiana, USA), cuyo intervalo de medición se sitúa entre 0.0 y 150.0 kg y su precisión es de 100 g. Se realizaron calibraciones periódicas así como ajustes del cero previo a cada medición.
- Talla: Se situó a cada jugador de pie con los talones juntos, teniendo en cuenta que el mentón se ubique de manera que el borde inferior de la cavidad orbitaria se encuentre en línea horizontal con la parte superior del trago de la oreja (plano de Frankfurt). El dispositivo utilizado fue el estadiómetro convencional de cremallera (Holtain Limited, Crymych, Reino Unido), con plano triangular de broca para la cabeza, cuyo rango de medida va de 63 a 213 cm.
- Toma de pliegues: todas las medidas fueron tomadas siguiendo un procedimiento estandarizado (277) utilizando un medidor de pliegues cutáneos o plicómetro (plicómetro tipo Holtain LTD® GPM, SiberHegner & Co. Ltd., Zurich), de aproximadamente 0.5 kg de peso, rango de medición de 0 a 45 mm e intervalo de medida de 0.2 mm (Presión constante de $10 \text{ g}\cdot\text{mm}^2$). Los pliegues medidos fueron los siguientes: tríceps, subescapular, iliocrestal, abdominal, muslo anterior y pierna.
- Perímetros: se llevó a cabo un protocolo específico (277) en el que se midieron los perímetros del muslo, pierna, brazo relajado, brazo contraído, cadera y cintura, utilizando una cinta métrica de material plástico (GPM, SiberHegner & Co. Ltd., Zurich) con rango de medida de entre 0 y 2000 mm.

Para el cálculo del porcentaje de grasa se utilizó la ecuación de Carter (tabla 9), recomendada en el documento de consenso de la Federación Española de Medicina del

Deporte (351), que tiene en cuenta los pliegues del tríceps, subescapular, suprailíaco anterior, abdominal, músculo anterior y pierna.

Tabla 9. Ecuación de Carter para estimar el % de grasa corporal a partir de pliegues.

$$\text{Masa grasa (\%)} = (\sum 6p) \cdot 0,10051 + 2,58$$

$\sum 6p$: sumatorio de los pliegues del tríceps, subescapular, iliocrestal, abdominal, muslo anterior y pierna.

Por otro lado, para el cálculo de la masa muscular esquelética se utilizó la ecuación de Lee (352) (tabla 10).

Tabla 10. Ecuación de Lee (Lee, Wang et al. 2000) para estimar la masa muscular esquelética.

$$\text{Masa muscular (kg)} = \text{Talla} \cdot (0,00744 \cdot \text{CAG}^2 + 0,00088 \cdot \text{CTG}^2 + 0,00441 \cdot \text{CCG}^2) + 2,4 \cdot \text{sexo} \cdot 0,048 \cdot \text{edad} + \text{raza} + 7,8$$

$$\text{CAG} = \text{PM} - 3,1416 \cdot (\text{Pm} / 10)$$

$$\text{CTG} = \text{PB} - 3,1416 \cdot (\text{Pt} / 10)$$

$$\text{CCG} = \text{PP} - 3,1416 \cdot (\text{Pp} / 10)$$

CAG: perímetro del brazo corregido; CTG: perímetro del muslo corregido; CCG: perímetro de la pierna corregido; PM: perímetro del muslo; Pm: pliegue del muslo; PB: perímetro del brazo; Pt: pliegue del tríceps; PP: perímetro de la pierna; Pp: pliegue de la pierna. Todas las medidas expresadas en cm. Sexo: 1 masculino y 0 femenino; raza: 2 asiáticos, 1.1 afro americanos y 0 para blancos e hispanos.

4.3.2. Valoración de la capacidad cardiorrespiratoria

Se realizó el test de Course Navette (353) con el fin de determinar la FC_{max} de los jugadores. Una semana antes de comenzar la temporada y el estudio, como parte principal del entrenamiento, los jugadores llevaron a cabo el test en el mismo campo de fútbol, el cual fue controlado mediante monitores de FC Polar[®] (modelo RS400, Polar Electro, Kempele, Finlandia).

La prueba de Course Navette es un test de aptitud cardiorrespiratoria que mide la potencia aeróbica máxima y de forma indirecta el consumo máximo de oxígeno. Los sujetos deben

desplazarse corriendo de una línea a otra separada veinte metros, al ritmo que marca una señal sonora. Este ritmo de carrera aumentará cada minuto, de forma que los participantes empiezan la prueba a una velocidad de ocho kilómetros por hora, el primer minuto aumentará a nueve kilómetros por hora y, a partir de aquí, cada minuto aumenta el ritmo medio kilómetro por hora. La prueba finaliza cuando no pueden seguir el ritmo marcado. Hay una zona de seguridad de 3 metros, de forma que si un sujeto no alcanza la línea de veinte metros a la señal sonora pero está dentro de dicha zona, puede seguir con la prueba. La segunda vez que no alcance la línea de veinte metros finalizará la prueba. La velocidad final será aquella que sea alcanzada antes de pararse.

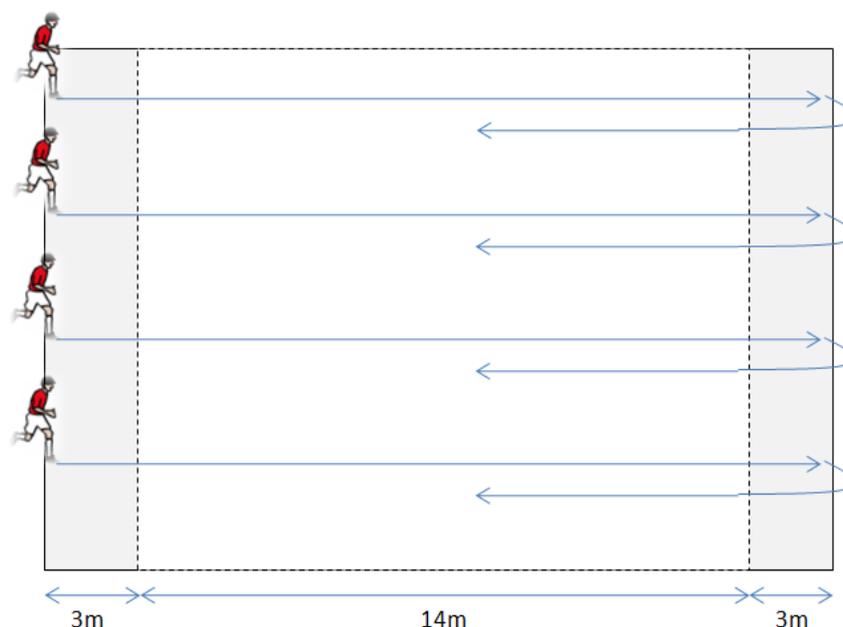


Figura 9. Ilustración de la prueba de Course Navette, indicando el recorrido del jugador durante los veinte metros, y las zonas de seguridad de tres metros.

4.3.3. Valoración de la frecuencia cardíaca

En todas las sesiones de entrenamiento se midió la frecuencia cardíaca para determinar la intensidad de trabajo de cada sesión, tal y como se ha hecho en otros trabajos de fútbol a la hora de controlar la carga de trabajo (46, 51). Para ello todos los jugadores utilizaron monitores de FC Polar® (modelo RS400, Polar Electro, Kempele, Finlandia) durante el tiempo de entrenamiento y también durante la recuperación.

Por otro lado, en la primera fase experimental se calculó la frecuencia cardíaca máxima teórica de forma indirecta mediante la fórmula de Tanaka y col (354) ($FC_{max} = 208,75 - [0,73 \times edad]$), mientras que en la segunda toma de datos se calculó la FC_{max} mediante el Test de Course Navette como se ha explicado anteriormente.

4.3.4. Valoración de la flexibilidad

Con el objetivo de valorar la flexibilidad de manera indirecta se escogió el test *Seat and Reach*, que mide la flexibilidad de la zona lumbar, extensores de cadera y flexores de rodilla (355) por ser uno de los test lineales de estiramiento utilizados en diferentes baterías de ejercicio físico para evaluar la extensibilidad de las áreas mencionadas (356). El test supone un movimiento corporal global y los resultados están influidos por algunos factores antropométricos, por la amplitud de movimiento de los diferentes núcleos articulares implicados, y por la disposición de la columna vertebral (357).

Para su realización el jugador debe descalzarse y posteriormente sentarse en el suelo con las piernas extendidas y con la planta de los pies apoyada en el cajón de medición específico. Entonces realizará una flexión de cadera y columna deslizando las manos extendidas de forma lenta y progresiva sobre la parte superior del cajón, donde existe una regla de medición, sin flexionar las rodillas. Se realizaron tres intentos y se anotó la mejor puntuación (355).



Figura 10. Test Seat & Reach (tomada de <http://www.homeware.be>)

4.3.5. Valoración hormonal

Las concentraciones hormonales de testosterona y cortisol fueron medidas en saliva en diferentes momentos al largo del protocolo experimental. Las muestras de saliva fueron

depositadas en tubos Eppendorf, los cuales fueron colocados y sellados en una nevera portátil hasta su almacenamiento definitivo a -20°C para su posterior análisis a fin de determinar niveles de cortisol y testosterona.

La concentración de ambas hormonas fue medida mediante un inmunoensayo enzimático para la determinación cuantitativa in vitro de cortisol y testosterona libre activa (DEMEDIATEC Cortisol free in saliva ELISA KIT; Demeditec Diagnostics GmbH, Alemania). Además, los datos obtenidos fueron usados para calcular el ratio testosterona/cortisol.

4.3.6. Valoración de la temperatura timpánica

Con el fin de determinar la temperatura central del cuerpo se midió la temperatura timpánica (TAT) (159, 358, 359) utilizando el termómetro timpánico Thermoscan pro 4000. El protocolo a seguir fue el indicado en las instrucciones de uso del dispositivo: (1) Instalar una nueva funda en el termómetro a cada medición; (2) esperar a la señal de sonido (“beep” corto) que se produce de forma automática a los pocos segundos; (3) introducir la sonda en el canal auditivo y entonces pulsar el botón de inicio. A los pocos segundos in sonido (“beep largo”). Podrá verse el resultado en la pantalla del termómetro; (4) Si la funda no ha sido colocada correctamente en el termómetro o éste no ha sido introducido correctamente en el canal auditivo, podrá escucharse una secuencia de sonidos cortos con el mensaje de error en la pantalla; (5) Para la siguiente medición se extraerá la funda utilizada y se colocará una nueva, momento en el que el termómetro se reiniciará por sí solo.

4.3.7. Percepción subjetiva del esfuerzo

Mediante la escala de esfuerzo percibido RPE6-20 de Borg (218) se cuantificó la carga de entrenamiento percibida por los jugadores o los niveles de fatiga alcanzados por los atletas tras la tarea (5, 218, 225). Los jugadores fueron familiarizados con la misma durante las dos semanas previas al estudio. En la figura 11 se puede observar la escala utilizada (218).

Escala RPE	
6	Muy, muy ligero
7	
8	
9	Muy ligero
10	
11	Moderado
12	
13	Algo duro
14	
15	Duro
16	
17	Muy duro
18	
19	Muy, muy duro
20	Máximo, extenuante

Figura 11. Escala RPE6-20 de Borg (1998) para la valoración subjetiva del esfuerzo.

Se pidió a los jugadores que trataran de evaluar su sensación de agotamiento de la forma más honesta posible, no subestimando ni sobreestimando la misma. Se hacía referencia a que era su propia sensación de esfuerzo la que importa, no como se compara esta con el de otra persona. Se les indicaba mirar la escala y la expresiones y entonces indicar un valor numérico.

4.3.8. Valoración del dolor muscular percibido

A través de la escala de dolor percibido o *Category Ratio Scale* (CR10) se midió el dolor localizado a nivel musculo-esquelético en miembros inferiores (3, 218, 229). Los jugadores fueron familiarizados con la escala dante dos semanas y fueron instruidos para relacionar correctamente sus sensaciones con la puntuación de la tabla (Figura 12).

Escala CR10	
0	Nada en Absoluto (no dolor)
0,3	
0,5	Extremadamente débil (apenas percibido)
1	Muy débil
1'5	
2	Débil (ligero)
2,5	
3	Moderado
4	
5	Fuerte (intenso)
6	
7	Muy fuerte
8	
9	
10	Extremadamente fuerte (máximo dolor)
11	
—	
•	El máximo absoluto

Figura 12. Escala CR10 de Borg (1998) utilizada en el presente estudio para medir dolor muscular percibido.

4.3.9. Escala de percepción de la calidad de la recuperación

Mediante la escala TQR se midió la percepción de la recuperación psicofísica de los jugadores (3, 7, 218, 225, 234). Durante las dos semanas previas a los experimentos los jugadores fueron familiarizados con la misma.

Escala TQR	
6	
7	Muy, muy pobre recuperación
8	
9	Muy pobre recuperación
10	
11	Pobre recuperación
12	
13	Razonable recuperación
14	
15	Buena recuperación
16	
17	Muy buena recuperación
18	
19	Muy, muy buena recuperación
20	

Figura 13. Escala TQR de percepción de la calidad de la recuperación de Kenttä y Hassmén (1998), extraída en castellano de Rey (2011).

4.4. Protocolo de investigación

4.4.1. Fase experimental 1

Se llevó a cabo durante cuatro semanas entre los meses de enero y febrero de la temporada 2010-2011. Cada semana constaba de dos sesiones de recogida de datos (jueves y viernes), siendo la primera de ellas donde se realizaban las estrategias de recuperación tras el entrenamiento y el viernes el registro tras 24 horas.



Figura 14. Diseño experimental de una semana tipo. Datos PreE: recogida de datos previos al entrenamiento; Datos PostE: recogida de datos tras el entrenamiento; Datos PostR: recogida de datos tras la recuperación; Datos Post24: recogida de datos tras 24 horas.

Antes del entrenamiento del jueves se les pedía a los jugadores que indicaran su estado de recuperación respecto al día anterior mediante la escala subjetiva TQR (234) y el dolor músculo-esquelético percibido de miembros inferiores mediante la escala CR10 (218), para finalmente medirles la TAT. Era entonces cuando se les informaba de la estrategia de recuperación que debían seguir al acabar el entrenamiento.

A cada jugador le era asignado un pulsómetro antes de comenzar con el calentamiento. Inmediatamente tras la finalización del entrenamiento se registraba la TAT y se anotaba el esfuerzo percibido de la sesión mediante la escala RPE, así como la percepción de dolor muscular. Posteriormente se comenzaba con el protocolo asignado de los 16 minutos de recuperación guiada. El último registro de datos del jueves se llevaba a cabo inmediatamente después de la recuperación donde se les tomaba por última vez la TAT y se les preguntaba por las escalas subjetivas de dolor muscular y percepción de la recuperación (CR10 y TQR). Los viernes antes del entrenamiento se pedía el valor de las escalas subjetivas CR10 y TQR y se tomaba la TAT (Figura 15).

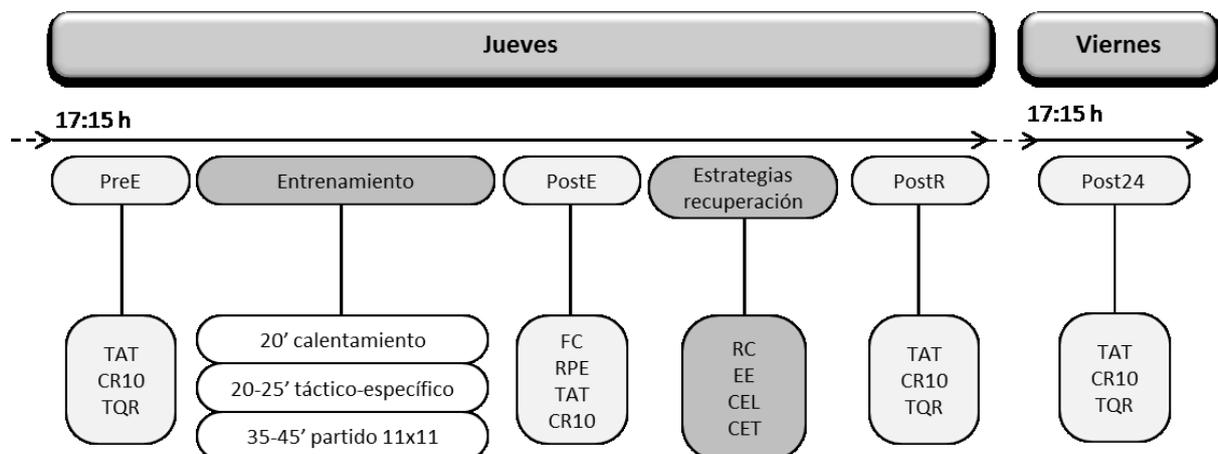


Figura 15. Protocolo de actuación durante los días de toma de datos y aplicación de estrategias de recuperación. TAT: temperatura timpánica; CR10: escala subjetiva de dolor muscular percibido; TQR: escala subjetiva de percepción de la recuperación; RPE: escala subjetiva de esfuerzo percibido; RC: estrategia de recuperación simple, estiramientos rutinarios del equipo; EE: estrategia de recuperación combinada, elevación de piernas y estiramientos; CEL: estrategia de recuperación combinada, carrera continua y elevación de piernas; CET: estrategia de recuperación combinada, carrera continua y estiramientos.

4.4.2. Fase Experimental 2

La fase experimental 2 se llevó a cabo durante las cuatro primeras semanas de la temporada 2011-2012, entre los meses de septiembre y octubre. En la semana previa al comienzo de la toma de datos se ofreció a los jugadores la información necesaria para conocer todos los pasos del proceso y se les ofreció el material necesario para recoger la recogida de muestras de saliva de la mañana. Además, el miércoles de esta misma semana los jugadores llevaron a cabo el test de Course Navette para determinar la FC_{máx} de cada jugador (353). Desde el último entrenamiento habían pasado 48 horas.

Las siguientes tres semanas constaron de dos sesiones de recogida de datos (miércoles y jueves), siendo la primera de ellas donde se llevaban a cabo las estrategias de recuperación tras el entrenamiento (figura 16). El grupo fue dividido de forma aleatoria en tres subgrupos de 6 jugadores de forma que el miércoles cada uno de ellos realizaba una estrategia distinta a la de los demás, rotando cada semana y realizando al final del estudio todos los subgrupos las tres estrategias.



Figura 16. Diseño experimental de una semana tipo. Datos PreE: recogida de datos previos al entrenamiento; Datos PostE: recogida de datos tras el entrenamiento; Datos PostR: recogida de datos tras la recuperación; Datos Post24: recogida de datos tras 24 horas.

Durante las mañanas del miércoles y jueves los jugadores depositaron la muestra de saliva al despertarse (7:30 - 8:00 a.m.) y sin que hubiesen ingerido ningún tipo de alimento o bebida, ni hubiesen procedido a la limpieza bucal. Por la tarde los jugadores llegaban a las instalaciones del club a las 18:00 horas, entregaban los tubos en los cuales habían depositado la saliva por la mañana y se les pedía que valoraran las escalas TQR, CR10, para posteriormente pasar el test de la TAT antes de hacer cualquier tipo de actividad. Una vez

finalizado este proceso procedían al protocolo de calentamiento (figura 17) para el test de flexibilidad. Una vez todos habían finalizado la toma de datos previa al entrenamiento, el grupo al completo comenzaba el entrenamiento.

