

**Efectos del entrenamiento concurrente,
polarizado y tradicional, sobre la
condición física saludable**

Autor:

Adrián Varela Sanz

Tesis Doctoral

2014

Directores:

José Luis Tuimil López

Daniel Alexandre Boullosa Álvarez

Manuel Avelino Giráldez García

Departamento de Educación Física e Deportiva



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



Efectos del entrenamiento concurrente, polarizado y tradicional, sobre la condición física saludable

Memoria presentada por el
Lic. Adrián Varela Sanz
para optar al grado de
Doctor en Deporte, Educación Física y Ocio Saludable
A Coruña 2014

D. MANUEL A. GIRÁLDEZ GARCÍA, Doctor en Medicina y Cirugía, D. JOSÉ LUIS TUIMIL LÓPEZ, Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, ambos profesores titulares del Departamento de Educación Física y Deportiva de la Universidad de A Coruña, y D. DANIEL A. BOULLOSA ÁLVAREZ, Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte y profesor de la Universidad Católica de Brasilia.

HACEN CONSTAR:

Que el Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte D. ADRIÁN VARELA SANZ, ha realizado bajo su dirección el trabajo titulado “EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO CONCURRENTES, POLARIZADO Y TRADICIONAL, SOBRE LA CONDICIÓN FÍSICA SALUDABLE”, el cual reúne todas las condiciones para ser defendido y optar al grado de Doctor en Deporte, Educación Física y Ocio Saludable.

Y para que así conste, lo firman en A Coruña, a 26 de mayo de dos mil catorce.

Fdo. Dr. Manuel A. Giráldez García Fdo. Dr. José Luis Tuimil López Fdo. Dr. Daniel A. Boullosa Álvarez

AGRADECIMIENTOS

A las personas que me han dado todo en la vida, mis padres.

A Sara, por completarme al 100%.

A mi familia, por todo su cariño y apoyo.

A mis amigos y amigas, por quererme y aceptarme sin condiciones.

“Cualesquiera que hayan sido nuestros logros, alguien nos ayudó siempre a alcanzarlos”.

Althea Gibson (1927-2003), tenista estadounidense.

Son muchas las cosas que me gustaría escribir en este apartado. Casi tantas como la extensión total de esta Tesis Doctoral. De hecho, no podría agradecer con palabras todo el apoyo que he recibido por parte de diferentes personas. Intentaré nombrarlas a todas ellas aunque, ya de antemano, pido disculpas por si me olvido de alguien.

Hacer una Tesis Doctoral es una aventura. Es como una carrera. Los que estamos metidos en el mundo atlético sabemos lo que ello implica. En primer lugar, hay que tomar la decisión de querer correr y competir, mentalizarse, motivarse e ilusionarse con ello, como con todo gran proyecto. El segundo paso es la planificación y periodización del entrenamiento; es decir, la programación de lo que vamos a hacer para poder llegar en las mejores condiciones posibles a la gran cita. Pero este camino es, a veces, difícil y tortuoso, incluso más que la propia competición. A menudo estamos cansados, no nos apetece salir a entrenar, pero nos sobreponemos porque sabemos que el objetivo final merece, con creces, la pena. Se dice que la competición es para disfrutar, ya que para eso se ha entrenado con perseverancia, sacrificio y poniendo empeño en todo el proceso, no sin renunciar a ciertos aspectos de la vida social y personal. En el argot estudiantil digamos que, si se ha estudiado apropiadamente, el examen ha de ser un instrumento para mostrar todos los conocimientos adquiridos y al cual hemos de acudir con seguridad y autoconfianza. Pero todos sabemos que esto no es así... Cuando te calzas las zapatillas el día de la competición, al igual que los días previos, te invade una sensación de nerviosismo y te asaltan algunas dudas. Sin embargo, cuando comienzas el calentamiento, todo parece ir mejor. Y cuando comienzas a correr los primeros kilómetros, te empiezas a soltar y a encontrar cómodo: empiezas a disfrutar.

Pues bien, espero que el día de lectura de mi Tesis Doctoral ante el Tribunal se asemeje a una carrera y que, con el transcurso de los kilómetros, sea capaz de llegar a la línea de meta victorioso y, si es posible, batiendo mi marca personal.