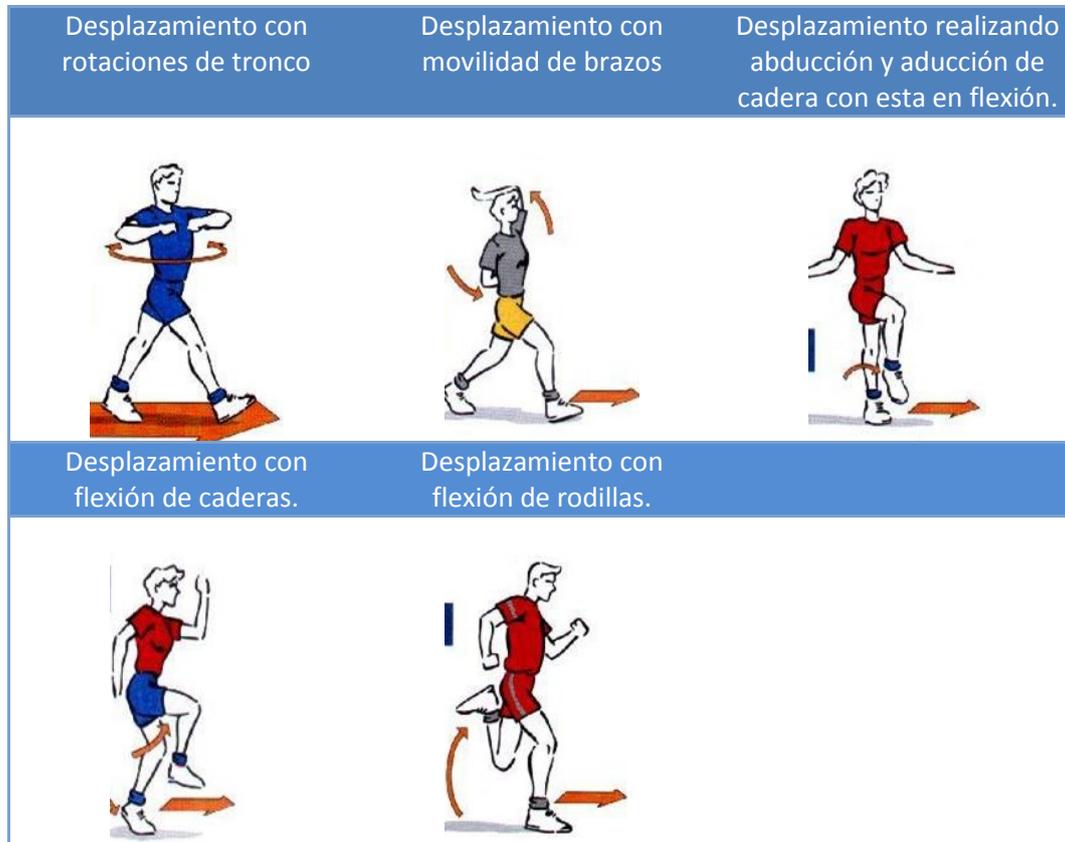


Figura 17. Calentamiento realizado previo al test de flexibilidad. Cada ejercicio se llevó a cabo a lo largo de un recorrido de 15 metros, ida y vuelta. Se realizaron los 5 ejercicios un total de dos veces cada uno. Imágenes extraídas de <https://elblogdenube2.wordpress.com/>

Al terminar el entrenamiento se les preguntaba por los valores RPE y CR10, se les medía la TAT e inmediatamente se dirigían a realizar la estrategia de recuperación que tuvieran asignada ese día, información que se les había proporcionado antes de comenzar el entrenamiento. Tras la recuperación realizaban la última fase del día, que constaba de responder a los test de TQR, CR10 y depositar saliva en los tubos. Los jueves antes del entrenamiento se llevaban a cabo los mismos pasos que el día anterior, es decir, recoger tubos de saliva, pasar las escalas subjetivas TQR y CR10, toma de TAT y test de flexibilidad (Figura 18).

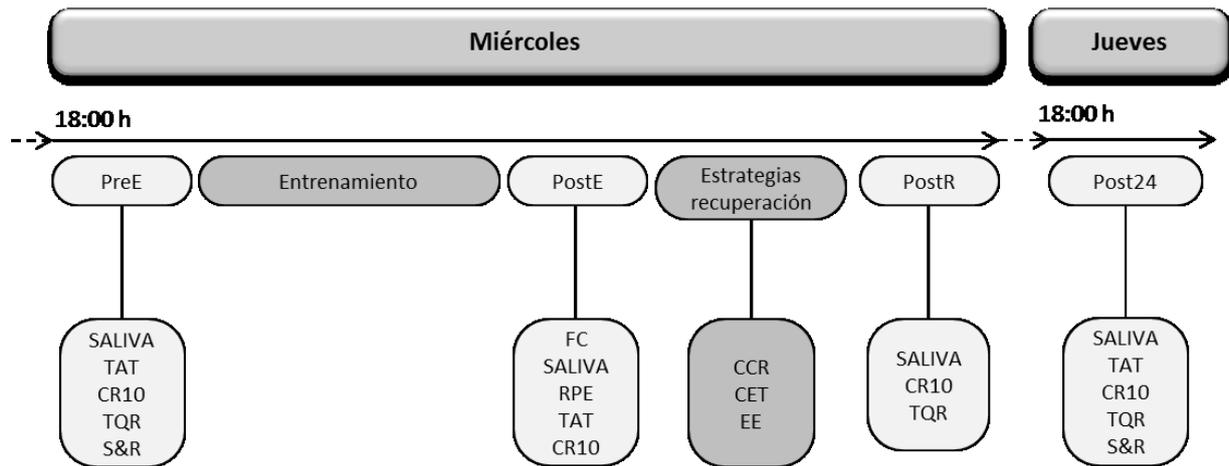


Figura 18. Protocolo de actuación durante los días de toma de datos y aplicación de estrategias de recuperación. TAT: temperatura timpánica; CR10: escala subjetiva de dolor muscular percibido; TQR: escala subjetiva de percepción de la recuperación; S&R: test de flexibilidad; RPE: escala subjetiva de esfuerzo percibido; CCR: carrera continua y crioterapia; EE: elevación de piernas y estiramientos; CET: carrera continua y estiramientos.

4.5. Entrenamientos

4.5.1. Fase experimental 1

El estudio se llevó a cabo durante las sesiones de entrenamiento de un equipo de fútbol profesional en fase competitiva. Antes de comenzar el mismo, se llegó a un acuerdo con el entrenador y el cuerpo técnico del equipo con el fin de poder realizar el estudio en los entrenamientos que tuvieran contenidos más específicos de fútbol. Hay que tener en cuenta que el estudio fue llevado a cabo en periodo de competición, por lo que la prioridad del club eran los resultados y el entrenamiento no podía estar condicionado por la investigación. Así la estructura general de las sesiones de entrenamiento fue la siguiente:

- Calentamiento con un trabajo de técnica integrado (duración: 20 min).
- Ejercicios en los que se trabajaban situaciones tácticas específicas en dos tercios del terreno de juego. Esta parte del entrenamiento simulaba situaciones de competición, sin llegar a jugar 11 contra 11. Se focalizaba la tarea en aspectos que el cuerpo técnico quería mejorar de cara al partido del fin de semana, estando el comportamiento de los

jugadores condicionado por diferentes reglas. Finalmente se presentaba un trabajo de una intensidad elevada los jugadores y específico de fútbol (duración: 20-25 min).

- Partido 11 contra 11. Con el fin de hacer una transferencia de lo trabajado anteriormente al partido real, el entrenador disponía dos equipos para llevar a cabo un partido de fútbol de forma ininterrumpida. El campo de entrenamiento era el mismo donde se competía el fin de semana cuando el equipo competía en casa (duración 35-45 min).

Para comprobar que la intensidad del entrenamiento en los días registrados fue la misma se llevó a cabo una medición de FC y RPE.

4.5.2. Fase experimental 2

Esta fase fue realizada durante las sesiones de entrenamiento de un equipo de fútbol semi-profesional, al inicio de la temporada. Las sesiones de entrenamiento llevadas a cabo los miércoles dependían directamente del entrenador, pero se llegó a un acuerdo para que mantuvieran una estructura de trabajo similar entre ellas en cuanto a los contenidos y a su duración. Se buscó aplicar las estrategias de recuperación en aquella sesión semanal que pudiera tener una mayor especificidad en cuanto a la práctica del fútbol. La estructura de las sesiones fue la siguiente:

- Calentamiento con trabajo técnico integrado (duración: 15 min).
- Trabajo de potencia aeróbica, con contenidos específicos e inespecíficos de fútbol (duración: 15 min). Para realizar este trabajo se dividió al equipo en grupos de seis jugadores. En cada uno de ellos había un técnico encargado del mismo, que proporcionaba mensajes motivacionales a los jugadores con el fin de que trabajaran con la máxima intensidad posible, además de proveer balones en caso de que se necesitasen para que en ningún momento se parase el ritmo del ejercicio. Se realizaron 5 series de 3 minutos de trabajo, los cuales incluían:
 - 20'' técnica individual con balón.
 - 20'' fútbol en espacio reducido de 25x20m.
 - 20'' técnica individual con balón.
 - 1' de carrera continua al 75% de la FCmax.

- 1' de carrera continua al 85% de la FCmax.
- Posteriormente, durante 65 minutos, se realizó un entrenamiento específico de fútbol con diferentes tareas donde cada una de ellas tenía un tipo de reglamentación asociada al modelo de juego del entrenador, que hacía que la implicación cognitiva de los jugadores fuera alta:
 - 10 minutos SSG de 35x30m. 3 equipos de 6 a 7 jugadores.
 - 15 minutos SSG de 35x30m. 3 equipos de 6 a 7 jugadores.
 - 30 minutos de partido de fútbol en dos tercios del campo. Dos equipos de 9 a 10 jugadores.

4.6. Estrategias de recuperación

4.6.1. Fase experimental 1

Se emplearon 4 estrategias de recuperación durante el estudio, con una duración total de 16 minutos (293).

La estrategia CET (carrera continua + estiramientos) es una combinación de técnicas en la que se realizó carrera continua de baja intensidad y estiramientos. Consistió en realizar 8 minutos de carrera continua a una intensidad del 60-70% de la FCmax teórica y 8 minutos de estiramientos estáticos, realizando 3 repeticiones de 15 segundos de los siguientes grupos musculares: tríceps sural, aductores, cuádriceps, glúteos, musculatura lumbar e isquiotibiales (figura 19).

CEL (carrera continua + elevación de piernas) constaba de una combinación de 8 minutos de carrera continua a una intensidad del 60-70% de la FCmax teórica y 8 minutos de elevación de piernas (decúbito supino sobre una esterilla, piernas apoyadas en un banco con flexión de caderas y rodillas de 90°).

EE (estiramientos + elevación de piernas) es una estrategia que combinó 8 minutos de estiramientos estáticos realizando 3 repeticiones de 15 segundos de los siguientes grupos musculares: tríceps sural, aductores, cuádriceps, glúteos, musculatura lumbar e isquiotibiales (figura 19) y 8 minutos de elevación de piernas (decúbito supino sobre una esterilla, piernas apoyadas en un banco con flexión de caderas y rodillas de 90°).

RC (estrategia simple, estiramientos) es una estrategia de recuperación simple de una duración total de 5 minutos que realizaba el equipo de forma rutinaria durante la temporada, con 20 segundos de estiramientos del tríceps sural, aductores, cuádriceps, psoas, glúteos, isquiotibiales y musculatura lumbar. Es la estrategia de recuperación que el equipo venía realizando durante todo el año.

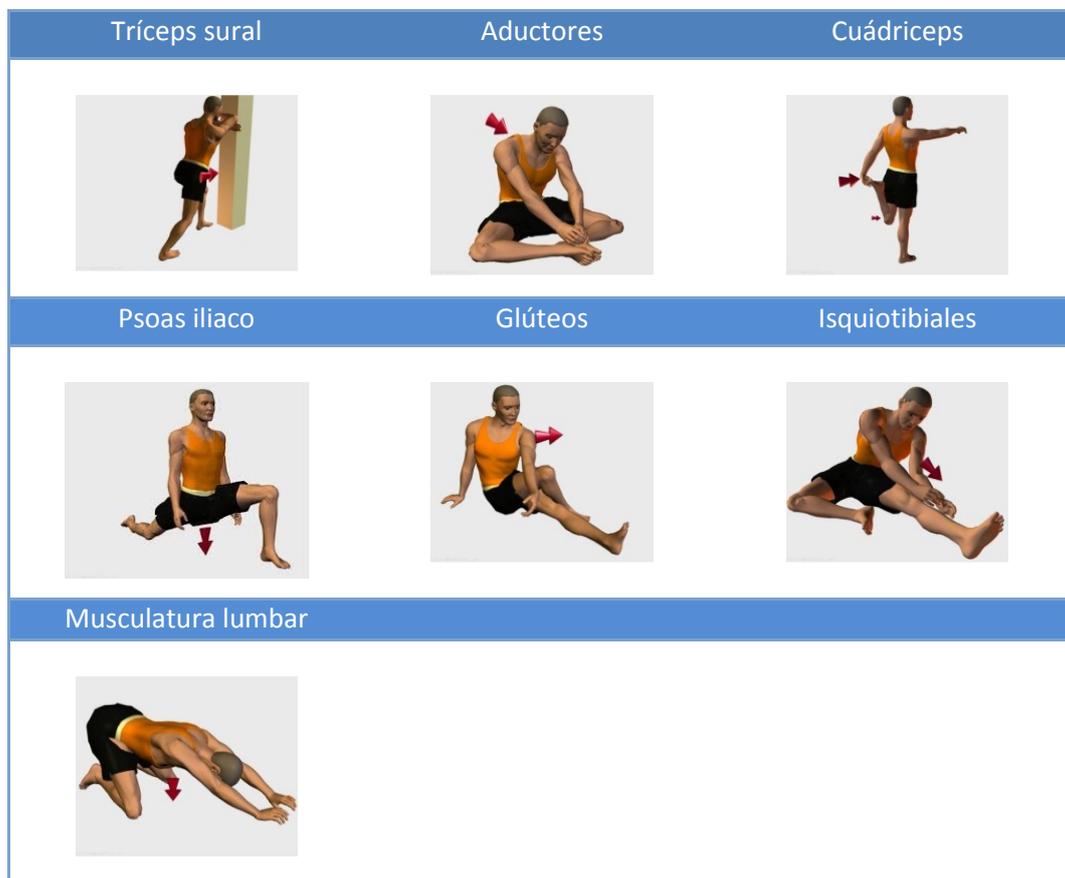


Figura 19. Estiramientos realizados en ambas fases experimentales. Imágenes extraídas de www.estiramientos.es

4.6.2. Fase experimental 2

En el estudio 2 se emplearon 3 estrategias diferentes de recuperación, cuya duración total fue de 16 minutos.

CCR (carrera continua y crioterapia) Consistió en combinar 8 minutos de carrera continua al 60-70% de la FCmax (calculada a través del test de Coursee Navette) seguida de 8 minutos de inmersión en agua fría. Esta se realizó en unas piscinas portátiles donde los jugadores se sentaban con el agua cubriéndoles hasta la cadera y donde se vertía hielo para mantener la temperatura en un rango de 13-15°C. Durante los 8 minutos de agua fría, los jugadores realizaron 4 bloques de 2 minutos, 1 minuto sumergidos y otro fuera de la piscina.

La estrategia CET (carrera continua + estiramientos) y la estrategia EE (estiramientos + elevación de piernas) fueron llevadas a cabo en las mismas condiciones que en la fase experimental 1.

4.7. Variables del estudio

Tabla 11. Variables dependientes

Objetivo 1

TAT	Temperatura Timpánica
FCmax teórica	Frecuencia Cardíaca Máxima Teórica
FCmax	Frecuencia Cardíaca Máxima
FCm	Frecuencia Cardíaca Media de la Sesión
RPE	Percepción de Esfuerzo
CR10	Dolor Muscular Percibido
TQR	Percepción de la Calidad de la Recuperación

Objetivo 2

Testosterona	Testosterona en Saliva
Cortisol	Cortisol en Saliva
TAT	Temperatura Timpánica
FCmax teórica	Frecuencia Cardíaca Máxima Teórica
FCmax	Frecuencia Cardíaca Máxima
FCm	Frecuencia Cardíaca Media de la Sesión
RPE	Percepción de Esfuerzo
CR10	Dolor Muscular Percibido
TQR	Percepción de la Calidad de la Recuperación
Flexibilidad	Flexibilidad

Objetivo 3

TAT	Temperatura Timpánica
FCmax teórica	Frecuencia Cardíaca Máxima Teórica
FCmax	Frecuencia Cardíaca Máxima
FCm	Frecuencia Cardíaca Media de la Sesión
RPE	Percepción de Esfuerzo
CR10	Dolor Muscular Percibido
TQR	Percepción de la Calidad de la Recuperación

<i>Tabla 12. Variables independientes</i>		
OBJETIVO 1		
<i>Variable</i>	<i>Niveles de medida</i>	<i>Descripción</i>
Estrategia de Recuperación	CET	Carrera continua + estiramiento
	EE	Estiramiento + elevación de piernas
	CEL	Carrera continua + elevación de piernas
	RC	Recuperación control simple
Momento de Medida	preE	Previo al entrenamiento
	postE	Posterior al entrenamiento
	postR	Posterior a la recuperación
	Post24	Tras 24 horas, previo al siguiente entrenamiento.
OBJETIVO 2		
<i>Variable</i>	<i>Niveles de medida</i>	<i>Descripción</i>
Estrategia de Recuperación	CET	carrera continua + estiramiento
	EE	estiramiento + elevación de piernas
	CCR	carrera continua + crioterapia
Momento de Medida	preE	Previo al entrenamiento
	postE	Posterior al entrenamiento
	postR	Posterior a la recuperación
	Post24	Tras 24 horas, previo al siguiente entrenamiento.
OBJETIVO 3		
<i>Variable</i>	<i>Niveles de medida</i>	<i>Descripción</i>
Estrategia de Recuperación	CET	carrera continua + estiramiento
	EE	estiramiento + elevación de piernas
Momento de Medida	preE	Previo al entrenamiento
	poste	Posterior al entrenamiento
	postR	Posterior a la recuperación
	Post24	Tras 24 horas, previo al siguiente entrenamiento
Nivel competitivo	Profesional	
	Semi-profesional	

4.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados estadísticos, de carácter tanto descriptivo como inferencial, fueron obtenidos mediante el paquete estadístico SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar (D.E.) y el nivel de significación estadística se fijó en $\alpha=0.05$.

Se realizó una exploración de los datos previa al análisis estadístico, eliminándose los datos atípicos. De esta manera se comprobó la normalidad de las distribuciones, mediante Shapiro Wilk y las pruebas de asimetría y curtosis.

Para el análisis de los datos recopilados en los dos estudios, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos factores con medidas repetidas-(momento x estrategia de recuperación), para comparar el efecto producido por las diferentes estrategias de recuperación en las variables dependientes estudiadas. Un ANOVA de un factor se utilizó para evaluar el cambio en el RPE y en la FC entre las sesiones de entrenamiento. Por último, para evaluar las diferencias entre estrategias en el porcentaje de cambio de las variables estudiadas se realizó un ANOVA de un factor. Las comparaciones múltiples a posteriori se realizaron con el test *post hoc* de Bonferroni.

Se realizó un ANOVA de dos factores con medidas repetidas (momento x categoría competitiva) para comparar si la categoría competitiva influye en cada una de las estrategias de recuperación. Las comparaciones múltiples a posteriori se realizaron con el test *post hoc* de Bonferroni.

El cálculo del tamaño del efecto se realizó mediante el programa MedCalc versión 15.10.0 (MedCalc Software bvba, Acaciaaan 22, 8400 Ostend, Belgium) con el fin de conocer la magnitud de las diferencias entre los diferentes momentos de medición para cada variable. Para interpretar los resultados obtenidos se consideró un tamaño del efecto de .20 como bajo, .50 como medio y .80 como un tamaño del efecto grande (360).

V. RESULTADOS

5.1. Comparación de las estrategias de recuperación, combinadas y simples, en jugadores de fútbol profesionales

El esfuerzo percibido de las cuatro sesiones de trabajo no presentó diferencias significativas ($F_{3,68}=2.8$; $p>0.05$) (figura 20), como tampoco se dieron tales diferencias en la frecuencia cardiaca media de las sesiones de entrenamiento ($F_{3,68}=0.643$; $p>0.05$) (figura 21).

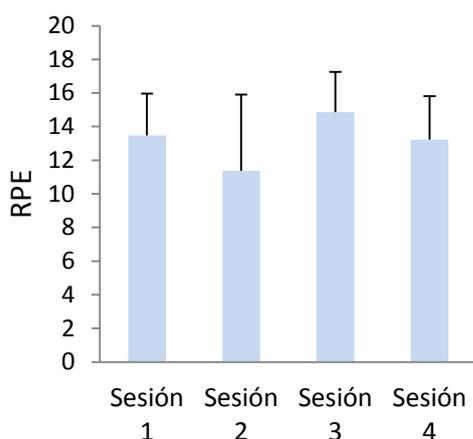


Figura 20. Percepción del esfuerzo (RPE) en las 4 sesiones de entrenamiento estudiadas (media±DE).

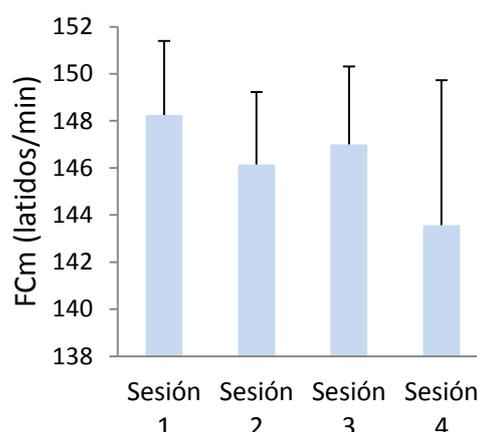


Figura 21. Frecuencia cardiaca media (FCm) en las 4 sesiones de entrenamiento estudiadas (media±DE).

La TAT presentó diferencias significativas entre estrategias ($F_{3,68}=1.096$; $p<0.05$). Tras la recuperación, la estrategia EE mostró una TAT significativamente más elevada que RC y CET ($p<0.05$) y también se encontraron diferencias entre CET y CEL para este momento ($p<0.05$) (tabla 13), siendo el valor de CEL más alto.

En los momentos de medidas ($F_{3,204}=40.332$; $p<0.05$), una vez finalizado el entrenamiento TAT descendió de forma significativa en todos los grupos ($p<0.05$), pudiendo observarse una magnitud del efecto grande en las estrategias RC ($d= -1.0$), EE ($d= -1.0$) y CET ($d= -1.0$), al igual que ocurrió tras la recuperación donde la temperatura volvió a aumentar en todas las estrategias (RC, $d=1.07$; EE, $d=1.59$; CEL, $d=1.29$; CET, $d=1.06$) con diferencias significativas en todas ellas ($p<0.05$).

Tabla 13. Media \pm D.E. de la temperatura timpánica (TAT) en función del momento de medida y la técnica recuperación

	RC	EE	CEL	CET
TAT _{preE} (°C)	36,3 \pm 0,5	36,2 \pm 0,5	36,4 \pm 0,3	36,5 \pm 0,4
TAT _{postE} (°C)	35,6 \pm 0,9 ^a	35,4 \pm 1,1 ^a	35,8 \pm 1,0	35,6 \pm 0,9 ^a
TAT _{postR} (°C)	36,4 \pm 0,5 ^b	36,7 \pm 0,4 ^{a,b,*}	36,7 \pm 0,2 ^b	36,3 \pm 0,4 ^{b,#,§}
TAT _{post24} (°C)	36,2 \pm 0,3	36,3 \pm 0,2 ^{b,c}	36,4 \pm 0,3 ^b	36,3 \pm 0,4 ^b

*Diferencias significativas con RC; #Diferencias significativas con EE; §Diferencias significativas con CEL; ^aDiferencias significativas con preE; ^bDiferencias significativas con postE. ^cDiferencias significativas con postR, ($p < 0.05$). PreE: previo al entrenamiento; PostE: tras el entrenamiento; PostR: tras la recuperación; Post24: 24 horas tras el momento preE; RC: recuperación simple; EE: estiramientos y elevación de piernas; CEL: carrera continua y elevación de piernas; CET: carrera continua y estiramientos.

El dolor muscular no mostró diferencias significativas entre estrategias de recuperación ($F_{3,68}=1.024$; $p=0.388$), pero sí entre momentos de medida ($F_{3,204}=19.375$; $p < 0.05$) (tabla 14). Tras el entrenamiento el dolor muscular aumentó en todos los grupos, siendo solo el grupo que realizó CEL el que no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$). En cuanto al tamaño del efecto, resultó ser mediano en RC ($d=0.66$) y grande en EE y CET ($d > 0.8$). A las 24 horas todas las estrategias descendieron los valores del dolor muscular percibido respecto a aquellos posteriores al entrenamiento, donde RC, EE y CET mostraron significación ($p < 0.05$). Este descenso muestra a su vez una magnitud grande en las estrategias EE y CET ($d=1.12$; $d=1.24$, respectivamente), y medio en RC y CEL ($d=0.69$; $d=0.65$ respectivamente).

Tabla 14. Media \pm D.E. del dolor muscular percibido (CR10) en función del momento de medida y la técnica recuperación

	RC	EE	CEL	CET
Dolor muscular <i>preE</i>	1,7 \pm 1,0	1,5 \pm 1,1	2,2 \pm 0,8	1,7 \pm 0,8
Dolor muscular <i>postE</i>	2,8 \pm 2,2 ^a	3,9 \pm 2,1 ^a	2,7 \pm 1,4	3,0 \pm 1,8 ^a
Dolor muscular <i>postR</i>	2,7 \pm 1,7 ^a	2,9 \pm 1,4 ^{a,b}	2,3 \pm 0,9	2,4 \pm 1,1
Dolor muscular <i>post24</i>	1,7 \pm 0,9 ^{b,c}	2,1 \pm 1,0 ^b	2,0 \pm 0,6	1,3 \pm 0,8 ^{b,c}

^aDiferencias significativas con *preE*. ^bDiferencias significativas con *postE*. ^cDiferencias significativas con *postR*, ($p < 0.05$). PreE: previo al entrenamiento; PostE: tras el entrenamiento; PostR: tras la recuperación; Post24; 24 horas tras el momento preE. RC: recuperación simple; EE: estiramientos y elevación de piernas; CEL: carrera continua y elevación de piernas; CET: carrera continua y estiramientos.

La percepción de la recuperación no mostró diferencias significativas entre estrategias ($F_{3,67}=1.874$; $p=0.142$), pero sí entre momentos de medida ($F_{2,134}=16.501$; $p<0.05$). En la estrategia EE los valores descendieron de forma significativa después de la recuperación respecto a los momentos previos al entrenamiento ($p<0.05$) y volvieron a ascender significativamente a las 24 horas ($p<0.05$) (tabla 15). Tanto el descenso tras la recuperación como el ascenso a las 24 horas presentaron una magnitud del efecto grande para esta estrategia ($d=-0.9$; $d=0.82$, respectivamente).

Tabla 15. Media \pm D.E. de la percepción de la calidad de la recuperación (TQR) en función del momento de medida y la técnica recuperación.

	RC	EE	CEL	CET
TQR _{preE}	15,9 \pm 1,6	15,8 \pm 2,3	16,4 \pm 2,1	16,4 \pm 2,2
TQR _{postR}	14,9 \pm 1,4	12,9 \pm 3,9 ^a	15,0 \pm 2,1	15,0 \pm 1,8
TQR _{post24}	16,0 \pm 1,6	15,4 \pm 1,6 ^b	15,6 \pm 1,6	15,9 \pm 1,7

^aDiferencias significativas con preE. ^bDiferencias significativas con postR, ($p<0.05$). PreE: previo al entrenamiento; PostE: tras el entrenamiento; PostR: tras la recuperación; Post24; 24 horas tras el momento preE. RC: recuperación simple; EE: estiramientos y elevación de piernas; CEL: carrera continua y elevación de piernas; CET: carrera continua y estiramientos.

Para cada una de las variables se calculó el porcentaje de cambio entre momentos y en cada una de las estrategias. En la tabla 16 puede observarse los valores de dichos porcentajes. En este caso no hubo diferencias significativas entre estrategias en ninguna de las variables estudiadas ($p>0.05$).

Tabla 16. Porcentaje de cambio de las variables del estudio entre diferentes momentos de medición.

	Temperatura timpánica		Dolor muscular		Percepción recuperación
	preE-post24	postE-postR	postE-post24	postE-post24	
RC	-0.3 ± 1.8	2.2 ± 2.9	1.7 ± 2.5	10.7 ± 51.9	postE-post24 0.8 ± -9.0
EE	0.2 ± 1.3	3.9 ± 3.4	2.6 ± 3.2	7.9 ± 127.6	-1.2 ± 14.2
CEL	0.2 ± 1.2	2.6 ± 3.0	1.8 ± 3.2	11.7 ± 94.8	-3.6 ± 11.3
CET	-0.6 ± 1.1	2.0 ± 1.9	2.0 ± 2.5	19.3 ± 133.2	-1.8 ± 13.1

preE-post24: porcentaje de cambio desde el momento previo al entrenamiento hasta pasadas 24 horas; postE-postR: porcentaje de cambio desde el momento posterior al entrenamiento hasta el momento posterior a la recuperación; postE-post24: porcentaje de cambio desde el momento posterior al entrenamiento hasta pasadas 24 horas. RC: recuperación simple; EE: estiramientos y elevación de piernas; CEL: carrera continua y elevación de piernas; CET: carrera continua y estiramientos

5.2. Evaluación de las diferentes estrategias de recuperación combinadas en jugadores de fútbol semi-profesionales

La RPE (figura 22) no mostró diferencias significativas entre las tres sesiones de trabajo ($F_{2,21}=2.8$; $p>0.05$), así como tampoco la FCm (figura 23) ($F_{2,48}=2.8$; $p>0.05$).

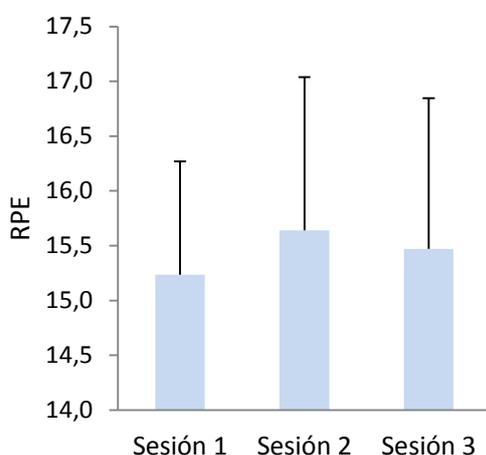


Figura 22. Percepción del esfuerzo (RPE) en las 3 sesiones de entrenamiento estudiadas (media \pm DE).

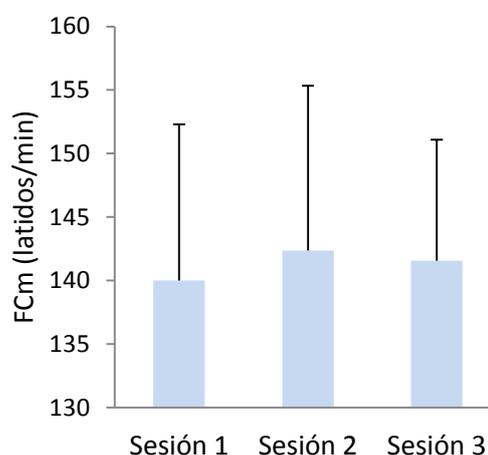


Figura 23. Frecuencia cardiaca media (FCm) en las 3 sesiones de entrenamiento estudiadas (media \pm DE).

Observando los resultados de las mediciones hormonales no se hallaron diferencias entre estrategias de recuperación para los valores de testosterona ($F_{2,30}=1.209$; $p>0.05$), cortisol ($F_{2,30}=18.269$; $p>0.05$) o el ratio testosterona/cortisol ($F_{2,30}=1.153$; $p>0.05$) (tablas 17, 18 y 19, respectivamente). Tampoco se hallaron diferencia entre momentos para ninguna de las tres hormonas medidas ($p>0.05$).

Tabla 17. Media \pm D.E. de testosterona en función del momento de medida y la estrategia recuperación.

		CET	CCR	EE
TEST _{preE}	pg/ml	217.7 \pm 145.6	117.8 \pm 85.7	167.6 \pm 91.3
TEST _{postE}	pg/ml	134.2 \pm 101.0	145.6 \pm 123.8	90.6 \pm 33.1
TEST _{post24}	pg/ml	200.7 \pm 200.7	285.9 \pm 332.7	129.1 \pm 89.6

TEST: testosterona; PreE: previo al entrenamiento; PostE: tras el entrenamiento; Post24; 24 horas tras el momento preE. CET: carrera continua y estiramientos; CCR: carrera continua y crioterapia; EE: estiramientos y elevación de piernas.

Tabla 18. Media \pm D.E. del cortisol en función del momento de medida y la estrategia recuperación

		CET	CCR	EE
COR _{preE}	ng/ml	14.9 \pm 5.5	10.5 \pm 6.4	13.4 \pm 7.1
COR _{postE}	ng/ml	10.5 \pm 7.5	8.1 \pm 7.7	8.2 \pm 5.6
COR _{post24}	ng/ml	12.7 \pm 5.2	11.1 \pm 9.2	9.0 \pm 5.1

COR: cortisol; PreE: previo al entrenamiento; PostE: tras el entrenamiento; Post24; 24 horas tras el momento preE. CET: carrera continua y estiramientos; CCR: carrera continua y crioterapia; EE: estiramientos y elevación de piernas.

Tabla 19. Media \pm D.E. del ratio testosterona/cortisol en función del momento de medida y la estrategia recuperación

		CET	CCR	EE
RATIO _{preE}	pg/ml	21.4 \pm 26.1	27.5 \pm 46.5	15.5 \pm 11.8
RATIO _{postE}	pg/ml	15.4 \pm 14.9	31.2 \pm 52.6	21.9 \pm 29.2
RATIO _{post24}	pg/ml	17.1 \pm 11.9	26.2 \pm 21.1	14.9 \pm 7.2

RATIO: ratio testosterona/cortisol; PreE: previo al entrenamiento; PostE: tras el entrenamiento; Post24; 24 horas tras el momento preE. CET: carrera continua y estiramientos; CCR: carrera continua y crioterapia; EE: estiramientos y elevación de piernas.

Con respecto a la TAT, no se observaron diferencias significativas entre estrategias ($F_{2,48}=0.421$; $p>0.05$) (tabla 20). Entre momentos de medida ($F_{2,96}=84.692$; $p<0.05$), los valores de TAT descendieron de forma significativa tras el entrenamiento en todas las ellas ($p<0.05$), mientras que tras 24 horas volvió a ascender recuperando los valores basales ($p<0.05$). Estos cambios de TAT entre los momentos mencionados tuvieron a su vez una magnitud del efecto grande tanto para el descenso tras el entrenamiento (CET, $d=-1.59$; CCR, $d=-1.94$; EE, $d=-1.62$) como para el posterior ascenso a las 24 horas (CET, $d=1.74$; CCR, $d=1.82$; EE, $d=1.61$).

Tabla 20. Media \pm D.E. de la temperatura timpánica (TAT) en función del momento de medida y la estrategia recuperación.

		CET	CCR	EE
TAT preE	(°C)	36.9 \pm 0,3	36.8 \pm 0.3	36.9 \pm 0.2
TATpostE	(°C)	36.3 \pm 0.5 ^a	36.2 \pm 0.4 ^a	36.0 \pm 0.7 ^a
TAT post24	(°C)	36.9 \pm 0.2 ^b	36.9 \pm 0.3 ^b	36.9 \pm 0.3 ^b

^aDiferencias significativas con preE. ^bDiferencias significativas con postE, ($p<0.05$); PreE: previo al entrenamiento; PostE: tras el entrenamiento; Post24; 24 horas tras el momento preE. CET: carrera continua y estiramientos; CCR: carrera continua y crioterapia; EE: estiramientos y elevación de piernas.

El dolor muscular percibido no mostró diferencias entre las 3 estrategias llevadas a cabo (tabla 21) ($F_{2,48}=987.964$; $p>0.05$). En cuanto a los momentos de medida ($F_{3,144}=29.693$; $p<0.05$), esta variable aumentó su valor de forma significativa tras la sesión de entrenamiento en todas ellas, mostrando a su vez un tamaño del efecto grande (CET, $d=1.58$; CCR, $d=1.46$; EE, $d=1.81$) en este mismo momento. Inmediatamente tras la recuperación todas las estrategias descendieron el dolor muscular significativamente ($p<0.05$), aunque solo CCR ($d=-1.48$) y EE ($d=-0.99$) mostraron también una magnitud del efecto destacable.

Tabla 21. Media \pm D.E. del dolor muscular percibido (CR10) en función del momento de medida y la estrategia recuperación

	CET	CCR	EE
Dolor muscular percibido preE	3,0 \pm 0,9	2,9 \pm 1,2	2,6 \pm 0,7
Dolor muscular percibido postE	5,1 \pm 2,3 ^a	4,6 \pm 1,2 ^a	4,4 \pm 1,2 ^a
Dolor muscular percibido postR	4,1 \pm 1,3 ^{a,b}	3,1 \pm 0,9 ^b	3,4 \pm 0,8 ^{a,b}
Dolor muscular percibido post24	3,8 \pm 0,9 ^b	3,9 \pm 0,9 ^a	3,7 \pm 1,7 ^a

^aDiferencias significativas con preE. ^bDiferencias significativas con postE. ^cDiferencia significativa con postR, ($p<0.05$). PreE: previo al entrenamiento; PostE: tras el entrenamiento; PostR: tras la recuperación; Post24; 24 horas tras el momento preE. CET: carrera continua y estiramientos; CCR: carrera continua y crioterapia; EE: estiramientos y elevación de piernas.

La percepción de recuperación presentó diferencias significativas entre estrategias ($p<0.05$), con unos valores mayores en CCR comparada con CET y EE tras la recuperación (tabla 22). Entre momentos, CET mostró un descenso significativo ($p<0.05$) y un tamaño del efecto

grande ($d=-1.42$) desde el momento antes del entrenamiento hasta pasadas 24 horas y en CCR este descenso se produjo comparando los valores tras la recuperación y pasadas 24 horas ($p<0.05$; $d=-1.4$).

Tabla 22. Media \pm D.E. de la percepción de la calidad de la recuperación (TQR) en función del momento de medida y la técnica recuperación

	CET	CCR	EE
TQRpreE	13.6 \pm 1.3	13.3 \pm 1.3	13.4 \pm 1.5
TQRpostR	12.5 \pm 1.0	14.4 \pm 1.3 [*]	12.9 \pm 1.1 [#]
TQRpost24	11.9 \pm 1.1 ^a	12.4 \pm 1.4 ^b	12.3 \pm 1.5

^{*}Diferencia significativa con CET. [#]Diferencia significativa con CCR. ^aDiferencia significativa con TQR preE. ^bDiferencia significativa con postE, ($p<0.05$). PreE: previo al entrenamiento; PostR: tras la recuperación; Post24; 24 horas tras el momento preE. CET: carrera continua y estiramientos; CCR: carrera continua y crioterapia; EE: estiramientos y elevación de piernas.

Para la flexibilidad no se hallaron diferencias entre las estrategias de recuperación ($F_{2,48} = 0.243$; $p>0.05$) ni entre los momentos de medida ($F_{1,48}=0.012$; $p>0.05$) (tabla 23).

Tabla 23. Media \pm D.E. de la flexibilidad en función del momento de medida y la técnica recuperación

		CET	CCR	EE
Flexibilidad preE	cm	14,6 \pm 5,9	16,0 \pm 5,2	14,7 \pm 6,1
Flexibilidad post24	cm	14,9 \pm 5,8	15,8 \pm 5,5	14,8 \pm 5,4

PreE: previo al entrenamiento; Post24: 24 horas tras el momento preE; CET: carrera continua y estiramientos; CCR: carrera continua y crioterapia; EE: estiramientos y elevación de piernas.

Para cada una de las variables se calculó el porcentaje de cambio entre diferentes momentos y en cada una de las estrategias. En la tabla 24 puede observarse los valores de dichos porcentajes y las diferencias significativas entre estrategias ($p<0.05$).

Tabla 24. Porcentaje de cambio de las variables del estudio entre diferentes momentos de medición.

	Temperatura timpánica		Dolor muscular		TQR		Flexibilidad	
	preE-post24	postE-postR	postE-post24	postE-postR	postE-post24	postE-postR	preE-post24	preE-postR
CET	0.04 ± 0.74	1.77 ± 1.30	-16 ± 17	-19 ± 25.8	-4.4 ± 8.9	-7 ± 12	8.5 ± 35.2	8.5 ± 35.2
CCR	0.05 ± 0.75	1.85 ± 0.95	-32 ± 14.9	-13.2 ± 20.4 ^a	-13.3 ± 10.9	10 ± -18 ^a	-0.3 ± 13.4	-0.3 ± 13.4
EE	0.02 ± 0.87	2.39 ± 1.93	-20 ± 17.2	-15.3 ± 27.4	-3.6 ± 10.4	-2 ± 17	6.2 ± 30.4	6.2 ± 30.4

^adiferencia significativa con CET ($p < 0.05$); preE-post24: porcentaje de cambio desde el momento previo al entrenamiento hasta pasadas 24 horas; postE-postR: porcentaje de cambio desde el momento posterior al entrenamiento hasta el momento posterior a la recuperación; postE-post24: porcentaje de cambio desde el momento posterior al entrenamiento hasta pasadas 24 horas RC: recuperación control simple; EE: estiramientos y elevación de piernas; CEL: carrera continua y elevación de piernas; CET: carrera continua y estiramientos.

5.3. Comparación de la eficacia de dos estrategias de recuperación combinadas entre jugadores de fútbol de profesionales y semi-profesionales

El dolor muscular percibido fue mayor en el grupo semi-profesional en la estrategia CET en cualquier momento ($F_{1,33}=37.426$; $p<0.05$) (figura 24). En la estrategia EE, el grupo semi-profesional tuvo mayor puntuación en los cuatro momentos, siendo esas diferencias significativas antes del entrenamiento y a las 24 horas ($F_{1,33}=37.426$; $p<0.05$) (figura 25).

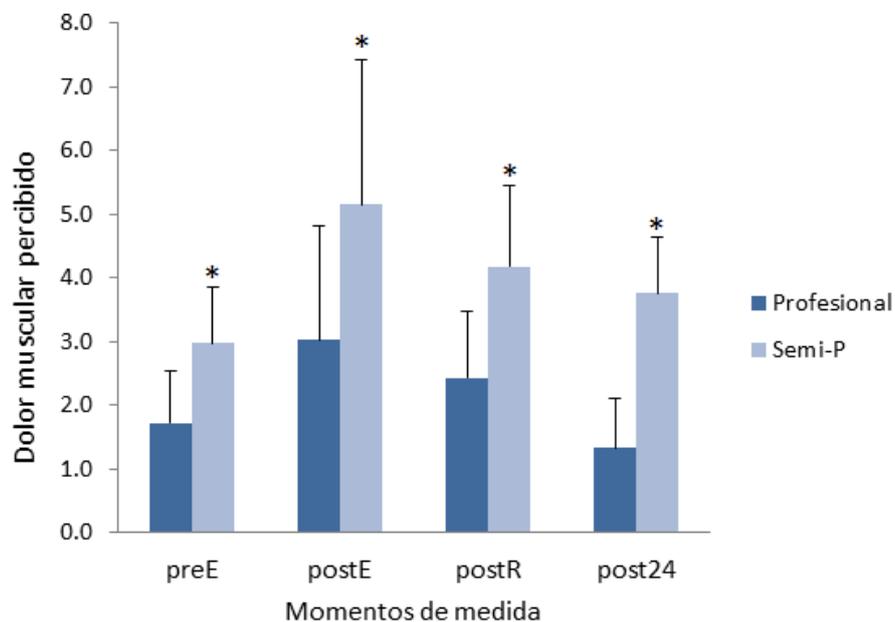


Figura 24. Dolor muscular percibido en la estrategia CET para jugadores profesionales y semi-profesionales (Media \pm D.E.). *Diferencia significativa con el grupo profesional en el mismo momento de medida ($p<0.05$). PreE: antes del entrenamiento; postE: inmediatamente después del entrenamiento; postR: inmediatamente después de la recuperación; post24: 24 horas después de la toma preE; Semi-P: jugadores semi-profesionales.