Detrás de todo gran proyecto, siempre hay un gran equipo y, aunque el mérito se le atribuye a veces individualmente al deportista, no debe obviarse la gran importancia de las personas que hacen posible el logro de los éxitos: el entrenador, el médico, el fisioterapeuta, el psicólogo, el *manager*... Yo he tenido la gran suerte y el gran privilegio de rodearme de un equipo de lujo que me ha ayudado a conseguir el objetivo y, lo más importante, a aprender en el proceso y a madurar, tanto profesional como personalmente.

En primer lugar, todo el mérito de esta Tesis Doctoral he de atribuírselo a mis directores de Tesis, los Doctores Pepe Tuimil, Dani Boullosa y Manuel Giráldez. Ellos han sido mis guías; han sido mi Torre de Hércules, mi rincón favorito en mi querida ciudad que me vio nacer y crecer, guiándome en los días de temporal y permitiéndome llegar siempre a buen puerto.

Pepe Tuimil ha sido muchas cosas a lo largo de mi vida, desde que yo ingresé en el INEF Galicia cuando tenía 18 años. A día de hoy, sin duda, puedo decir que se ha convertido en un gran amigo y en una de las personas por las que más admiración y respeto siento. Jamás podré agradecerte todo lo que has hecho por mí, sin condiciones, sin reservas, siempre buscando lo mejor para mí, para mi bienestar. No puedo expresar con palabras todo lo que eso ha significado a lo largo de mi vida y todo lo que he aprendido en el camino. Gracias por todas esas conversaciones en el despacho sobre entrenamientos, atletismo y, en definitiva, sobre la vida. Gracias por ser un referente para mí, por mostrarme siempre las oportunidades que ofrece la vida profesional y por empujarme a agarrarlas con fuerza. ¡Gracias!

Dani Boullosa es una gran persona. Recuerdo que cuando lo conocí yo debía ser alumno de 2º curso. Acudió a una de las clases de Pepe Tuimil, por aquel entonces su director de Tesis, a darnos una clase de atletismo. Cuando empezó a hablar y a explicar los conceptos pensé que estaba ante alguien que posee un don. Años más tarde, tuve la oportunidad de participar con él en una investigación que desarrollamos en esta Facultad y fue en ese momento cuando me di cuenta de que estaba ante lo que sería, sin lugar a duda, una eminencia en la investigación en nuestro ámbito. A ti Dani te tengo que agradecer muchas cosas pero, sobre todo, te agradezco que me hayas impulsado y metido de lleno en el mundo de la investigación. Previamente, había tenido experiencias en investigación muy enriquecedoras en la Universidad Europea de Madrid, con mi director de proyecto de fin de Master el Doctor Jonathan Esteve Lanao, que ha sido otra de las personas que me ha marcado en mi vida profesional. Sin embargo, tú, Dani, fuiste el que me introdujo en el complicado y a la vez apasionante mundo de la publicación científica que, hasta entonces, era desconocido para mí. Tengo que darte las gracias porque me has dado unos ingredientes de primera calidad y unas recetas excelentes, pero no me has preparado los platos. Has sabido exprimirme como nadie, sacando la mejor versión de mí, haciéndome estudiar, descubrir y, en definitiva, investigar, pero

siempre con un equilibrio que jamás llegó a sobrepasarme. Sabes controlar eso a la perfección. Sabes qué hacer en cada momento y cómo hacerlo. Siempre tienes la respuesta que busco. Gracias por todas esas largas charlas por videoconferencia y por los buenos momentos que hemos compartido juntos. Te has convertido en una persona muy importante para mí y, sin duda, eres la persona que mayor proyección y perspectiva me ha dado.

Manuel Giráldez es una de esas personas que saben elegir las palabras y utilizarlas en el momento adecuado. Es una persona muy equilibrada, profesional, cumplidora y que transmite tranquilidad. Una de las mejores cosas que me has enseñado, y por la cual estaré eternamente agradecido, es a simplificar las cosas. Tienes un don a la hora de convertir lo complejo en sencillo y lo incomprensible en asequible. Admiro mucho tu perspectiva de las cosas, tu visión global y multidisciplinar pero, ante todo, admiro tu profesionalidad y las ganas que tienes de superarte día a día y de seguir aprendiendo. Transmites seguridad y tranquilidad y eso es vital a la hora de desarrollar una Tesis Doctoral. Muchas gracias por todas nuestras interesantes conversaciones en el despacho, siempre fructíferas y aclaratorias. He aprendido mucho de ti y eso me lo llevo conmigo. Si soy capaz de aplicarme y trabajar como tú lo haces, no tengo dudas de que seré un buen profesional.