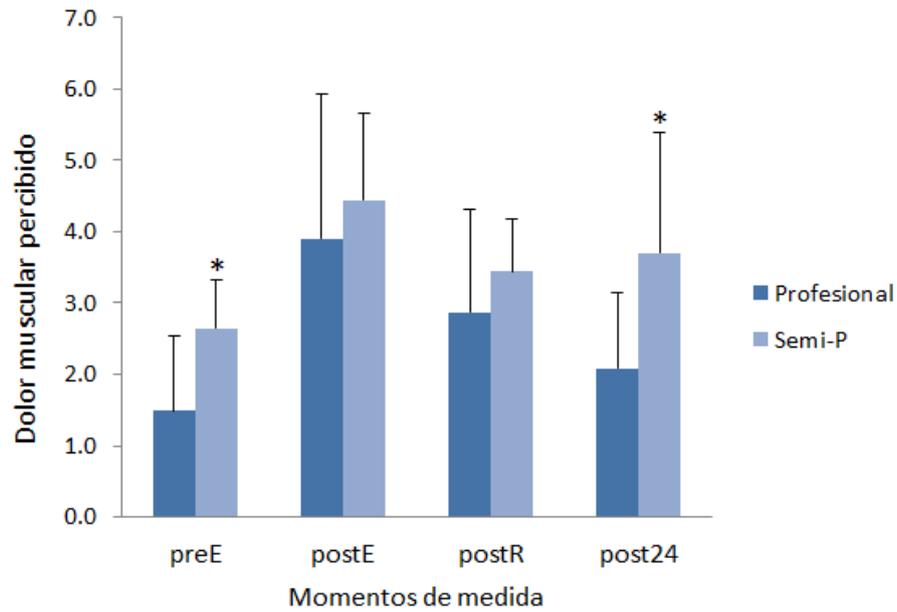


Figura 25. Dolor muscular percibido en la estrategia EE para jugadores profesionales y semi-profesionales (Media \pm D.E.). *Diferencia significativa con el grupo profesional en el mismo momento de medida ($p < 0.05$). PreE: antes del entrenamiento; postE: inmediatamente después del entrenamiento; postR: inmediatamente después de la recuperación; post24: 24 horas después de la toma preE. Semi-P: jugadores semi-profesionales.

La TAT fue mayor en el grupo semi-profesional en la estrategia CET para cualquier momento ($F_{1,33}=37.426$; $p<0.05$) (figura 26). En la estrategia EE existieron diferencias significativas antes del entrenamiento y a las 24 horas ($p>0.05$) (figura 27).

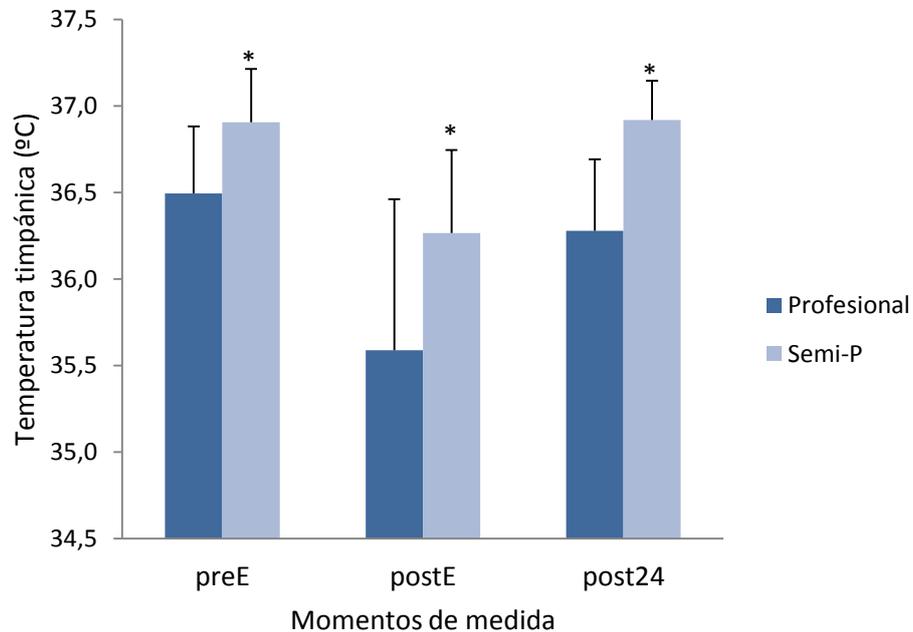


Figura 26. Temperatura timpánica (°C) para la estrategia CET en jugadores profesionales y semi-profesionales (Media \pm D.E.). *Diferencia significativa con el grupo profesional en el mismo momento de medida ($p<0.05$). PreE: antes del entrenamiento; postE: inmediatamente después del entrenamiento; post24: 24 horas después de la toma preE. Semi-P: jugadores semi-profesionales.

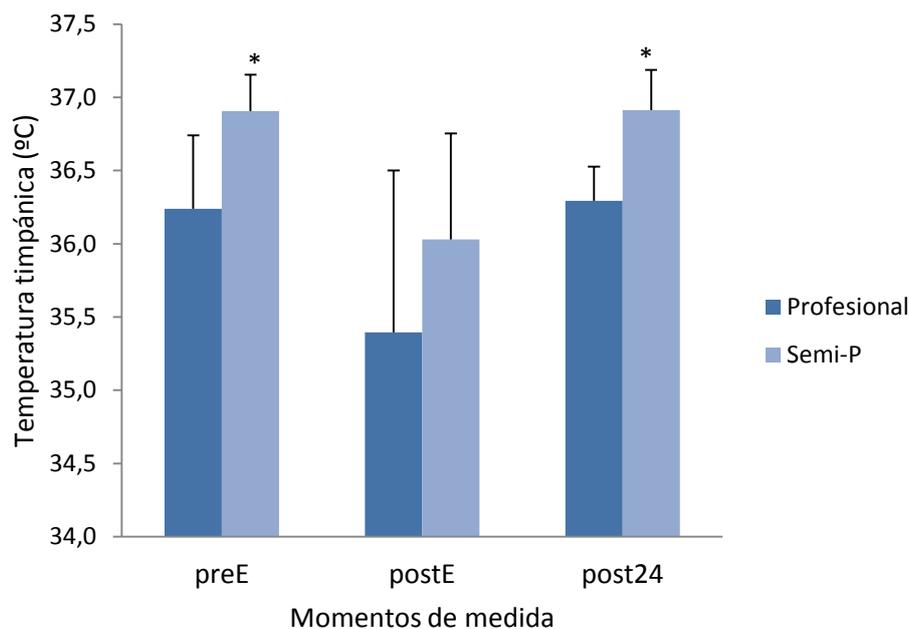


Figura 27. Temperatura timpánica (°C) en la estrategia EE en jugadores profesionales y semi-profesionales (Media \pm D.E.). *Diferencia significativa con el grupo profesional en el mismo momento de medida ($p < 0.05$). PreE: antes del entrenamiento; postE: inmediatamente después del entrenamiento; post24: 24 horas después de la toma preE. Semi-P: jugadores semi-profesionales.

La percepción de la recuperación fue mayor en el grupo semi-profesional en la estrategia CET en cualquier momento ($F_{1,32}=69.499$; $p = 0.05$) (figura 28). La estrategia EE mostró diferencias significativas en los tres momentos de medición ($p < 0.05$) (figura 29).

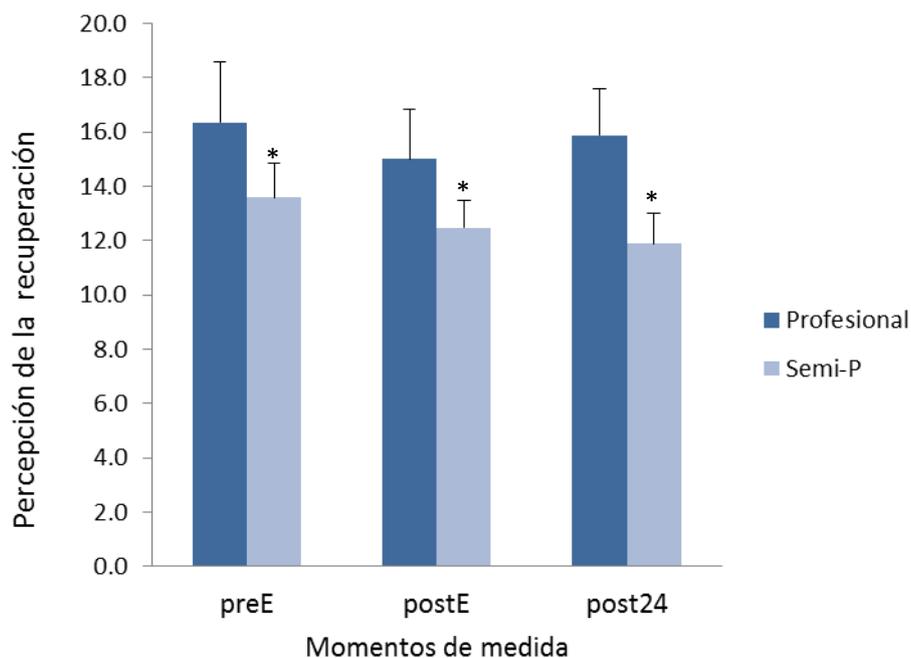


Figura 28. Percepción de la recuperación (TQR) en la estrategia CET en jugadores profesionales y semi-profesionales (Media \pm D.E). *Diferencia significativa con el grupo profesional en el mismo momento de medida ($p < 0.05$). PreE: antes del entrenamiento; postE: inmediatamente después del entrenamiento; post24: 24 horas después de la toma preE. Semi-P: jugadores semi-profesionales.

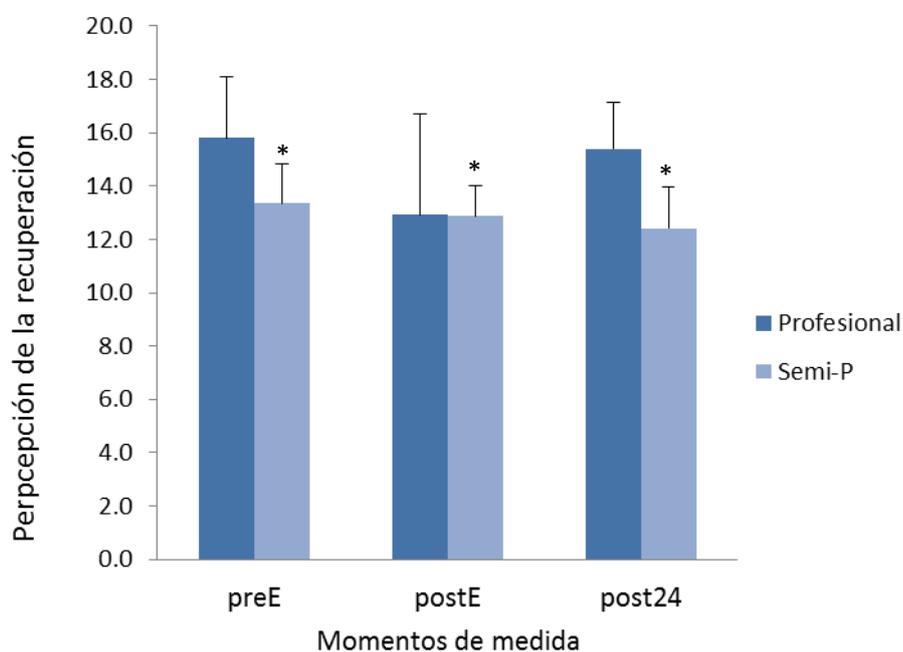


Figura 29. Percepción de la recuperación (TQR) en la estrategia EE en jugadores profesionales y semi-profesionales (Media \pm D.E). *Diferencia significativa con el grupo profesional en el mismo momento de medida ($p < 0.05$). PreE: antes del entrenamiento; postE: inmediatamente después del entrenamiento; post24: 24 horas después de la toma preE. Semi-P: jugadores semi-profesionales.

VI. DISCUSIÓN

5.1. Comparación de las estrategias de recuperación, combinadas y simples, en jugadores de fútbol profesionales

El principal hallazgo es que todas las estrategias de recuperación utilizadas han sido igualmente eficaces a la hora de recuperar a los jugadores tras una sesión de entrenamiento específica de fútbol en periodo competitivo, no existiendo diferencia en el efecto que provocan las estrategias combinadas y la estrategia simple. En todo caso, estas diferencias son puntuales según las variables y momentos estudiados y no puede hablarse de unas estrategias concretas que muestren mayor eficacia que otras a nivel general.

Este hecho coincide con el estudio de Kinugasa y Kilding (3), los cuales observaron que la recuperación combinada tras un partido de fútbol produjo efectos similares a las simples, aunque en este caso observaron una tendencia positiva de la estrategia combinada en la percepción de la recuperación. En sentido contrario se encuentra otro estudio (361) que concluye que la combinación de técnicas fue más eficiente para mantener el rendimiento en el cicloergómetro. Una posible causa de la diferencia de resultados con esta investigación podría estar en las variables medidas, pues el comportamiento del lactato y glucógeno muscular fue el que marcó la eficacia de la recuperación combinada en el estudio de Monedero y Donne (361), variables no medidas en el presente trabajo. Hay que tener en cuenta que el presente estudio no fue diseñado para establecer altas cargas de entrenamiento, sino que las valoraciones se realizaron antes y después de un entrenamiento real en periodo de competición. Cabría pensar que unas cargas elevadas orientadas a promover la fatiga pudieran llevar a mayores diferencias entre estrategias, aunque hay que tener en cuenta que el estudio de Kinugasa y Kilding se realizaron partidos de fútbol y tampoco hallaron diferencias entre estrategias combinadas y simples.

Estudiando el comportamiento de las diferentes variables, puede observarse como tras el entrenamiento la TAT descendió, mientras que inmediatamente tras la recuperación volvió a ascender recuperando los valores basales en todas las estrategias. Es por ello que no parece haber diferencias en la eficacia de las diferentes estrategias de recuperación para recuperar los niveles de la temperatura central.

En cuanto a la cinética de la temperatura central, medida a través de la TAT, el descenso tras el entrenamiento contradice el hecho mostrado por la literatura de que la temperatura

central tiende a subir tras el ejercicio (156, 157) ya sea en actividades submáximas (158) o en protocolos máximos (159). Las razones del comportamiento de la TAT en el presente trabajo no quedan claras, y podrían buscarse respuestas en el hecho de que la medición de la temperatura central no siempre tiene el mismo comportamiento y puede influir lugar de medición (160), o del tipo de dispositivo utilizado. Aunque está aceptado que la temperatura central aumenta con el ejercicio, el estudio de Kistemaker y col (160) refleja diferentes comportamientos en función del lugar de toma de temperatura. Estos autores observaron que durante el test de Astrand en cicloergómetro, la temperatura rectal y esofágica se elevó lentamente hasta el final del mismo, mientras que las mediciones axilar y sublingual no mostraron ningún aumento durante la prueba. La medición de la temperatura mediante un termómetro timpánico infrarrojo y un termómetro táctil timpánico mostraron respuestas dispares con el ejercicio, ya que en unos sujetos aumentó y en otros descendió.

Por otro lado, en el presente estudio la medición de esta variable se ha llevado a cabo a través de un termómetro timpánico infrarrojo, tal y como se ha utilizado previamente en otras investigaciones que han mostrado comportamientos diferentes de la TAT (3, 159, 359). En cuanto a su fiabilidad, existen investigaciones que expresan que hay cierto margen de error en la medición timpánica respecto a otras técnicas más fiables, como podrían ser la medición rectal o esofágica (362), mientras que otros estudios sí avalan la TAT como reflejo de la temperatura central (3, 159, 358, 359). De hecho, la membrana timpánica recibe el aporte sanguíneo de la arteria carótida, al igual que el hipotálamo, región cerebral que regula la temperatura, por lo que la medición de la temperatura central a través del tímpano puede ser una medida válida (156). Además, entre los métodos no invasivos es el más apropiado para realizar mediciones en el campo, por su uso rápido y por su mejor aceptación por parte los sujetos (156, 359, 362).

Como se explicó en el marco teórico, la escala CR10 ha sido utilizada para medir dolor muscular (3, 218, 229) tanto en extremidades superiores (230), zona lumbar (231) como en extremidades inferiores (232). No obstante, no se han encontrado estudios que hayan utilizado dicha escala específica para medir la recuperación del dolor muscular tras la realización de entrenamientos de fútbol y de estrategias de recuperación.

Tras la realización de la estrategia EE (estiramientos + elevación de piernas) los jugadores describieron un descenso en el dolor muscular que no se dio en el resto de estrategias, mientras que previamente todos los grupos señalaron un aumento del mismo tras la finalización del entrenamiento. Como Magnusson (295) señala, el estiramiento estático puede provocar una disminución en la rigidez muscular durante unos minutos, y es posible que este hecho mejorara la percepción del dolor muscular en los participantes. Pero además de los estiramientos estáticos, EE incluye el reposo en tendido supino con elevación de piernas, lo que podría ayudar a favorecer el retorno venoso (326, 327) y mejorar la sensación de dolor en miembros inferiores. Aunque RC se basó en estiramientos, esta no incluía elevación de piernas y el tiempo total de recuperación fue la mitad, lo que podría ser causa de que esta estrategia no mostrara ningún efecto sobre el dolor muscular.

Sin embargo, es difícil esclarecer el por qué de la diferencia de EE (estiramientos + elevación de piernas) con CEL (carrera continua + elevación de piernas) y CET (carrera continua + estiramientos). Debido a que la carrera continua es la técnica común entre CEL y CET podría pensarse que ésta es la causa de que el dolor muscular no disminuya tras la recuperación, aunque no queda claro cómo esta afectaría negativamente, ya que hay autores que explican que la carrera continua puede tener efectos positivos sobre esta variable subjetiva (5, 363).

En cuanto a la percepción de la recuperación, medida a través de la escala TQR, la estrategia EE fue la única que mostró una recuperación pobre tras llevar a cabo las estrategias. Este resultado concuerda con el trabajo de Kinugasa y Kilding (3), donde una estrategia similar a EE en la que realizaron 7 minutos de estiramientos estáticos y 2 minutos de elevación de piernas fue la que peor puntuación obtuvo en la percepción de la recuperación, en comparación con una estrategia de baños de contrastes y otra que combinaba contrastes con recuperación activa en cicloergómetro. En este caso la aplicación de agua fría en las otras estrategias puede ser el parámetro diferenciador.

A las 24 horas todas las estrategias mostraron el mismo efecto de recuperación. Así ocurre en el estudio de Rey (7), que no halla diferencias entre la utilización de una estrategia de recuperación activa o pasiva en la variable TQR a las 24 horas. El autor explica que el hecho de que no haya diferencias entre estrategias podría indicar que la variable no es lo

suficientemente sensible a la hora de medir el proceso de recuperación (7), lo que podría ocurrir en el presente estudio.

No obstante, siguiendo la tendencia general de las variables estudiadas, sería más lógico pensar que todas las estrategias promueven similares efectos de recuperación o que el entrenamiento no provocó los cambios suficientes en el organismo como para que hubieran diferencias entre las estrategias aplicadas.

5.2. Evaluación de las diferentes estrategias de recuperación combinadas en jugadores de fútbol Semi-profesional.

El principal hallazgo es que la estrategia que incluía carrera continua y crioterapia (CCR) es la que mostró mejores efectos inmediatamente tras el entrenamiento. Este hecho se refleja en la percepción de la recuperación y en menor medida en el dolor muscular. A las 24 horas todas las estrategias mostraron efectos similares. En general, esto podría ser debido principalmente a la crioterapia realizada mediante inmersión en agua fría, más que a la realización de la carrera continua, pues el efecto de alivio de dolor muscular y mejor sensación de recuperación tras la aplicación de frío ha sido reflejado en otros estudios con anterioridad (26, 30, 87, 244, 364, 365). Esto es debido probablemente al probable efecto analgésico (87; 31) causado por una posible reducción en la conducción del impulso nervioso, la actividad del huso muscular y/o el reflejo de estiramiento y espasticidad, lo cual podría inhibir el ciclo de dolor/espasmo muscular (26, 30, 141). Por otro lado, hay que recordar que los resultados son inmediatos y se dan a corto plazo, es decir, se muestran un efecto positivo justo después de la recuperación pero no tras 24 horas, lo cual puede tener sentido siguiendo las explicaciones de Wilcock y col (259) al mencionar que los efectos analgésicos relacionados con mecanismos neurológicos están limitados a las tres primeras horas.