Por otra parte, quisiera dar las gracias de manera especial a Lauri Abreu, por su constante apoyo y dedicación. A pesar de no ser una co-directora oficial de mi Tesis ha actuado como tal. Muchas gracias Lauri por todas las horas que me has dedicado y por tener tanta paciencia conmigo y ayudarme a resolver las dudas estadísticas. Espero que pronto tengamos la oportunidad de conocernos en persona.

Además de mis directores de Tesis, que han sido claves en la consecución de este gran proyecto, mi base y mis pilares en la vida son mi familia y mis amigos. Ellos están por encima de cualquier otra cosa. Mis padres me lo han dado todo en la vida. Estoy agradecido desde el primer día que llegué a este mundo. Han sido un ejemplo de honradez, humildad, bondad y honestidad. En mi casa jamás hubo secretos y siempre hablamos sin tapujos y decidimos entre todos. Gracias papá por ayudarme a conseguir mis sueños, por compartirlos conmigo y por ilusionarte con mis proyectos personales y profesionales tanto como si fueran tuyos. Gracias por quererme y por mostrarme tu apoyo incondicional en todo. Tus consejos y tus palabras siempre son oro. No tengo

palabras para expresar cuanto te quiero. Sólo puedo decir ¡gracias papá! Mamá, tú has sido y eres la madre que cualquier hijo querría tener. Me lo has dado todo desde el primer momento, sin pedir jamás nada a cambio. Me has dado siempre tu cariño y me has ayudado en todos los días de mi vida. Eres un ejemplo de vitalidad, de carácter y, ante todo, de bondad. Estoy muy orgulloso de ti y de parecerme a ti. Espero que tú también estés orgullosa de mí. Me faltan las palabras para expresar cuánto te quiero. ¡Un millón de gracias por ser mi mamá!

Gracias a mis padrinos, por ser mis segundos padres, y a mis tíos, por estar siempre ahí.

Gracias a Juan “El Maestro” porque un buen día, cuando yo tenía 13 años, me llevó a correr con él y, desde entonces, no he dejado de hacerlo. Probablemente gracias a ti me decidí a estudiar algo relacionado con el deporte.

Mis abuelos me han criado, en parte, desde que era un niño. Ellos me han mostrado el valor de la vida, la ilusión y me han enseñado a creer que, con esfuerzo y sacrificio, se puede vivir una vida plena y feliz. Sólo hay que estar dispuesto a conseguirlo y, lo más importante, poder compartirlo con alguien a quien quieres y que siempre estará a tu lado. ¡Muchísimas gracias abuelos!

Y llegados a este punto, esa persona que he elegido, o más bien que nos hemos elegido mutuamente para compartir nuestras vidas, es Sara. Tú lo eres todo. Tú me completas al 100% y eres la única persona que es capaz de sacar partes de mí que yo mismo desconocía; pero ese soy yo de verdad. Contigo me siento yo plenamente, sin complejos, sin reservas. Muchas gracias por todo tu apoyo incondicional, por tu cariño, por quererme y aguantarme y por respetarme y aceptarme con mis virtudes y mis defectos. Gracias por hacerme una mejor persona y por abrir mi mente y mostrarme el mundo. Eres de lo mejor que me ha pasado en la vida. ¡Te quiero!

Obviamente, mis amigos y amigas han desempeñado un papel fundamental en mi vida y me han influido en todos los aspectos. Gracias Pablo, Noel, Tres, Diego, Marta, Noe, Guillaume, Luisis, Oki y Nuria por quererme y aceptarme tal y como soy a cambio de nada. Gracias por respetar mis principios, que no siempre es fácil, y por apoyarme en todo momento.