El hecho de que CCR (carrera continua + crioterapia) fue la que reflejó mayor tendencia al descenso en el dolor muscular inmediatamente tras la recuperación coincide con el trabajo de Pointon y col (366), que estudiaron el efecto de la inmersión en agua fría (20 minutos) tras la realización de sprint de alta intensidad en condiciones de calor. Además, otros estudios muestran al igual que la presente investigación que no hay mejoras en la percepción del dolor muscular a las 24 horas tras la aplicación del frío (367, 368). Tanto Sellwood (367) como Glasgow (368) llevaron a cabo inmersión en agua fría tras ejercicio excéntrico de alta intensidad, y esto no ayudó a que transcurridas 24 o más horas hubiera una disminución del dolor muscular producido tras el entrenamiento. En todo caso, Glasgow (368) explica que una inmersión de duración mínima de 10 minutos y temperatura en torno a 6 grados tendría una mayor eficacia, criterios que no fueron alcanzados en nuestro estudio.

En la valoración de la calidad de la recuperación (TQR), los datos obtenidos inmediatamente tras la recuperación indican que la estrategia CCR fue la única que incrementó la sensación de bienestar respecto a los valores basales de forma importante. Estos resultados están apoyados por la literatura, encontrándose varios estudios donde la inmersión en agua fría aumenta la sensación de recuperación (369) y reduce la percepción de fatiga tras el ejercicio en deportes de equipo (262, 370). La reducción del dolor debido al efecto analgésico agudo puede contribuir a una reducción en la percepción general de la fatiga (369), lo que podría explicar la mejora en la percepción de la recuperación. De esta forma se relacionan los resultados positivos obtenidos en las dos variables subjetivas inmediatamente tras la aplicación de la estrategia que incluye inmersión de agua fría en el presente trabajo.

En la medición post24, el dolor muscular descendió solo tras la aplicación de la estrategia CET (carrera continua + estiramiento). En el resto de estrategias el dolor muscular aumenta en este momento respecto a los basales y a los registrados inmediatamente tras la recuperación. La razón por la cual la combinación de carrera continua y estiramientos (CET) fue la única que mejoró la percepción de dolor muscular tras 24 horas es difícil de esclarecer. Aunque a medio-largo plazo la recuperación activa puede ser beneficiosa para el proceso de regeneración del organismo, siendo una de las causas el aumento del flujo sanguíneo (273), relacionar esto directamente con la mejora del dolor muscular a las 24 horas carecería de base sólida. Además, si bien es cierto que los estiramientos pueden tener un efecto de relajación o disminución de la rigidez muscular, esto solo duraría unos minutos (295), por lo que no ayuda a explicar las razones de estos resultados a las 24 horas.

De las tres estrategias estudiadas, el efecto que estas produjeron en las variables fisiológicas fue similar. Los datos hormonales no variaron en ninguno de los momentos. Cabe señalar que los valores de testosterona aumentaron levemente con la estrategia CCR (carrera continua + inmersión agua fría) a las 24 horas. Aunque el aumento de dicha hormona podría indicar un estado de recuperación óptimo del organismo (109), no hay consistencia en los datos para asegurar que CCR contribuyó a la mejor recuperación de los valores hormonales de los jugadores tras 24 horas de recuperación. En cuanto a los niveles hormonales inmediatamente tras el entrenamiento, en ningún grupo se produjo un efecto reseñable, y no se hallaron diferencias con los valores basales. En la literatura pueden encontrarse investigaciones que muestran aumentos de testosterona tras la realización de ejercicio físico

(112), mientras que existen otros estudios que no han mostrado ningún aumento tras un partido de fútbol (132). Un descenso de la testosterona puede indicar una posible fatiga o estado catabólico producida por el entrenamiento en los sujetos (371), hecho que no se dio en este trabajo probablemente debido a que la carga de trabajo generada en el entrenamiento específico de fútbol durante el periodo competitivo no fue lo suficientemente elevada como para provocar altos niveles de fatiga que afecten a los niveles hormonales. Por otro lado, tampoco se hallaron modificaciones en los niveles de cortisol, que como ocurre en otros estudios se ve elevado tras el entrenamiento reflejando un estado catabólico del organismo (94), lo que podría estar igualmente justificado por el tipo de carga de trabajo del entrenamiento.

En este estudio no se midió la carga psicológica de los jugadores provocada por el entrenamiento, pero hay que tener qué en cuenta que esta variable podría tener influencia en los niveles hormonales (48, 105, 117). Silva y col (Silva et al, 2013) explican que un partido oficial de alto nivel induce niveles catabólicos durante las primeras 48 horas tras la competición, reflejado en un aumento del cortisol, y explican que esto es resultado de las altas demandas físicas y psicológicas de la competición. Por tanto, el hecho de que en el presente estudio no se encuentren diferencias en los niveles hormonales puede radicar no solo en que las cargas de entrenamiento no han sido elevadas, sino que el contexto de entrenamiento no ha generado estrés. Además, cabe mencionar que los entrenamientos llevados a cabo en esta investigación tenían como objetivo la preparación de la competición, no el impacto físico.

Por ejemplo, el trabajo de Elloumi y col (106) midió niveles hormonales en saliva en el periodo de recuperación tras un partido de rugby a jugadores de élite, y observaron que los niveles de cortisol fueron significativamente más altos tras el partido, aspecto que no se dio en ejercicios de carácter máximo estandarizados en laboratorio, hecho que podría ser explicado, según el autor, porque estos test de laboratorios no pueden reproducir no solo las demandas físicas del partido, sino tampoco las demandas psicológicas.

Los resultados de esta investigación tampoco reflejaron diferencias en el ratio T/C. Este parámetro ha sido sugerido como indicador del estrés de entrenamiento y como óptimo para la temprana detección de un desequilibrio entre metabolismo anabólico y catabólico

(372). Para Thorpe (112) un ratio disminuido podrá implicar cansancio, apatía o descenso en el rendimiento. Hanziski y col (373) explican que en caso de desarrollo de síndrome de sobreentrenamiento, es común encontrar en los atletas un bajo nivel de testosterona y una reducción del T/C de un 30%.

La temperatura central refleja el mismo comportamiento ocurrido en la fase experimental anterior, es decir, tiende a disminuir tras el entrenamiento y a aumentar tras las estrategias de recuperación hasta llegar a los valores basales, no existiendo diferencia entre ellas para esta variable, contrastando con otros estudios en los que la TAT incrementa tras el ejercicio (157-159).

El hecho de que durante las dos fases experimentales que se han llevado a cabo en el presente estudio se hayan obtenido resultados similares, es decir, descenso de TAT tras el entrenamiento y posterior aumento tras la recuperación, muestra que hay consistencia en la toma de datos y que no hubo error en la medición, pero sigue sin quedar claro el por qué del comportamiento de la TAT.

La flexibilidad no modificó sus los valores previos al entrenamiento en comparación con aquellas obtenidos a las 24 horas para ninguna de las estrategias llevadas a cabo. Aunque hay investigaciones que miden cualidades condicionales para cuantificar la eficacia de diferentes estrategias de recuperación (19, 266, 284, 320), no existe una gran variedad de estudios en los que se utilice la flexibilidad. En uno de ellos (262), realizado en jugadores de baloncesto, se halló un empeoramiento en los valores del test *seat and reach* en la mañana siguiente tras el último partido. Por otro lado, Dawson y col (374) también utilizaron el test *seat and reach* para medir la recuperación 15 y 48 horas después de la realización de un partido de fútbol australiano, hallando disminución en la flexibilidad en la recuperación control, y una tendencia a la reducción tras realizar marcha en piscina, baños de contraste y estiramiento. Hay que tener en cuenta que en prácticas deportivas donde se producen numerosas acciones excéntricas de alta intensidad se producen microtraumas en el músculo llevando a rigidez muscular y a una reducción del rango de movimiento, que puede durar varios días (26). Esto puede justificar el descenso en la puntuación del *seat and reach* en los estudios mencionados, y a su vez puede dar a entender que la carga de trabajo en el

entrenamiento llevado a cabo en el presente trabajo no produjo daño suficiente como para reducir los valores del test de flexibilidad, al menos transcurridas 24 horas.

5.3. Comparación de la eficacia de dos estrategias de recuperación combinadas entre jugadores de fútbol de profesionales y semi-profesionales.

Tanto con el grupo profesional como con el semi-profesional se llevaron a cabo dos estrategias de recuperación comunes durante un entrenamiento específico de fútbol y en periodo competitivo: EE (estiramiento y elevación de piernas) y CET (carrera continua y estiramiento). El principal hallazgo del presente trabajo es que no hubo diferencias en la aplicación de las estrategias EE y CET cuando se emplean con grupos de diferente nivel, si bien, los jugadores semi-profesionales mostraron niveles más bajos en la percepción de la recuperación y un mayor nivel de dolor muscular en comparación con los profesionales.

Son varias las investigaciones que se han realizado en diferentes disciplinas deportivas para comparar variables de rendimiento (375, 376), índice lesional (377, 378) o propensión a las lesiones (379) comparando atletas profesionales, semi-profesionales y/o amateur. No obstante, no se han hallado estudios que comparen el uso de la misma estrategia de recuperación entre jugadores de diferente nivel.

En principio, los deportistas de élite presentan mejores puntuaciones en diferentes test de rendimiento físico, por ejemplo en variables de rendimiento relacionadas con componentes anaeróbicos como velocidad, agilidad o potencia máxima (376). Hay estudios que muestran como los jugadores de fútbol de élite presentan mejores valores que futbolistas no profesionales en test de sprint repetidos (380), en la fuerza de flexores de rodilla y también en sprint de corta distancia (381).

En el presente trabajo no se han hallado diferencias entre grupos de nivel a la hora de recuperar tras una sesión de entrenamiento específico de fútbol en periodo competitivo, utilizando las mismas estrategias de recuperación. Las estrategias utilizadas han promovido la recuperación de la TAT, el dolor muscular percibido y la percepción de la calidad de la recuperación de igual forma.

Si bien no ha existido diferencia en la eficacia de las estrategias entre grupos, si ha existido cierta diferencia en los valores de dolor muscular y percepción de la recuperación entre grupos. El dolor muscular percibido siempre ha sido mayor en los cuatro momentos en el grupo semi-profesional. Estas diferencias pueden deberse al nivel de entrenamiento de cada

grupo y al periodo de la temporada. La medición en el grupo profesional se realizó en enero-febrero, mientras que el grupo semi-profesional comenzó la toma de datos justo tras finalizar la pretemporada (septiembre-octubre), donde hay una acumulación mayor de cargas y éstas suelen ser más elevadas. Tal es así que en este periodo el jugador puede ver comprometida su capacidad de producción de fuerza y potencia en los miembros inferiores (5), y de hecho es un momento donde un equipo aún no habrá alcanzado el mayor nivel de rendimiento aeróbico que aún incrementará desde el inicio a mitad de temporada (382).

Así, sería lógico pensar que dicha diferencia en el dolor muscular percibido pueda tener su razón de ser en el momento específico de la temporada y en el nivel de entrenamiento. Esto podría ayudar a entender por qué la percepción de la calidad de la recuperación también presenta mejores valores para el grupo profesional.

VII. CONCLUSIONES

CONCLUSION 1

La aplicación de diferentes estrategias de recuperación, combinadas y simple, mostró ser igualmente eficaz en un equipo de fútbol profesional.

CONCLUSION 2

La utilización de estrategias de recuperación combinadas muestra ser más eficaz cuando incluye inmersión en agua fría, mejorando las sensaciones subjetivas de recuperación inmediatamente tras el entrenamiento. Tras 24 horas de recuperación no existen diferencias en la utilización de las estrategias empleadas en el estudio.

CONCLUSION 3

La aplicación de las mismas estrategias de recuperación combinadas a dos equipos de fútbol, uno profesional y otro semi-profesional, no produjo diferencias en los efectos de recuperación de ambos grupos. Por lo tanto, el nivel competitivo de los jugadores no supone un elemento diferenciador a la hora de aplicar las estrategias de recuperación.

VIII. LIMITACIONES, FORTALEZAS, FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y APLICACIONES PRÁCTICAS

8.1. LIMITACIONES

El trabajo llevado a cabo en nuestro estudio ha tenido una serie de limitaciones que deben ser tenidas en cuenta y que pueden enumerarse en:

- El contenido y las cargas del entrenamiento fue diseñado por el cuerpo técnico del equipo, por lo que no se pudimos realizar un entrenamiento que llevara a los jugadores a un alto estado de fatiga, pudiendo quizás apreciarse mayor diferencia entre estrategias.
- No pudieron realizarse test para conocer variables físicas antes y después de los entrenamientos debido a la imposibilidad de intervenir en el entrenamiento en un mayor grado, ya que la principal condición de los cuerpos técnicos a la hora de realizar los estudios era no romper la rutina del equipo, ni hacer a los jugadores estar más tiempo en las instalaciones tras los entrenamientos.
- Los resultados de parámetros hormonales no están solo sujetos a los efectos físicos y fisiológicos del entrenamiento y la recuperación, sino también al estado mental de los atletas, aspecto que no fue medido en este estudio.

8.2. FORTALEZAS

A su vez, el estudio cuenta con diferentes fortalezas que pasamos a enumerar:

- El presente estudio ha sido llevado a cabo en el periodo de competición durante entrenamientos específicos de fútbol, lo que proporciona una elevada validez externa al trabajo. Se ha evaluado lo que ocurre en un contexto real 100%.
- Los dos grupos medidos en el trabajo, aunque de diferente nivel en la actualidad, están formados por grupos de jugadores de la misma zona geográfica en su mayoría, y con un historial deportivo muy similar, habiendo desarrollado su carrera deportiva desde niños en el mismo contexto competitivo.
- Las estrategias de recuperación empleadas se llevaron a cabo mediante las técnicas de recuperación más recurridas por los equipos profesionales, semi-profesionales, amateurs y de fútbol base, de forma que su utilización es fácil de reproducir por cualquier persona interesada en aplicarlas, debido a la facilidad de aplicación y bajo coste.

8.3. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Como futuras líneas de investigación se proponen:

- Realizar el mismo diseño de investigación tras partidos de competición.
- Realizar las estrategias de recuperación durante el periodo de pretemporada donde las cargas son más elevadas y además en días donde hay doble sesión de entrenamiento.
- Llegar a un acuerdo con los clubes para poder llevar a cabo test físicos a fin de evaluar la incidencia de las estrategias en parámetros condicionales.

8.4. APLICACIONES PRÁCTICAS

Tras los resultados obtenidos en el estudio tanto en el club profesional como en el semi-profesional podemos resaltar las siguientes aplicaciones prácticas:

La planificación, implementación y combinación de las técnicas de recuperación utilizadas en el presente estudio con el equipo profesional, va a depender más de la gestión del grupo por parte del cuerpo técnico, que de sus efectos sobre el organismo. El estado de ánimo, los resultados obtenidos y en general la dinámica diaria del grupo, son variables siempre a tener en cuenta por el cuerpo técnico, pero que en este caso adquieren un papel más relevante teniendo en cuenta la ausencia de diferencias entre las estrategias.

Por otro lado, los protocolos que incluyan inmersión en agua fría ayudarán a mejorar las sensaciones subjetivas de los jugadores, con lo que en función del momento de la semana y del objetivo de entrenamiento/recuperación, será más o menos recomendable su uso. Habrá que tener en cuenta los posibles efectos negativos mostrados por la literatura de su aplicación continuada a largo plazo

IX. REFERENCIAS

1. Hausswirth C, Mujika I. Recovery for Performance in Sport. (INSEP). TNloSfEaP, editor2013.
2. Reilly T, Ekblom B. The use of recovery methods post-exercise. *J Sports Sci.* 2005 Jun;23(6):619-27.
3. Kinugasa T, Kilding AE. A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. *J Strength Cond Res.* 2009 Aug;23(5):1402-7.
4. Barnett A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Med.* 2006;36(9):781-96.
5. Tessitore A, Meeusen R, Cortis C, Capranica L. Effects of different recovery interventions on anaerobic performances following preseason soccer training. *J Strength Cond Res.* 2007 Aug;21(3):745-50.
6. Cochrane D. Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review. *Physical Therapy in Sports.* 2004;5:26-32.
7. Rey E. Efectos de la recuperación activa y la recuperación pasiva sobre la fatiga neuromuscular aguda post-entrenamiento en futbolistas profesionales. Vigo: Universidad de Vigo; 2011.
8. Dellal A, Lago-Penas C, Rey E, Chamari K, Orhant E. The effects of a congested fixture period on physical performance, technical activity and injury rate during matches in a professional soccer team. *Br J Sports Med.* 2013 Feb 25.
9. Carling C, Le Gall F, Dupont G. Are physical performance and injury risk in a professional soccer team in match-play affected over a prolonged period of fixture congestion? *Int J Sports Med.* 2012 Jan;33(1):36-42.
10. Lago-Penas C, Rey E, Lago-Ballesteros J, Casais L, Dominguez E. The influence of a congested calendar on physical performance in elite soccer. *J Strength Cond Res.* 2011 Aug;25(8):2111-7.
11. Ekstrand J, Walden M, Hagglund M. A congested football calendar and the wellbeing of players: correlation between match exposure of European footballers before the World Cup 2002 and their injuries and performances during that World Cup. *Br J Sports Med.* 2004 Aug;38(4):493-7.
12. Odetoyinbo K, Wooster B, Lane A, editors. The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. *Science and Football VI*; 2009; Routledge, London.
13. Kellmann M. Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scand J Med Sci Sports.* 2010 Oct;20 Suppl 2:95-102.
14. Odetoyinbo K, Wooster B, Lane AT. The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. *J Sports Sci Med* 2007;10:s16-s7.
15. Smith DJ. A framework for understanding the training process leading to elite performance. *Sports Med.* 2003;33(15):1103-26.
16. Gill ND, Beaven CM, Cook C. Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *Br J Sports Med.* 2006 Mar;40(3):260-3.
17. Suzuki M, Umeda T, Nakaji S, Shimoyama T, Mashiko T, Sugawara K. Effect of incorporating low intensity exercise into the recovery period after a rugby match. *Br J Sports Med.* 2004 Aug;38(4):436-40.
18. Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness : treatment strategies and performance factors. *Sports Med.* 2003;33(2):145-64.
19. Rey E, Lago-Peñas C, Casáis L, Lago-Ballesteros J. The Effect of Immediate Post-Training Active and Passive Recovery Interventions on Anaerobic Performance and Lower Limb Flexibility in Professional Soccer Players. *Journal of Human Kinetics.* 2012;31:121-9.
20. McHugh MP, Cosgrave CH. To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2010 Apr;20(2):169-81.
21. Vanderthommen M, Makrof S, Demoulin C. Comparison of active and electrostimulated recovery strategies after fatiguing exercise. *J Sports Sci Med.* 2010;9(2):164-9.

22. Vanderthommen M, Soltani K, Maquet D, Crielaard JM, Croisier JL. Does neuromuscular electrical stimulation influence muscle recovery after maximal isokinetic exercise? *Isokinetics and Exercise Science* 2007;15:143-9.
23. Lattier G, Millet GY, Martin A, Martin V. Fatigue and recovery after high-intensity exercise. Part II: Recovery interventions. *Int J Sports Med*. 2004 Oct;25(7):509-15.
24. Van Wyk D, Lambert M. Recovery strategies implemented by sport support staff of elite rugby players in South Africa 2008.
25. Dykstra JH, Hill HM, Miller MG, Cheatham CC, Michael TJ, Baker RJ. Comparisons of cubed ice, crushed ice, and wetted ice on intramuscular and surface temperature changes. *J Athl Train*. 2009 Mar-Apr;44(2):136-41.
26. Eston R, Peters D. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. *J Sports Sci*. 1999 Mar;17(3):231-8.
27. Sayers M, Calder A, Sanders G. Effect of whole body contrast therapy on recovery from intense exercise of short duration. *European Journal of Sport Science*. 2011;11(4):293-302.
28. Hamlin MJ. The effect os contrast temperature contrast therapy on reapedted sprint performance. *Journal of Science of Medicine*. 2007;10:398-402.
29. Vaile J, Halson S, Gill N, Dawson B. Effect of hydrotherapy on recovery from fatigue. *Int J Sports Med*. 2008 Jul;29(7):539-44.
30. De Nardi M, La Torre A, Barassi A, Ricci C, Banfi G. Effects of cold-water immersion and contrast-water therapy after training in young soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2011 Dec;51(4):609-15.
31. Ascensao A, Leite M, Rebelo AN, Magalhaes S, Magalhaes J. Effects of cold water immersion on the recovery of physical performance and muscle damage following a one-off soccer match. *J Sports Sci*. 2011 Feb;29(3):217-25.
32. Spaccarotella KJ, Andzel WD. The effects of low fat chocolate milk on postexercise recovery in collegiate athletes. *J Strength Cond Res*. 2011 Dec;25(12):3456-60.
33. Spaccarotella KJ, Andzel WD. Building a beverage for recovery from endurance activity: a review. *J Strength Cond Res*. 2011 Nov;25(11):3198-204.
34. Williams M, Raven PB, Fogt DL, Ivy JL. Effects of recovery beverages on glycogen restoration and endurance exercise performance. *J Strength Cond Res*. 2003 Feb;17(1):12-9.
35. Luden ND, Saunders MJ, Todd MK. Postexercise carbohydrate-protein- antioxidant ingestion decreases plasma creatine kinase and muscle soreness. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2007 Feb;17(1):109-23.
36. Haack M, Mullington JM. Sustained sleep restriction reduces emotional and physical well-being. *Pain*. 2005 Dec 15;119(1-3):56-64.
37. Jackson ML, Croft RJ, Kennedy GA, Owens K, Howard ME. Cognitive components of simulated driving performance: Sleep loss effects and predictors. *Accid Anal Prev*. 2013 Jan;50:438-44.
38. Calogiuri G, Weydahl A. Effects of Sleep Loss on the Rest-Activity Circadian Rhythm of Helpers Participating in Continuous Dogsled Races. *Biol Res Nurs*. 2013 Feb 13.
39. Calogiuri G, Weydahl A, Roveda E. Effects of sleep loss and strenuous physical activity on the rest-activity circadian rhythm: a study on 500 km and 1,000 km dogsled racers. *Biol Res Nurs*. 2011 Oct;13(4):409-18.
40. Mallo J, Navarro E. Physical load imposed on soccer players during small-sided training games. *J Sports Med Phys Fitness*. 2008 Jun;48(2):166-71.
41. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Fatigue in soccer: a brief review. *J Sports Sci*. 2005 Jun;23(6):593-9.
42. Bangsbo J, Norregaard L, Thorso F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci*. 1991 Jun;16(2):110-6.
43. Rampinini E, Bosio A, Ferraresi I, Petruolo A, Morelli A, Sassi A. Match-related fatigue in soccer players. *Med Sci Sports Exerc*. 2011 Nov;43(11):2161-70.