Pero esta Tesis Doctoral jamás se podría haber llevado a cabo si no llega a ser por los participantes y colaboradores en la investigación. ¡Muchísimas gracias a todos y a todas! Gracias por vuestra implicación, por vuestro compromiso y por haber formado un grupo tan bonito. Espero que hayáis podido aprender un poquito de mí, aunque seguro que no tanto como yo de vosotros. Realmente, sois las estrellas de este trabajo. Querría dar las gracias, de forma especial, a dos colaboradoras que siempre han estado a mi lado cuando más las necesitaba. Gracias a mi compañera de Tesis, Tania Sánchez, porque sin ella no sería capaz de llevar a cabo todas las evaluaciones. Gracias a mi atleta, Andrea Montero, por ser siempre tan positiva y alegre y estar dispuesta a ayudar y a aprender en todo momento. Gracias por todos esos entrenos en la pista y por las emocionantes competiciones, así como por permitirme ser tu entrenador. Es un placer y un privilegio. Gracias a Manu Mosqueira, mi compañero de batallas en otras investigaciones, por estar siempre dispuesto a ayudar y por comprender perfectamente lo que conlleva realizar una Tesis Doctoral.

También quiero dar las gracias a Merchy y Montse, por haberse ofrecido a realizar las extracciones sanguíneas, a Carlos de la clínica OXEO, por ayudarme a gestionar los productos de laboratorio, y a nuestros colaboradores del INIBIC Manuel Hermida, Lucía Núñez y Natalia Suárez, por haber realizado el exhaustivo análisis de las muestras sanguíneas.

Gracias a Begano S.L. por habernos suministrado bebidas durante el desarrollo de la investigación.

Gracias a la Universidade da Coruña y, concretamente, al Departamento de Educación Física e Deportiva, por darme siempre facilidades para desarrollar este proyecto. Gracias a todos los profesores y profesoras que me habéis ayudado, aconsejado y formado a lo largo de todos estos años. Gracias a los conserjes, al personal de mantenimiento, de biblioteca... Gracias a todos y perdón si me olvido de mencionar a alguien.

“El éxito debe medirse, no por la posición a la que una persona ha llegado, sino por su esfuerzo por triunfar.”

Booker Taliaferro Washington (1856-1915), educador y orador estadounidense.

RESUMEN

Desde el origen de la humanidad, la actividad física (AF) ha sido un requisito para asegurar la supervivencia y el desarrollo filogenético de la especie humana. El patrón de AF paleolítico venía caracterizado por el desarrollo concurrente de varias capacidades siguiendo un patrón polarizado. A pesar de la evolución humana, nuestro genoma apenas ha evolucionado en los últimos 40.000 años, dejándonos genéticamente adaptados para realizar una gran cantidad de AF diaria.

Los bajos niveles de realización de AF en las sociedades modernas contrastan con los elevados niveles desarrollados por nuestros ancestros, produciendo un desequilibrio entre los patrones de AF actuales y nuestro diseño genético e incrementando la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles y de sus factores de riesgo asociados.

A pesar de que los organismos internacionales como el ACSM o la OMS han intentado paliar esta situación mediante el fomento de AF saludable, sus recomendaciones parecen no coincidir con el patrón de AF realizado por nuestros ancestros durante el Paleolítico y para el cual seguimos genéticamente dotados.

Se hace, por tanto, necesario estudiar y comparar la efectividad sobre la condición física saludable del entrenamiento tradicionalmente recomendado por los organismos internacionales y el entrenamiento concurrente polarizado.

Palabras clave: Filogénesis, actividad física, sedentarismo, entrenamiento concurrente polarizado, entrenamiento concurrente tradicional, salud.

RESUMO

Dende a orixe da humanidade, a actividade física (AF) foi un requirimento para asegura-la supervivencia e o desenvolvemento filoxenético da especie humana. O patrón de AF paleolítico viña caracterizado polo desenvolvemento concorrente de varias capacidades seguindo un patrón polarizado. A pesar da evolución humana, o noso xenoma apenas evolucionou nos últimos 40.000 anos, deixándonos xenéticamente adaptados para realizar unha gran cantidade de AF diaria.

Os baixo niveis de realización de AF nas sociedades modernas contrastan cos elevados niveis desenvolvidos polos nosos antecesoros, producindo un desequilibrio entre os patróns de AF actuais e o noso deseño xenético e incrementando a prevalencia de enfermidades crónicas non transmisibles e dos seus factores de risco asociados.

A pesar de que os organismos internacionais como o ACSM ou a OMS intentaron paliar esta situación a través do fomento de AF saudable, as súas recomendacións parecen non coincidir co patrón de AF realizado polos nosos antecesoros durante o Paleolítico e para o cal seguimos xenéticamente dotados.

Faise, polo tanto, necesario estudar e compara-la efectividade sobre a condición física saudable do adestramento tradicionalmente recomendado polos organismos internacionais e o adestramento concorrente polarizado.

Palabras chave: Filoxénese, actividade física, sedentarismo, adestramento concorrente polarizado, adestramento concorrente tradicional, saúde.

ABSTRACT

Since the origin of humanity, physical activity (PA) has been a requirement for survival and phylogenetic development of humankind. The Paleolithic PA pattern was characterized by concurrent development of various physical capacities in a polarized fashion. Despite human evolution, our genome remains unchanged in the last 40,000 years, leaving humans genetically adapted to perform a great quantity of diary PA.

The low PA levels developed in modern countries face off with the higher PA levels performed by our ancestors, causing an imbalance between the current PA patterns and our genetic endowment. This situation increases the prevalence of non-transmissible chronic diseases and their associated risk factors.

Even though international institutions like ACSM or WHO have tried to manage this situation through the PA recommendations for improving health, these guidelines do not seem to fit with the Paleolithic PA pattern.

Therefore, it would be necessary to study and compare the effectiveness of an international institutions recommendations-based training and a concurrent polarized training on health-related fitness.

Key words: Phylogenesis, physical activity, sedentary lifestyle, concurrent polarized training, concurrent traditional training, health.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	30
2. LA ACTIVIDAD FÍSICA SALUDABLE Y EL ENTRENAMIENTO CONCURRENTES DE RESISTENCIA Y FUERZA CON DIFERENTE DISTRIBUCIÓN DE LAS CARGAS DE ENTRENAMIENTO: ESTADO DEL ARTE	37
2.1. CONCEPTOS INTRODUCTORIOS.....	38
2.1.1. Resumen del apartado	41
2.2. EL SEDENTARISMO Y LAS ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRANSMISIBLES.....	42
2.2.1. La conducta sedentaria.....	42
2.2.2. Las enfermedades crónicas no transmisibles y sus factores de riesgo asociados	44
2.2.2.1. <i>Las enfermedades crónicas no transmisibles propias del S. XXI</i>	<i>44</i>
2.2.2.2. <i>Los factores de riesgo asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles</i>	<i>46</i>
<u>2.2.2.2.1. <i>Valores disminuidos del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}).....</i></u>	<u>46</u>
<u>2.2.2.2.2. <i>Los biomarcadores del sistema inmunológico para la determinación del estado inflamatorio.....</i></u>	<u>47</u>
<u>2.2.2.2.3. <i>La variabilidad de la frecuencia cardíaca</i></u>	<u>53</u>
<u>2.2.2.2.4. <i>La presión arterial.....</i></u>	<u>56</u>

2.2.2.2.5. <i>El peso, la composición corporal y el perímetro de cintura</i>	58
2.2.3. Resumen del apartado	59
2.3. LA ACTIVIDAD FÍSICA Y LA SALUD	60
2.3.1. Recomendaciones internacionales para la realización de actividad física	60
2.3.2. Los modelos de actividad física para el mantenimiento y mejora de la salud basados en la Prehistoria: La herencia genética	63
2.3.3. La relación dosis-respuesta del entrenamiento físico	69
2.3.4. Los efectos de la AF sobre la aptitud física relacionada con la salud, las enfermedades crónicas no transmisibles y sus factores de riesgo asociados	72
2.3.4.1. <i>El volumen de la AF</i>	72
2.3.4.2. <i>La intensidad de la AF</i>	75
2.3.4.2.1. <i>La cuantificación de la intensidad de la AF</i>	82
2.3.4.3. <i>El tipo o modalidad de AF</i>	86
2.3.5. Resumen del apartado	87
2.4. EL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO Y LA SALUD	88
2.4.1. La periodización del entrenamiento deportivo	88
2.4.1.1. <i>Concepto de planificación o periodización del entrenamiento deportivo</i>	88
2.4.1.2. <i>Breve contextualización histórica y evolución de la planificación del entrenamiento deportivo</i>	88