44. Duffield R, Murphy A, Snape A, Minett GM, Skein M. Post-match changes in neuromuscular function and the relationship to match demands in amateur rugby league matches. *J Sci Med Sport*. 2012 May;15(3):238-43.
45. Bangsbo J. The physiology of soccer--with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl*. 1994;619:1-155.
46. 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.
47. Mohr M, Krstrup 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.
48. Moreira A, Arsati F, de Oliveira Lima Arsati YB, da Silva DA, de Araujo VC. Salivary cortisol in top-level professional soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2009 May;106(1):25-30.
49. Strudwick T, Reilly T. Work-rate profiles of elite Premier League football players. *The FA Coaches Association Journal* 2001;4(2):28-9.
50. Carling C, Bloomfield J, Nelsen L, Reilly T. The role of motion analysis in elite soccer: contemporary performance measurement techniques and work rate data. *Sports Med*. 2008;38(10):839-62.
51. Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med*. 2004;34(3):165-80.
52. Thatcher R, Batterham AM. Development and validation of a sport-specific exercise protocol for elite youth soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*. 2004 Mar;44(1):15-22.
53. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*. 2001 Oct;81(4):1725-89.
54. Sargeant AJ. Human power output and muscle fatigue. *Int J Sports Med*. 1994 Apr;15(3):116-21.
55. Taylor JL, Allen GM, Butler JE, Gandevia SC. Supraspinal fatigue during intermittent maximal voluntary contractions of the human elbow flexors. *J Appl Physiol* (1985). 2000 Jul;89(1):305-13.
56. Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Med*. 2005;35(10):865-98.
57. Minett G, Duffield R. Is recovery driven by central or peripheral factors? A role for the brain in recovery following intermittent-sprint exercise. *Front Physiol*. 2014;5:24.
58. Nedelec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. Recovery in soccer: part I - post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Med*. 2012 Dec 1;42(12):997-1015.
59. Kovacs MS, Baker LB. Recovery interventions and strategies for improved tennis performance. *Br J Sports Med*. 2014 Apr;48 Suppl 1:i18-21.
60. Foley TE, Fleshner M. Neuroplasticity of dopamine circuits after exercise: implications for central fatigue. *Neuromolecular Med*. 2008;10(2):67-80.
61. Taylor JL, Todd G, Gandevia SC. Evidence for a supraspinal contribution to human muscle fatigue. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2006 Apr;33(4):400-5.
62. Danion F, Latash ML, Li ZM, Zatsiorsky VM. The effect of fatigue on multifinger co-ordination in force production tasks in humans. *J Physiol*. 2000 Mar 1;523 Pt 2:523-32.
63. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports*. 2000 Jun;10(3):123-45.
64. Nordlund MM, Thorstensson A, Cresswell AG. Central and peripheral contributions to fatigue in relation to level of activation during repeated maximal voluntary isometric plantar flexions. *J Appl Physiol* (1985). 2004 Jan;96(1):218-25.
65. Weir JP, Beck TW, Cramer JT, Housh TJ. Is fatigue all in your head? A critical review of the central governor model. *Br J Sports Med*. 2006 Jul;40(7):573-86; discussion 86.
66. López-Calbet JA, Dorado A. Fatiga, dolor muscular tardío y sobreentrenamiento. In: López Chicharro JA, Fernández Vaquero A, editors. *Fisiología del ejercicio*. Buenos Aires: Médica Panamericana; 2003. p. 756.

67. Davis JM, Bailey SP. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Jan;29(1):45-57.
68. Mendez-Villanueva A, Perez-Landaluce J, Bishop D, Fernandez-Garcia B, Ortolano R, Leibar X, et al. Upper body aerobic fitness comparison between two groups of competitive surfboard riders. *J Sci Med Sport.* 2005 Mar;8(1):43-51.
69. Anish EJ. Exercise and its effects on the central nervous system. *Curr Sports Med Rep.* 2005 Feb;4(1):18-23.
70. Deschenes MR, Covault J, Kraemer WJ, Maresh CM. The neuromuscular junction. Muscle fibre type differences, plasticity and adaptability to increased and decreased activity. *Sports Med.* 1994 Jun;17(6):358-72.
71. Meeusen R. Exercise and the brain: insight in new therapeutic modalities. *Ann Transplant.* 2005;10(4):49-51.
72. Georgiades E, Behan WM, Kilduff LP, Hadjicharalambous M, Mackie EE, Wilson J, et al. Chronic fatigue syndrome: new evidence for a central fatigue disorder. *Clin Sci (Lond).* 2003 Aug;105(2):213-8.
73. Newsholme EA, Blomstrand E. Tryptophan, 5-hydroxytryptamine and a possible explanation for central fatigue. *Adv Exp Med Biol.* 1995;384:315-20.
74. Glace BW, Kremenec IJ, McHugh MP. Sex differences in central and peripheral mechanisms of fatigue in cyclists. *Eur J Appl Physiol.* 2013 Apr;113(4):1091-8.
75. Asmussen E. Muscle fatigue. *Med Sci Sports.* 1979 Winter;11(4):313-21.
76. Schillings ML, Hoefsloot W, Stegeman DF, Zwarts MJ. Relative contributions of central and peripheral factors to fatigue during a maximal sustained effort. *Eur J Appl Physiol.* 2003 Nov;90(5-6):562-8.
77. Westerblad H, Allen DG, Lannergren J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci.* 2002 Feb;17:17-21.
78. Warren GL, Ingalls CP, Lowe DA, Armstrong RB. Excitation-contraction uncoupling: major role in contraction-induced muscle injury. *Exerc Sport Sci Rev.* 2001 Apr;29(2):82-7.
79. Andersson H. The physiological impact of soccer on elite female players and the effects of active recovery training: Örebro University; 2010.
80. Krstrup 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.
81. Raastad T, Hallen J. Recovery of skeletal muscle contractility after high- and moderate-intensity strength exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2000 Jun;82(3):206-14.
82. Selye H. The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *J Allergy.* 1946 Nov;17(6):231; 89; 358.
83. Selye H. Stress and the general adaptation syndrome. *Br Med J.* 1950 Jun 17;1(4667):1383-92.
84. Lambert MI, Mujika I. Physiology of exercise of training. In: Hausswirth C, Mujika I, editors. *Recovery for performance in sport: Human Kinectis*; 2013. p. 4.
85. Meeusen R, Duclos M, Gleeson M, Gleeson M, Rietjens GJ, Steinacker JM, et al. Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome. *Eur J Sport Sci.* 2006;6(1):1-14.
86. Reilly T, Drust B, Clarke N. Muscle fatigue during football match-play. *Sports Med.* 2008;38(5):357-67.
87. Nedelec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. Recovery in Soccer : Part II- Recovery Strategies. *Sports Med.* 2013 Jan;43(1):9-22.
88. Pournot H, Bieuzen F, Duffield R, Lepretre PM, Cozzolino C, Hausswirth C. Short term effects of various water immersions on recovery from exhaustive intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Jul;111(7):1287-95.

89. Akenhead R, Hayes PR, Thompson KG, French D. Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play. *J Sci Med Sport*. 2013 Nov;16(6):556-61.
90. Coutts AJ, Quinn J, Hocking J, Castagna C, Rampinini E. Match running performance in elite Australian Rules Football. *J Sci Med Sport*. 2010 Sep;13(5):543-8.
91. Dupont G, Nedelec M, McCall A, McCormack D, Berthoin S, Wisloff U. Effect of 2 soccer matches in a week on physical performance and injury rate. *Am J Sports Med*. 2010 Sep;38(9):1752-8.
92. Andersson H, Raastad T, Nilsson J, Paulsen G, Garthe I, Kadi F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc*. 2008 Feb;40(2):372-80.
93. Ascensao A, Rebelo A, Oliveira E, Marques F, Pereira L, Magalhaes J. Biochemical impact of a soccer match - analysis of oxidative stress and muscle damage markers throughout recovery. *Clin Biochem*. 2008 Jul;41(10-11):841-51.
94. Ispirlidis I, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Michailidis I, Douroudos I, et al. Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med*. 2008 Sep;18(5):423-31.
95. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. Metabolic response and fatigue in soccer. *Int J Sports Physiol Perform*. 2007 Jun;2(2):111-27.
96. Krstrup P, Mohr M, Ellingsgaard H, Bangsbo J. Physical demands during an elite female soccer game: importance of training status. *Med Sci Sports Exerc*. 2005 Jul;37(7):1242-8.
97. Greenhaff PL, Bodin K, Soderlund K, Hultman E. Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *Am J Physiol*. 1994 May;266(5 Pt 1):E725-30.
98. Bradley PS, Noakes TD. Match running performance fluctuations in elite soccer: indicative of fatigue, pacing or situational influences? *J Sports Sci*. 2013;31(15):1627-38.
99. Fletcher WM. The osmotic properties of muscle, and their modifications in fatigue and rigor. *J Physiol*. 1904 Feb 25;30(5-6):414-38.
100. Peters RA. The heat production of fatigue and its relation to the production of lactic acid in amphibian muscle. *J Physiol*. 1913 Nov 7;47(3):243-71.
101. Marx R. Muscular Fatigue, Muscle Strain and Muscle Cramps. *Cal West Med*. 1933 Feb;38(2):96-7.
102. Barnes TC, Mauer I. Bioelectrical studies of fatigue; recovery of fatigued polarized muscle by reversal of the poles of the galvanic current. *Fed Proc*. 1946;5(1):5.
103. Brown GL, Burns BD. Fatigue and neuromuscular block in mammalian skeletal muscle. *Proc R Soc Lond B Biol Sci*. 1949 Jun 23;136(883):182-95.
104. Overbeek GA. Adrenals and fatigue; the cholinesterase activity of serum, brain and muscle in normal and adrenalectomized rats. *Arch Int Pharmacodyn Ther*. 1949 May 1;79(2-3):314-22.
105. Silva JR, Ascensao A, Marques F, Seabra A, Rebelo A, Magalhaes J. Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. *Eur J Appl Physiol*. 2013 Sep;113(9):2193-201.
106. Elloumi M, Maso F, Michaux O, Robert A, Lac G. Behaviour of saliva cortisol [C], testosterone [T] and the T/C ratio during a rugby match and during the post-competition recovery days. *Eur J Appl Physiol*. 2003 Sep;90(1-2):23-8.
107. Raastad T, Glomsbeller T, Bjoro T, Hallen J. Recovery of skeletal muscle contractility and hormonal responses to strength exercise after two weeks of high-volume strength training. *Scand J Med Sci Sports*. 2003 Jun;13(3):159-68.
108. Kraemer WJ, French DN, Paxton NJ, Hakkinen K, Volek JS, Sebastianelli WJ, et al. Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *J Strength Cond Res*. 2004 Feb;18(1):121-8.

109. Gorostiaga EM, Izquierdo M, Ruesta M, Iribarren J, Gonzalez-Badillo JJ, Ibanez J. Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol.* 2004 May;91(5-6):698-707.
110. Lin YT, Chang CK. Monitoring the training effect in different periods in elite athletes. *International Journal Of Sport And Exercise Science. International Journal of Sport And Exercise Science.* 2009;1(1):15-21.
111. Obminski Z, Stupnicki R. Comparison of the testosterone-to-cortisol ratio values obtained from hormonal assays in saliva and serum. *J Sports Med Phys Fitness.* 1997 Mar;37(1):50-5.
112. Thorpe R, Sunderland C. Muscle damage, endocrine, and immune marker response to a soccer match. *J Strength Cond Res.* 2012 Oct;26(10):2783-90.
113. Crewther BT, Cook C, Cardinale M, Weatherby RP, Lowe T. Two emerging concepts for elite athletes: the short-term effects of testosterone and cortisol on the neuromuscular system and the dose-response training role of these endogenous hormones. *Sports Med.* 2011 Feb 1;41(2):103-23.
114. Filaire E, Lac G, Pequignot JM. Biological, hormonal, and psychological parameters in professional soccer players throughout a competitive season. *Percept Mot Skills.* 2003 Dec;97(3 Pt 2):1061-72.
115. Pillay M. Athletes' testosterone levels by sports team: An exploratory analysis. . Unpublished Manuscript Simon Fraser University, British Columbia, Vancouver, Canada. 2006.
116. Dabbs JM, Jr., Mohammed S. Male and female salivary testosterone concentrations before and after sexual activity. *Physiol Behav.* 1992 Jul;52(1):195-7.
117. West DJ, Finn CV, Cunningham DJ, Shearer DA, Jones MR, Harrington BJ, et al. Neuromuscular function, hormonal, and mood responses to a professional rugby union match. *J Strength Cond Res.* 2014 Jan;28(1):194-200.
118. Kraemer WJ, Loebel CC, Volek JS, Ratamess NA, Newton RU, Wickham RB, et al. The effect of heavy resistance exercise on the circadian rhythm of salivary testosterone in men. *Eur J Appl Physiol.* 2001 Jan-Feb;84(1-2):13-8.
119. Izquierdo M, Ibanez J, Hakkinen K, Kraemer WJ, Ruesta M, Gorostiaga EM. Maximal strength and power, muscle mass, endurance and serum hormones in weightlifters and road cyclists. *J Sports Sci.* 2004 May;22(5):465-78.
120. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med.* 2005;35(4):339-61.
121. Bosco C, Colli R, Bonomi R, von Duvillard SP, Viru A. Monitoring strength training: neuromuscular and hormonal profile. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Jan;32(1):202-8.
122. Oliveira T, Gouveia MJ, Oliveira RF. Testosterone responsiveness to winning and losing experiences in female soccer players. *Psychoneuroendocrinology.* 2009 Aug;34(7):1056-64.
123. Haneishi K, Fry AC, Moore CA, Schilling BK, Li Y, Fry MD. Cortisol and stress responses during a game and practice in female collegiate soccer players. *J Strength Cond Res.* 2007 May;21(2):583-8.
124. Crewther BT, Cook CJ. Effects of different post-match recovery interventions on subsequent athlete hormonal state and game performance. *Physiol Behav.* 2012 Jun 25;106(4):471-5.
125. Fry AC, Schilling BK, Fleck SJ, Kraemer WJ. Relationships between competitive wrestling success and neuroendocrine responses. *J Strength Cond Res.* 2011 Jan;25(1):40-5.
126. Crewther B, Keogh J, Cronin J, Cook C. Possible stimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. *Sports Med.* 2006;36(3):215-38.
127. Salehian B, Kejiwal K. Glucocorticoid-induced muscle atrophy: mechanisms and therapeutic strategies. *Endocr Pract.* 1999 Sep-Oct;5(5):277-81.
128. Herbst KL, Coviello AD, Page S, Amory JK, Anawalt BD, Bremner WJ. A single dose of the potent gonadotropin-releasing hormone antagonist acyline suppresses gonadotropins and

- testosterone for 2 weeks in healthy young men. *J Clin Endocrinol Metab.* 2004 Dec;89(12):5959-65.
129. Viru A, Viru M. Cortisol--essential adaptation hormone in exercise. *Int J Sports Med.* 2004 Aug;25(6):461-4.
130. Passelergue P, Lac G. Saliva cortisol, testosterone and T/C ratio variations during a wrestling competition and during the post-competitive recovery period. *Int J Sports Med.* 1999 Feb;20(2):109-13.
131. Dallman MF, Akana SF, Levin N, Walker CD, Bradbury MJ, Suemaru S, et al. Corticosteroids and the control of function in the hypothalamo-pituitary-adrenal (HPA) axis. *Ann N Y Acad Sci.* 1994 Nov 30;746:22-31; discussion -2, 64-7.
132. Carli G, Bonifazi M, Lodi L, Lupo C, Martelli G, Viti A. Hormonal and metabolic effects following a football match. *Int J Sports Med.* 1986;7:36-8.
133. Edwards DA, Wetzel K, Wyner DR. Intercollegiate soccer: saliva cortisol and testosterone are elevated during competition, and testosterone is related to status and social connectedness with team mates. *Physiol Behav.* 2006 Jan 30;87(1):135-43.
134. Maso F, Lac G, Filaire E, Michaux O, Robert A. Salivary testosterone and cortisol in rugby players: correlation with psychological overtraining items. *Br J Sports Med.* 2004 Jun;38(3):260-3.
135. Cormack SJ, Newton RU, McGuigan MR, Cormie P. Neuromuscular and endocrine responses of elite players during an Australian rules football season. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008 Dec;3(4):439-53.
136. Kraemer WJ, Spiering BA, Volek JS, Martin GJ, Howard RL, Ratamess NA, et al. Recovery from a national collegiate athletic association division I football game: muscle damage and hormonal status. *J Strength Cond Res.* 2009 Jan;23(1):2-10.
137. Lutoslawska G, Obminski Z, Krogulski A, Senddecki W. Plasma cortisol and testosterone following 19-km and 42-km kayak races. *J Sports Med Phys Fitness.* 1991 Dec;31(4):538-42.
138. Filaire E, Bernain X, Sagnol M, Lac G. Preliminary results on mood state, salivary testosterone:cortisol ratio and team performance in a professional soccer team. *Eur J Appl Physiol.* 2001 Dec;86(2):179-84.
139. Aardal E, Holm AC. Cortisol in saliva--reference ranges and relation to cortisol in serum. *Eur J Clin Chem Clin Biochem.* 1995 Dec;33(12):927-32.
140. Raastad T, Owe SG, Paulsen G, Enns D, Overgaard K, Crameri R, et al. Changes in calpain activity, muscle structure, and function after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Jan;42(1):86-95.
141. Rowsell GJ, Coutts AJ, Reaburn P, Hill-Haas S. Effects of cold-water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players
J Sports Sci. 2011 Apr;27(6):565-73.
142. Rowsell GJ, Coutts AJ, Reaburn P, Hill-Haas S. Effect of post-match cold-water immersion on subsequent match running performance in junior soccer players during tournament play. *J Sports Sci.* 2011 Jan;29(1):1-6.
143. Magal M, Dumke CL, Urbiztondo ZG, Cavill MJ, Triplett NT, Quindry JC, et al. Relationship between serum creatine kinase activity following exercise-induced muscle damage and muscle fibre composition. *J Sports Sci.* 2010 Feb;28(3):257-66.
144. Clarkson P, Nosaka K, Braun B. Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;24(5):512-20.
145. Guilhem G, Hug F, Courtier A, Filliard J, Dibie C, Dorel S. Air-Pulsed Cryotherapy. In: Hausswirth C, Mujika I, editors. *Recovery for performance in sport: Human Kinetic*; 2013.
146. Newham DJ, Mills KR, Quigley BM, Edwards RH. Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. *Clin Sci (Lond).* 1983 Jan;64(1):55-62.
147. Byrne C, Twist C, Eston R. Neuromuscular Function After Exercise-Induced Muscle Damage. *Sports Med.* 2004;34(1):49-69.

148. Pruscino CL, Halson S, Hargreaves M. Effects of compression garments on recovery following intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol*. 2013 Jun;113(6):1585-96.
149. Howatson G, van Someren KA. The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Med*. 2008;38(6):483-503.
150. Howatson G, Hoad M, Goodall S, Tallent J, Bell PG, French DN. Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: a randomized, double-blind, placebo controlled study. *J Int Soc Sports Nutr*. 2012;9:20.
151. Paschalis V, Koutedakis Y, Baltzopoulos V, Mougios V, Jamurtas AZ, Giakas G. Short vs. long length of rectus femoris during eccentric exercise in relation to muscle damage in healthy males. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2005 Jul;20(6):617-22.
152. Joyce D, Lewindon D. *High-Performance Training for Sports*. Kinetics H, editor 2014.
153. Isabell WK, Durrant E, Myrer W, Anderson S. The effects of ice massage, ice massage with exercise, and exercise on the prevention and treatment of delayed onset muscle soreness. *J Athl Train*. 1992;27(3):208-17.
154. Duffield R, Portus M. Comparison of three types of full-body compression garments on throwing and repeat-sprint performance in cricket players. *Br J Sports Med*. 2007 Jul;41(7):409-14; discussion 14.
155. Dorel S, Lucas C, Pacheco M. Local Thermal Applications. In: Hausswirth C, Mujika I, editors. *Recovery for performance in sport: Human Kinetics*; 2013.
156. Lim CL, Byrne C, Lee JK. Human thermoregulation and measurement of body temperature in exercise and clinical settings. *Ann Acad Med Singapore*. 2008 Apr;37(4):347-53.
157. Ganio MS, Brown CM, Casa DJ, Becker SM, Yeargin SW, McDermott BP, et al. Validity and reliability of devices that assess body temperature during indoor exercise in the heat. *J Athl Train*. 2009 Mar-Apr;44(2):124-35.
158. Smorawinski J, Mlynarczyk C, Ziembra AW, Mikulski T, Cybulski G, Grucza R, et al. Exercise training and 3-day head down bed rest deconditioning: exercise thermoregulation. *J Physiol Pharmacol*. 2005 Mar;56(1):101-10.
159. Dobnikar U, Kounalakis SN, Mekjavic IB. The effect of exercise-induced elevation in core temperature on cold-induced vasodilatation response in toes. *Eur J Appl Physiol*. 2009 Jun;106(3):457-64.
160. Kistemaker JA, Den Hartog EA, Daanen HA. Reliability of an infrared forehead skin thermometer for core temperature measurements. *J Med Eng Technol*. 2006 Jul-Aug;30(4):252-61.
161. Takeno Y, Kamijo YI, Nose H. Thermoregulatory and aerobic changes after endurance training in a hypobaric hypoxic and warm environment. *J Appl Physiol (1985)*. 2001 Oct;91(4):1520-8.
162. Okazaki K, Kamijo Y, Takeno Y, Okumoto T, Masuki S, Nose H. Effects of exercise training on thermoregulatory responses and blood volume in older men. *J Appl Physiol (1985)*. 2002 Nov;93(5):1630-7.
163. Edwards AM, Clark NA. Thermoregulatory observations in soccer match play: professional and recreational level applications using an intestinal pill system to measure core temperature. *Br J Sports Med*. 2006 Feb;40(2):133-8.
164. Buchheit M, Voss SC, Nybo L, Mohr M, Racinais S. Physiological and performance adaptations to an in-season soccer camp in the heat: associations with heart rate and heart rate variability. *Scand J Med Sci Sports*. 2011 Dec;21(6):e477-85.
165. Buchheit M, Simpson MB, Al Haddad H, Bourdon PC, Mendez-Villanueva A. Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2012 Feb;112(2):711-23.
166. Mohr M, Mujika I, Santisteban J, Randers MB, Bischoff R, Solano R, et al. Examination of fatigue development in elite soccer in a hot environment: a multi-experimental approach. *Scand J Med Sci Sports*. 2010 Oct;20 Suppl 3:125-32.

167. Ozgunen KT, Kurdak SS, Maughan RJ, Zeren C, Korkmaz S, Yazici Z, et al. Effect of hot environmental conditions on physical activity patterns and temperature response of football players. *Scand J Med Sci Sports*. 2010 Oct;20 Suppl 3:140-7.
168. Thomas MM, Cheung SS, Elder GC, Sleivert GG. Voluntary muscle activation is impaired by core temperature rather than local muscle temperature. *J Appl Physiol* (1985). 2006 Apr;100(4):1361-9.
169. Morrison S, Sleivert GG, Cheung SS. Passive hyperthermia reduces voluntary activation and isometric force production. *Eur J Appl Physiol*. 2004 May;91(5-6):729-36.
170. Racinais S, Gaoua N, Grantham J. Hyperthermia impairs short-term memory and peripheral motor drive transmission. *J Physiol*. 2008 Oct 1;586(Pt 19):4751-62.
171. Froyd C, Millet GY, Noakes TD. The development of peripheral fatigue and short-term recovery during self-paced high-intensity exercise. *J Physiol*. 2013 Mar 1;591(Pt 5):1339-46.
172. Girard O, Bishop DJ, Racinais S. Neuromuscular adjustments of the quadriceps muscle after repeated cycling sprints. *PLoS One*. 2013;8(5):e61793.
173. Pascoe D, Mercer J, Weerd L. Physiology of thermal signals. In: Diakides NA, Bronzin JD, editors. *Medical Infrared imaging*: Boca Raton; 2008.
174. Gómez Carmona PM, Sillero M, Noya J, Pastrano R. Infrared thermography as an injury prevention method in soccer. 2008.
175. Marins JC, Fernandes AA, Cano SP, Moreira DG, da Silva FS, Costa CM, et al. Thermal body patterns for healthy Brazilian adults (male and female). *J Therm Biol*. 2014 May;42:1-8.
176. Piñonosa S, Sillero-Quintana M, Milanoic L, Coterón J, Sampedro J. Thermal evolution of lower limbs during a rehabilitation process after anterior cruciate ligament surgery. *Kinesiology*. 2013;45(1):121-9.
177. Keyl W, Lenhart P. Thermography in sport injuries and lesions of the locomotor system due to sport. *Fortschritte der Medizin*. 1975;93(3):124-6.
178. Piñonosa S, Sampedro J, Fernández I. La termografía como nueva herramienta de evaluación en baloncesto. Estudio piloto realizado a un jugador profesional de la ACB. *Cuadernos de Psicología del Deporte*. 2012;12(1):51-6.
179. Mangine RE, Siqueland KA, Noyes FR. The use of thermography for the diagnosis and management of patellar tendinitis. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 1987;94(4):132-40.
180. Garagiola U, Giani E. Use of telethermography in the management of sports injuries. *Sports Med*. 1990;10(4):267-72.
181. Gomez Carmona PM, Noya Salces J, Fernández Rodríguez I, Sillero Quintana M. Validación de la termografía infrarroja como método de prevención de lesiones en futbolistas profesionales. II CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DEL DEPORTE DE LA UCAM; Murcia2010.
182. Baldari C, Videira M, Maderira F, Sergio J, Guidetti L. Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. *Eur J Appl Physiol*. 2004;93:224-30.
183. Bonen A, Belcastro AN. Comparison of self-selected recovery methods on lactic acid removal rates. *Med Sci Sports*. 1976 Fall;8(3):176-8.
184. Belcastro AN, Bonen A. Lactic acid removal rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. *J Appl Physiol*. 1975 Dec;39(6):932-6.
185. Koizumi K, Fujita Y, Muramatsu S, Manabe M, Ito M, Nomura J. Active recovery effects on local oxygenation level during intensive cycling bouts. *J Sports Sci*. 2011 Jun;29(9):919-26.
186. Sairyo K, Iwanaga K, Yoshida N, Mishiro T, Terai T, Sasa T, et al. Effects of active recovery under a decreasing work load following intense muscular exercise on intramuscular energy metabolism. *Int J Sports Med*. 2003 Apr;24(3):179-82.

187. Bond V, Adams RG, Tearney RJ, Gresham K, Ruff W. Effects of active and passive recovery on lactate removal and subsequent isokinetic muscle function. *J Sports Med Phys Fitness*. 1991 Sep;31(3):357-61.
188. Weltman A, Regan JD. Prior exhaustive exercise and subsequent, maximal constant load exercise performance. *Int J Sports Med*. 1983 Aug;4(3):184-9.
189. Wiseman RW, Beck TW, Chase PB. Effect of intracellular pH on force development depends on temperature in intact skeletal muscle from mouse. *Am J Physiol*. 1996 Sep;271(3 Pt 1):C878-86.
190. Westerblad H, Bruton JD, Lannergren J. The effect of intracellular pH on contractile function of intact, single fibres of mouse muscle declines with increasing temperature. *J Physiol*. 1997 Apr 1;500 (Pt 1):193-204.
191. Cairns SP. Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? *Sports Med*. 2006;36(4):279-91.
192. Peinado A. Respuesta ácido-base ante diferentes protocolos y su aplicación a la clasificación de ciclistas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid; 2009.
193. Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2004;287(3):502-16.
194. Boning D, Maassen NaLJ, *Appl Physiol*, 368. Last word on point:counterpoint: lactic acid is/is not the only physicochemical contributor to the acidosis of exercise. *Appl Physiol* 2008;105(1):368.
195. Lindinger MI, Heigenhauser GJ. Last word on point:counterpoint: lactate is/is not the only physicochemical contributor to the acidosis of exercise. *J Appl Physiol*. 2008;105(1):369.
196. Sahlin K. Lactate formation and tissue hypoxia. *J Appl Physiol* (1985). 1989 Dec;67(6):2640.
197. Nielsen B. The effect of dehydration on circulation and temperature regulation during exercise. *J Therm Biol*. 1984;9:107-12.
198. Claremont A, Costill D, Fink W, Van Handel P. Heat tolerance following diuretic induced dehydration. *Med Sci Sports Exerc*. 1976;8:239-43.
199. Horswill CA. Effective fluid replacement. *Int J Sport Nutr*. 1998 Jun;8(2):175-95.
200. Ralo Monteiro C, Guerra I, Leite de Barros T. Hydration in soccer: a review. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*. 2003;9:243-6.
201. Reilly T. Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *J Sports Sci*. 1997 Jun;15(3):257-63.
202. Armstrong LE, Costill DL, Fink WJ. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1985;17(4):456-561.
203. Di Salvo V, Gregson W, Atkinson G, Tordoff P, Drust B. Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *Int J Sports Med*. 2009 Mar;30(3):205-12.
204. Bangsbo J. *Nutrition in Sport*. Oxford BSL, editor2000.
205. Ivy JL, Kuo CH. Regulation of GLUT4 protein and glycogen synthase during muscle glycogen synthesis after exercise. *Acta Physiol Scand*. 1998 Mar;162(3):295-304.
206. Kuo CH, Browning KS, Ivy JL. Regulation of GLUT4 protein expression and glycogen storage after prolonged exercise. *Acta Physiol Scand*. 1999 Feb;165(2):193-201.
207. Coggan AR, Coyle EF. Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. *Exerc Sport Sci Rev*. 1991;19:1-40.
208. Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* (1985). 1988 Apr;64(4):1480-5.
209. Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci*. 2004 Jan;22(1):15-30.
210. Wojtaszewski JPF, Nielson P, Kiens B, Richter EA, 50:265-269. D. Regulation of glycogen synthase kinase-3 in human skeletal muscle: Effects of food intake and bicycle exercise. *Diabetes*. 2001;50:265-9.

211. Beecher HK. Quantification of the subjective pain experience. *Proc Annu Meet Am Psychopathol Assoc.* 1965;53:111-28.
212. Beecher HK. The measurement of pain; prototype for the quantitative study of subjective responses. *Pharmacol Rev.* 1957 Mar;9(1):59-209.
213. Borg G, Dahlstrom H. A pilot study of perceived exertion and physical working capacity. *Acta Soc Med Ups.* 1962;67:21-7.
214. Borg G, Dahlstrom H. A case study of perceived exertion during a work test. *Acta Soc Med Ups.* 1962;67:91-3.
215. Borg E, Kaijser L. A comparison between three rating scales for perceived exertion and two different work tests. *Scand J Med Sci Sports.* 2006 Feb;16(1):57-69.
216. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-81.
217. Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med.* 1970;2(2):92-8.
218. Borg G. *Borg's Perceived Exertion and Pain Scales.* Champaign, IL: Human Kinetics. 1998.
219. Zamuner A, Moreno M, Camargo T, Graetz J, Rebelo A, Tumburús. Assessment of subjective perceived exertion at the anaerobic threshold with the Borg CR-10 scale. *Journal of Sports Science and Medicine.* 2011;10:130-6.
220. Susco TM, Valovich McLeod TC, Gansneder BM, Shultz SJ. Balance Recovers Within 20 Minutes After Exertion as Measured by the Balance Error Scoring System. *J Athl Train.* 2004 Sep;39(3):241-6.
221. Wilkins JC, Valovich McLeod TC, Perrin DH, Gansneder BM. Performance on the Balance Error Scoring System Decreases After Fatigue. *J Athl Train.* 2004 Jun;39(2):156-61.
222. Seliga R, Bhattacharya A, Succop P, Wickstrom R, Smith D, Willeke K. Effect of work load and respirator wear on postural stability, heart rate, and perceived exertion. *Am Ind Hyg Assoc J.* 1991 Oct;52(10):417-22.
223. Impellizzeri FM, Marcora SM, Castagna C, Reilly T, Sassi A, Iaia FM, et al. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *Int J Sports Med.* 2006 Jun;27(6):483-92.
224. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 2004 Jun;36(6):1042-7.
225. Brink MS, Nederhof E, Visscher C, Schmikli SL, Lemmink KA. Monitoring load, recovery, and performance in young elite soccer players. *J Strength Cond Res.* 2010 Mar;24(3):597-603.
226. Rampinini E, Impellizzeri FM, Castagna C, Abt G, Chamari K, Sassi A, et al. Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *J Sports Sci.* 2007 Apr;25(6):659-66.
227. Alexiou H, Coutts AJ. A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008 Sep;3(3):320-30.
228. Borg E, Borg G. A comparison of AME and CR100 for scaling perceived exertion. *Acta Psychol (Amst).* 2002 Feb;109(2):157-75.
229. Grant S, Aitchison T, Henderson E, Christie J, Zare S, McMurray J, et al. A comparison of the reproducibility and the sensitivity to change of visual analogue scales, Borg scales, and Likert scales in normal subjects during submaximal exercise. *Chest.* 1999 Nov;116(5):1208-17.
230. Capodaglio EM. Comparison between the CR10 Borg's scale and the VAS (visual analogue scale) during an arm-cranking exercise. *J Occup Rehabil.* 2001 Jun;11(2):69-74.
231. Kuukkanen T, Malkia E, Kautiainen H, Pohjolainen T. Effectiveness of a home exercise programme in low back pain: a randomized five-year follow-up study. *Physiother Res Int.* 2007 Dec;12(4):213-24.
232. Merino R, Fernández E, Iglesias P, Mayorga D. The effect of Kinesio taping on calf's injuries prevention in triathletes during competition. Pilot experience. *JOURNAL OF HUMAN SPORT & EXERCISE* 2011;6(2).

233. Foster C, Florhaug JA, Franklin J, Gottschall L, Hrovatin LA, Parker S, et al. A New Approach to Monitoring Exercise Training. *J Strength Cond Res.* 2001;15(1):109-15.
234. Kenttä G, Hassmén P. Overtraining and recovery. A conceptual model. *Sports Med.* 1998 Jul;26(1):1-16.
235. Kellmann M, Kallus KW. The Recovery Stress Questionnaire for Athletes ; user manual. . Champaign IHK, editor2001.
236. Coutts A, Barbero J, Sirotic AC, Andrin G. Estrategias de Recuperación Post-Partido en Deportes de Equipo. 2007; Available from: <http://g-se.com/es/entrenamiento-en-deportes-de-equipo/articulos/estrategias-de-recuperacion-post-partido-en-deportes-de-equipo-909>.
237. Bleakley CM, Bieuzen F, Davison GW, Costello JT. Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives. *Open Access J Sports Med.* 2014;5:25-36.
238. Poppendieck W, Faude O, Wegmann M, Meyer T. Cooling and performance recovery of trained athletes: a meta-analytical review. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013 May;8(3):227-42.
239. Ziemann E, Olek RA, Kujach S, Grzywacz T, Antosiewicz J, Garsztka T, et al. Five-day whole-body cryostimulation, blood inflammatory markers, and performance in high-ranking professional tennis players. *J Athl Train.* 2012 Nov-Dec;47(6):664-72.
240. Banfi G, Lombardi G, Colombini A, Melegati G. Whole-body cryotherapy in athletes. *Sports Med.* 2010 Jun 1;40(6):509-17.
241. Hausswirth C, Schaal K, Le Meur Y, Bieuzen F, Filliard JR, Volondat M, et al. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation. *PLoS One.* 2013;8(8):e72658.
242. Lubkowska A. Physical Therapy Perspectives in the 21st Century - Challenges and Possibilities. Bettany-Saltikov DJ, editor: InTech; 2012.
243. Wilcock IM, Cronin JB, Hing WA. Water immersion: does it enhance recovery from exercise? *Int J Sports Physiol Perform.* 2006 Sep;1(3):195-206.
244. Halson S. Water-Based Recovery Techniques: The Experience from the AIS. Post-Exercise Recovery Best Evidence, future Strategy Conference; Aspetar Orthopedic and Sports Medicine Hospital, Doha, Qatar. 2013.
245. Frohlich M, Faude O, Klein M, Pieter A, Emrich E, Meyer T. Strength training adaptations after cold water immersion. *J Strength Cond Res.* 2014 Feb 18.
246. Yamane M, Teruya H, Nakano M, Ogai R, Ohnishi N, Kosaka M. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. *Eur J Appl Physiol.* 2006 Mar;96(5):572-80.
247. Carrasco L, Sañudo B, Martínez IC, De Hoyo M. Proteínas de estrés y ejercicio físico. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.* 2010;10:1-21.
248. Brade C, Dawson B, Wallman K, Polglaze T. Postexercise cooling rates in 2 cooling jackets. *J Athl Train.* 2010 Mar-Apr;45(2):164-9.
249. Cotter JD, Sleivert GG, Roberts WS, Febbraio MA. Effect of pre-cooling, with and without thigh cooling, on strain and endurance exercise performance in the heat. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol.* 2001 Apr;128(4):667-77.
250. Association WM. Declaration of Helsinki. Retrieved 01/05/01, 2005. 2004; Available from: <http://www.wma.net/e/ethicsunit/helsinki.htm>.
251. Galloway SD, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc.* 1997 Sep;29(9):1240-9.
252. Bolster DR, Trappe SW, Short KR, Scheffield-Moore M, Parcell AC, Schulze KM, et al. Effects of precooling on thermoregulation during subsequent exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1999 Feb;31(2):251-7.

253. Yeargin SW, Casa DJ, McClung JM, Knight JC, Healey JC, Goss PJ, et al. Body cooling between two bouts of exercise in the heat enhances subsequent performance. *J Strength Cond Res.* 2006 May;20(2):383-9.
254. Uckert S, Joch W. Effects of warm-up and precooling on endurance performance in the heat. *Br J Sports Med.* 2007 Jun;41(6):380-4.
255. Webster J, Holland EJ, Sleivert G, Laing RM, Niven BE. A light-weight cooling vest enhances performance of athletes in the heat. *Ergonomics.* 2005 Jun 10;48(7):821-37.
256. Hausswirth C, Duffield R, Pournot H, Bieuzen F, Louis J, Brisswalter J, et al. Postexercise cooling interventions and the effects on exercise-induced heat stress in a temperate environment. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2012 Oct;37(5):965-75.
257. Versey NG, Halson SL, Dawson BT. Water immersion recovery for athletes: effect on exercise performance and practical recommendations. *Sports Med.* 2013 Nov;43(11):1101-30.
258. Farhi LE, Linnarsson D. Cardiopulmonary readjustments during graded immersion in water at 35 degrees C. *Respir Physiol.* 1977 Jun;30(1-2):35-50.
259. Wilcock IM, Cronin JB, Hing WA. Physiological response to water immersion: a method for sport recovery? *Sports Med.* 2006;36(9):747-65.
260. Vaile J, Halson S, Gill N, Dawson B. Effect of hydrotherapy on the signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Eur J Appl Physiol.* 2008 Mar;102(4):447-55.
261. Burke DG, MacNeil SA, Holt LE, Mackinnon NC, Rasmussen RL. The effect of hot or cold water immersion on isometric strength training. *J Strength Cond Res.* 2000;14:21-5.
262. Montgomery PG, Pyne DB, Hopkins WG, Dorman JC, Cook K, Minahan CL. The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *J Sports Sci.* 2008 Sep;26(11):1135-45.
263. Elias GP, Wyckelsma VL, Varley MC, McKenna MJ, Aughey RJ. Effectiveness of water immersion on postmatch recovery in elite professional footballers. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013 May;8(3):243-53.
264. Dunne A, Crampton D, Egana M. Effect of post-exercise hydrotherapy water temperature on subsequent exhaustive running performance in normothermic conditions. *J Sci Med Sport.* 2013 Sep;16(5):466-71.
265. Versey N, Halson S, Dawson B. Effect of contrast water therapy duration on recovery of cycling performance: a dose-response study. *Eur J Appl Physiol.* 2011 Jan;111(1):37-46.
266. King M, Duffield R. The effects of recovery interventions on consecutive days of intermittent sprint exercise. *J Strength Cond Res.* 2009 Sep;23(6):1795-802.
267. Coffey V, Leveritt M, Gill N. Effect of recovery modality on 4-hour repeated treadmill running performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport.* 2004 Mar;7(1):1-10.
268. Bieuzen F, Bleakley CM, Costello JT. Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2013;8(4):e62356.
269. Higgins TR, Heazlewood IT, Climstein M. A random control trial of contrast baths and ice baths for recovery during competition in U/20 rugby union. *J Strength Cond Res.* 2011 Apr;25(4):1046-51.
270. Vaile JM, Gill ND, Blazevich AJ. The effect of contrast water therapy on symptoms of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res.* 2007 Aug;21(3):697-702.
271. Webb N. The relative efficacy of three recovery modalities following professional rugby league competition matches. Auckland Auckland University of Technology; 2011.
272. Bonen A, Belcastro A. A physiological rationale for active recovery exercise. *Canadian Journal of Sport Sciences.* 1977;2(2):63-5.
273. Cortis C, Tessitore A, D'Artibale E, Meeusen R, Capranica L. Effects of post-exercise recovery interventions on physiological, psychological, and performance parameters. *Int J Sports Med.* 2010 May;31(5):327-35.
274. Takahashi T, Miyamoto Y. Influence of light physical activity on cardiac responses during recovery from exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998 Mar;77(4):305-11.

275. Fairchild TJ, Armstrong AA, Rao A, Liu H, Lawrence S, Fournier PA. Glycogen synthesis in muscle fibres during active recovery from intense exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(595-602).
276. McAinch AJ, Febbraio MA, Parkin JM, Zhao S, Tangalakis K, Stojanovska L, et al. Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004 Apr;14(2):185-96.
277. Kinanthropometry ISftAo. International Standards For Anthropometric Assessment. 2001.
278. Le Meur Y, Hauswirth C. Active Recovery. In: Hauswirth C, Mujika I, editors. *Recovery for performance in sport: Human Kinetic*; 2013.
279. Wigernaes I, Hostmark AT, Kierulf P, Stromme SB. Active recovery reduces the decrease in circulating white blood cells after exercise. *Int J Sports Med.* 2000 Nov;21(8):608-12.
280. Wigernaes I, Hostmark AT, Stromme SB, Kierulf P, Birkeland K. Active recovery and post-exercise white blood cell count, free fatty acids, and hormones in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2001 Apr;84(4):358-66.
281. Walsh NP, Gleeson M, Shephard RJ, Woods JA, Bishop NC, Fleshner M, et al. Position statement. Part one: Immune function and exercise. *Exerc Immunol Rev.* 2011;17:6-63.
282. Bastos F. Influencia de diferentes tipos de recuperaçao sobre a modulaçapautonomica cardiaca, concentraçao de lactato e preteina c-reactiva. Dissertação, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2010.
283. Sayers SP, Clarkson PM, Lee J. Activity and immobilization after eccentric exercise: I. Recovery of muscle function. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Sep;32(9):1587-92.
284. Zarrouk N, Rebai H, Yahia A, Souissi N, Hug F, Dogui M. Comparison of recovery strategies on maximal force-generating capacity and electromyographic activity level of the knee extensor muscles. *J Athl Train.* 2011 Jul-Aug;46(4):386-94.
285. Lane KN, Wenger HA. Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. *J Strength Cond Res.* 2004 Nov;18(4):855-60.
286. Magnusson P, Reström P. The European College of Sports Sciences Position statement: The role of stretching exercises in sports. *European Journal of Sport Science.* 2006;6(2):87-91.
287. Leger LA, Lambert J. A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO2 max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1982;49(1):1-12.
288. Cross KM, Worrell TW. Effects of a static stretching program on the incidence of lower extremity musculotendinous strains. *Journal of Athletic Training.* 1999;34(11).
289. Andersen JC. Stretching before and after exercise: effect on muscle soreness and injury risk. *J Athl Train.* 2005 Jul-Sep;40(3):218-20.
290. Herbert RD, de Noronha M, Kamper SJ. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011(7):CD004577.
291. Herbert RD, Gabriel M. Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ.* 2002 Aug 31;325(7362):468.
292. Bahnert A, Norton K, Lock P. Association between post-game recovery protocols, physical and perceived recovery, and performance in elite Australian Football League players. *J Sci Med Sport.* 2013 Mar;16(2):151-6.
293. Dadebo B, White J, George KP. A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *Br J Sports Med.* 2004 Aug;38(4):388-94.
294. Herbert RD, de Noronha M. Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007(4):CD004577.
295. Magnusson SP. Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. A review. *Scand J Med Sci Sports.* 1998 Apr;8(2):65-77.
296. Magnusson SP, Aagard P, Simonsen E, Bojsen-Moller F. A biomechanical evaluation of cyclic and static stretch in human skeletal muscle. *Int J Sports Med.* 1998 Jul;19(5):310-6.

297. Rabita G, Delaxtrat A. Stretching. In: Hausswirth C, Mujika I, editors. Recovery for performance in sports: Human Kinetics; 2013. p. 55-70.
298. Casáis L. Factores de riesgo extrínsecos. Medidas y estrategias de pervención. Máster Universitaria en Prevención y Readaptación de Lesiones 2010.
299. McNair PJ, Dombroski EW, Hewson DJ, Stanley SN. Stretching at the ankle joint: viscoelastic responses to holds and continuous passive motion. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Mar;33(3):354-8.
300. Galloway SD, Watt JM. Massage provision by physiotherapists at major athletics events between 1987 and 1998. *Br J Sports Med.* 2004 Apr;38(2):235-6; discussion 7.
301. Weerapong P, Hume PA, Kolt GS. The mechanisms of massage and effects on performance, muscle recovery and injury prevention. *Sports Med.* 2005;35(3):235-56.
302. Drust B, Atkinson G, Gregson W, D F, Binningsley D. The effects of massage on intra muscular temperature in the vastus lateralis in humans. *Int J Sports Med.* 2003;24:395-9.
303. Wiltshire EV, Poitras V, Pak M, Hong T, Rayner J, Tschakovsky ME. Massage impairs postexercise muscle blood flow and "lactic acid" removal. *Med Sci Sports Exerc.* 2010 Jun;42(6):1062-71.
304. Tiidus PM, Shoemaker JK. Effleurage massage, muscle blood flow and long-term post-exercise strength recovery. *Int J Sports Med.* 1995 Oct;16(7):478-83.
305. Robertson A, Watt JM, Galloway SD. Effects of leg massage on recovery from high intensity cycling exercise. *Br J Sports Med.* 2004 Apr;38(2):173-6.
306. Dawson LG, Dawson KA, Tiidus PM. Evaluating the influence of massage on leg strength, swelling, and pain following a half-marathon. *J Sports Sci Med.* 2004 Nov;3(YISI 1):37-43.
307. Couturier A, Le Meur Y, Huiba C, Saunier M, Férey F. Massage and Physiotherapy In: Hausswirth C, Mujika I, editors. Recovery for Performance in Sport: Human Kinetics; 2013.
308. Weinberg R, Jackson A, Kolodny K. The relationship of massage and exercise to mood enhancement. *J Sport Psychol.* 1998;2:202-11.
309. Farr T, Nottle C, Nosaka K, Sacco P. The effects of therapeutic massage on delayed onset muscle soreness and muscle function following downhill walking. *J Sci Med Sport.* 2002 Dec;5(4):297-306.
310. Cafarelli E, Flint F. The role of massage in preparation for and recovery from exercise. An overview. *Sports Med.* 1992 Jul;14(1):1-9.
311. Viitasalo JT, Niemela K, Kaappola R, Korjus T, Levola M, Mononen HV, et al. Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995;71(5):431-8.
312. Moraska A. Therapist education impacts the massage effect on postrace muscle recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 2007 Jan;39(1):34-7.
313. Martin V, Millet GY, Lattier G, Perrod L. Effects of recovery modes after knee extensor muscles eccentric contractions. *Med Sci Sports Exerc.* 2004 Nov;36(11):1907-15.
314. Maffiuletti N, editor. Electromyostimulation Recovery - Related Strategies. Post-Exercise Recovery: Best Evidence - Future Strategy Conference; 2013; Aspetar, Doha - Qatar.
315. Heyman E, B DEG, Mertens I, Meeusen R. Effects of four recovery methods on repeated maximal rock climbing performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2009 Jun;41(6):1303-10.
316. Pinar S, Kaya F, Bicer B, Erzeybek MS, Cotuk HB. Different recovery methods and muscle performance after exhausting exercise: comparison of the effects of electrical muscle stimulation and massage. *Biol Sport.* 2012 Dec;29(4):269-75.
317. Craig JA, Cunningham MB, Walsh DM, Baxter GD, Allen JM. Lack of effect of transcutaneous electrical nerve stimulation upon experimentally induced delayed onset muscle soreness in humans. *Pain.* 1996 Oct;67(2-3):285-9.
318. Finberg M, Braham R, Goodman C, Gregory P, Peeling P. Effects of electrostimulation therapy on recovery from acute team-sport activity. *Int J Sports Physiol Perform.* 2013 May;8(3):293-9.

319. Sigel B, Edelstein AL, Savitch L. Type of compression for reducing venous stasis. *Arch Surg* 1975;110(171):175.
320. Argus CK, Driller MW, Ebert TR, Martin DT, Halson SL. The effects of 4 different recovery strategies on repeat sprint-cycling performance. *Int J Sports Physiol Perform*. 2013 Sep;8(5):542-8.
321. Bringard A, Denis R, Belluye N, Perrey S. Compression élastique externe et fonction musculaire chez l'homme. *Science & Sports*. 2007;22(3-13).
322. Millet G, Perrey S, Divert C, Foissac M. The role of engineering in fatigue reduction during human locomotion – a review. *Sports Eng*. 2006;19(4):209-20.
323. Miller JD, Pegelow DF, Jacques AJ, Dempsey JA. Skeletal muscle pump versus respiratory muscle pump: modulation of venous return from the locomotor limb in humans. *J Physiol*. 2005 Mar 15;563(Pt 3):925-43.
324. Carter R, 3rd, Watenpaugh DE, Wasmund WL, Wasmund SL, Smith ML. Muscle pump and central command during recovery from exercise in humans. *J Appl Physiol* (1985). 1999 Oct;87(4):1463-9.
325. Stewart JM, Medow MS, Montgomery LD, McLeod K. Decreased skeletal muscle pump activity in patients with postural tachycardia syndrome and low peripheral blood flow. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2004 Mar;286(3):H1216-22.
326. Marik PE, Monnet X, Teboul JL. Hemodynamic parameters to guide fluid therapy. *Ann Intensive Care*. 2011;1(1):1.
327. Keller G, Desebbe O, Benard M, Bouchet JB, Lehot JJ. Bedside assessment of passive leg raising effects on venous return. *J Clin Monit Comput*. 2011 Aug;25(4):257-63.
328. Rea H, McAuley S, Jayaram L, Garrett J, Hockey H, Storey L, et al. The clinical utility of long-term humidification therapy in chronic airway disease. *Respir Med*. 2010 Apr;104(4):525-33.
329. Hasani A, Chapman TH, McCool D, Smith RE, Dilworth JP, Agnew JE. Domiciliary humidification improves lung mucociliary clearance in patients with bronchiectasis. *Chron Respir Dis*. 2008;5(2):81-6.
330. Joyce D. Recovery From Fixture Congestion in Professional Football. In: Kinetics H, editor. *Recovery for performance in sports2013*. p. 200.
331. González Gross M. Implicaciones nutricionales del ejercicio. In: Chicharro J, Fernández Vaquero A, editors. *Fisiología del Ejercicio*. Madrid: Editorial Panamericana; 2006.
332. Jentjens R, Jeukendrup A. Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med*. 2003;33(2):117-44.
333. Price TB, Rothman DL, Taylor R, Avison MJ, Shulman GI, Shulman RG. Human muscle glycogen resynthesis after exercise: insulin-dependent and -independent phases. *J Appl Physiol* (1985). 1994 Jan;76(1):104-11.
334. Jeukendrup A. A step towards personalized sports nutrition: carbohydrate intake during exercise. *Sports Med*. 2014 May;44 Suppl 1:25-33.
335. van Loon LJ. Is there a need for protein ingestion during exercise? *Sports Med*. 2014 May;44 Suppl 1:105-11.
336. Phillips SM. A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Med*. 2014 May;44 Suppl 1:71-7.
337. Levenhagen DK, Gresham JD, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ, Flakoll PJ. Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2001 Jun;280(6):E982-93.
338. Tipton KD, Wolfe RR. Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2001 Mar;11(1):109-32.
339. Allison R, editor. *PostExercise Nutritional Strategies to Optimize Recovery from Exercise. Post-Exercise Recovery: Best Evidence - Future Strategy Conference; 2013; Aspetar, Doha - Qatar*.

340. Moreno IL, Pastre CM, Ferreira C, de Abreu LC, Valenti VE, Vanderlei LC. Effects of an isotonic beverage on autonomic regulation during and after exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2013;10(1):2.
341. Armstrong LE, Maresh CM, Gabaree CV, Hoffman JR, Kavouras SA, Kenefick RW, et al. Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake. *J Appl Physiol* (1985). 1997 Jun;82(6):2028-35.
342. Heneghan C, Howick J, O'Neill B, Gill PJ, Lasserson DS, Cohen D, et al. The evidence underpinning sports performance products: a systematic assessment. *BMJ Open.* 2012;2(4).
343. Halson SL. Sleep in elite athletes and nutritional interventions to enhance sleep. *Sports Med.* 2014 May;44 Suppl 1:13-23.
344. Reilly T, Edwards B. Altered sleep-wake cycles and physical performance in athletes. *Physiol Behav.* 2007 Feb 28;90(2-3):274-84.
345. Herrera C, editor. *Sleep Improvement in Athletes. Aspetar Seminar; 2014; Aspetar, Doha - Qatar.*
346. Shapiro CM, Bortz R, Mitchell D, Bartel P, Jooste P. Slow-wave sleep: a recovery period after exercise. *Science.* 1981 Dec 11;214(4526):1253-4.
347. Dijk DJ. Slow-wave sleep deficiency and enhancement: implications for insomnia and its management. *World J Biol Psychiatry.* 2010 Jun;11 Suppl 1:22-8.
348. Belenky G, Wesensten NJ, Thorne DR, Thomas ML, Sing HC, Redmond DP, et al. Patterns of performance degradation and restoration during sleep restriction and subsequent recovery: a sleep dose-response study. *J Sleep Res.* 2003 Mar;12(1):1-12.
349. Krueger JM, Majde JA, Rector DM. Cytokines in immune function and sleep regulation. *Handb Clin Neurol.* 2011;98:229-40.
350. Sinnerton S, Reilly TB, Bamisssi. Effects of sleep loss and time of day in swimmers. In: Maclaren D, Reilly T, Lees A, editors. *Biomechanics and medicine in swimming: swimming science IV.* London: Taylor & Francis; 1992 p. p. 399–405.
351. Alvero Cruz JR, Cabañas Armesilla MD, Herrero de Lucas Á, Martínez Riaza L, Moreno Pascual C, Porta Manzanido J, et al. Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de consenso del Grupo Español de Cineantropometría de la Federación Española de Medicina del Deporte. *Arch Med Deporte.* 2009. p. 166-79.
352. Lee RC, Wang Z, Heo M, Ross R, Janssen I, Heymsfield SB. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr.* 2000 Sep;72(3):796-803.
353. Jódar R. Revisión de artículos sobre la validez de la prueba de Course navette para determinar de manera indirecta el VO₂ max. . *Revintmedciencactfísdeporte.* 2003;3(11):173-81.
354. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol.* 2001 Jan;37(1):153-6.
355. Christou M, Smilios I, Sotiropoulos K, Volaklis K, Piliandis T, Tokmakidis SP. Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J Strength Cond Res.* 2006 Nov;20(4):783-91.
356. Hui SS, Yuen PY. Validity of the modified back-saver sit-and-reach test: a comparison with other protocols. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Sep;32(9):1655-9.
357. Minarro PA, Andujar PS, Garcia PL, Toro EO. A comparison of the spine posture among several sit-and-reach test protocols. *J Sci Med Sport.* 2007 Dec;10(6):456-62.
358. Brinnel H, Cabanac M. Tympanic temperature is a core temperature in humans. *J Therm Bio.* 1989;14:47-53.
359. Otani H, ishigaki T, Kaya M, Tsujita J, Hori S. Comparison of tympanic membrane temperatures measured by contact and concontact tympanic thermometers during prolonged exercise in the heat. *Environmental Ergonomics.* 2005;Elsevier Ltd.

360. Cohen J. Statistical power analysis for the behavioural sciences 2ed. Press. NYA, editor1988.
361. Monedero J, Donne B. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med.* 2000 Nov;21(8):593-7.
362. Daanen HA. Infrared tympanic temperature and ear canal morphology. *J Med Eng Technol.* 2006 Jul-Aug;30(4):224-34.
363. Baldari C, Videira M, Madeira F, Sergio J, Guidetti L. Lactate removal during active recovery related to the individual anaerobic and ventilatory thresholds in soccer players. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Oct;93(1-2):224-30.
364. Banfi G, Melegati G, Valentini P. Effects of cold-water immersion of legs after training session on serum creatine kinase concentrations in rugby players. *Br J Sports Med.* 2007 May;41(5):339.
365. Armstrong LE, Crago AE, Adams R, Roberts WO, Maresh CM. Whole-body cooling of hyperthermic runners: comparison of two field therapies. *Am J Emerg Med.* 1996 Jul;14(4):355-8.
366. Poynton M, Duffield R, Cannon J, Marino FE. Cold water immersion recovery following intermittent-sprint exercise in the heat. *Eur J Appl Physiol.* 2012 Jul;112(7):2483-94.
367. Sellwood KL, Brukner P, Williams D, Nicol A, Hinman R. Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* 2007 Jun;41(6):392-7.
368. Glasgow PD, Ferris R, Bleakley CM. Cold water immersion in the management of delayed-onset muscle soreness: is dose important? A randomised controlled trial. *Phys Ther Sport.* 2014 Nov;15(4):228-33.
369. Halson SL, Quod MJ, Martin DT, Gardner AS, Ebert TR, Laursen PB. Physiological responses to cold water immersion following cycling in the heat. *Int J Sports Physiol Perform.* 2008 Sep;3(3):331-46.
370. Rowsell GJ, Coutts AJ, Reaburn P, Hill-Haas S. Effects of cold-water immersion on physical performance between successive matches in high-performance junior male soccer players. *J Sports Sci.* 2009 Apr;27(6):565-73.
371. Silva ASR, Papatib m, Santhiagob v, Pauli JR, Gobattob CA. Serum and plasma hormonal concentrations are sensitive to periods of intensity and volume of soccer training. *Science and Sports.* 2011;26:278-85.
372. Adlercreutz H, Harkonen M, Kuoppasalmi K, Naveri H, Huhtaniemi I, Tikkanen H, et al. Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *Int J Sports Med.* 1986 Jun;7 Suppl 1:27-8.
373. Handziski Z, Maleska V, Petrovska S, Nikolik S, Mickoska E, Dalip M, et al. The changes of ACTH, cortisol, testosterone and testosterone/cortisol ratio in professional soccer players during a competition half-season. *Bratisl Lek Listy.* 2006;107(6-7):259-63.
374. Dawson B, Cow S, Modra S, Bishop D, Stewart G. Effects of immediate post-game recovery procedures on muscle soreness, power and flexibility levels over the next 48 hours. *J Sci Med Sport.* 2005 Jun;8(2):210-21.
375. Atkins SJ. Performance of the Yo-Yo Intermittent Recovery Test by elite professional and semiprofessional rugby league players. *J Strength Cond Res.* 2006 Feb;20(1):222-5.
376. Lorenz DS, Reiman MP, Lehecka BJ, Naylor A. What performance characteristics determine elite versus nonelite athletes in the same sport? *Sports Health.* 2013 Nov;5(6):542-7.
377. Drago JL, Braun HJ, Durham JL, Chen MR, Harris AH. Incidence and risk factors for injuries to the anterior cruciate ligament in National Collegiate Athletic Association football: data from the 2004-2005 through 2008-2009 National Collegiate Athletic Association Injury Surveillance System. *Am J Sports Med.* 2012 May;40(5):990-5.
378. Mallo J, Gonzalez P, Veiga S, Navarro E. Injury incidence in a spanish sub-elite professional football team: a prospective study during four consecutive seasons. *J Sports Sci Med.* 2011;10(4):731-6.

379. Rein S, Fabian T, Zwipp H, Rammelt S, Weindel S. Postural control and functional ankle stability in professional and amateur dancers. *Clin Neurophysiol*. 2011 Aug;122(8):1602-10.
380. Rampinini E, Sassi A, Morelli A, Mazzoni S, Fanchini M, Coutts AJ. Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2009 Dec;34(6):1048-54.
381. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med*. 2001 Jan;22(1):45-51.
382. Caldwell BP, Peters DM. Seasonal variation in physiological fitness of a semiprofessional soccer team. *J Strength Cond Res*. 2009 Aug;23(5):1370-7.

10.1. Producción científica

10.1.1. Revistas indexadas en JCR

- García-Concepción, M.A.; Peinado, A.B.; Paredes Hernández, V. y Alvero-Cruz, J.R. Eficacia de diferentes estrategias de recuperación en jugadores de fútbol de élite. pp. 355-369. Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte - vol. 15 - número 58 - ISSN: 1577-0354. (Publicado).

- Miguel Ángel García-Concepción, José Ramón Alvero-Cruz and Ana Belén Peinado Lozano. The effects of combined recovery strategies on soccer players after specific training during the season. Physical Therapy in Sports - ISSN: 1466-853X. (Sometido).

10.1.2. Revistas indexadas SCOPUS

- La crioterapia como medio de recuperación tras el ejercicio. M.A. García-Concepción, A.B. Peinado, y J.R. Alvero-Cruz. Revista Andaluza de Medicina del Deporte. ISSN: 1888-7546. (Sometido).