2.4.1.3. <i>Planificación del entrenamiento deportivo vs. no planificación</i>	89
2.4.2. El entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza	90
2.4.2.1. <i>La resistencia</i>	90
<u>2.4.2.1.1. Concepto de resistencia</u>	<u>90</u>
<u>2.4.2.1.2. Métodos de evaluación de la resistencia</u>	<u>91</u>
2.4.2.2. <i>La fuerza</i>	93
<u>2.4.2.2.1. Concepto de fuerza</u>	<u>93</u>
<u>2.4.2.2.2. Métodos de evaluación de la fuerza</u>	<u>94</u>
2.4.2.2.2.1. <i>El salto vertical con contramovimiento</i>	96
2.4.2.3. <i>El entrenamiento concurrente</i>	97
<u>2.4.2.3.1. Efectos del entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza sobre la aptitud física relacionada con el rendimiento</u>	<u>98</u>
<u>2.4.2.3.2. Efectos del entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza sobre los factores de riesgo asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles</u>	<u>99</u>
2.4.3. Resumen de los apartados 2.4.1. y 2.4.2.	102
2.4.4. Las zonas de intensidad del ejercicio	103
2.4.5. Modelos de distribución de la intensidad de las cargas de entrenamiento	105
2.4.5.1. <i>La distribución clásica de las cargas de entrenamiento</i>	107
<u>2.4.5.1.1. Efectos de la distribución clásica de las cargas de entrenamiento sobre la aptitud física relacionada con el rendimiento</u>	<u>107</u>

<u>2.4.5.1.2. Efectos de la distribución clásica de las cargas de entrenamiento sobre los factores de riesgo asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles</u>	<u>108</u>
2.4.5.2. <i>La distribución polarizada de las cargas de entrenamiento</i>	<i>111</i>
<u>2.4.5.2.1. Efectos de la distribución polarizada de las cargas de entrenamiento sobre la aptitud física relacionada con el rendimiento.....</u>	<u>111</u>
<u>2.4.5.2.2. Efectos de la distribución polarizada de las cargas de entrenamiento sobre los factores de riesgo asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles</u>	<u>114</u>
2.4.6. Resumen de los apartados 2.4.4. y 2.4.5.....	116
3. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LOS EFECTOS Y COMPARACIÓN DEL ENTRENAMIENTO CONCURRENTE POLARIZADO Y TRADICIONAL SOBRE LA APTITUD FÍSICA, EL SISTEMA INMUNE Y LAS VARIABLES PERCEPTIVAS DEL ESFUERZO EN INDIVIDUOS JÓVENES, SANOS Y MODERADAMENTE ACTIVOS	117
3.1. JUSTIFICACIÓN	118
3.2. HIPÓTESIS	120
3.3. OBJETIVOS	121
3.3.1. Objetivo general	121
3.3.1.1. <i>Objetivo específico 1</i>	<i>121</i>
3.3.1.2. <i>Objetivo específico 2</i>	<i>121</i>

3.3.1.3. <i>Objetivo específico 3</i>	121
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS	122
3.4.1. Aproximación experimental al problema	122
3.4.2. Participantes	123
3.4.3. Protección de los datos	124
3.4.4. Materiales	125
3.4.5. Variables de estudio	128
3.4.6. Diseño experimental	132
3.4.7. Reunión informativa e informe de consentimiento .	132
3.4.8. Asignación de los grupos y planificación de horarios	135
3.4.9. Período de familiarización	136
3.4.10. Evaluaciones preintervención	141
3.4.10.1. <i>Día 1</i>	141
<u>3.4.10.1.1. Evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca</u>	<u>141</u>
<u>3.4.10.1.2. Determinación de la presión arterial sistólica y diastólica en reposo</u>	<u>143</u>
<u>3.4.10.1.3. Evaluación de los biomarcadores del sistema inmunológico</u>	<u>143</u>
<u>3.4.10.1.4. Determinación de las variables antropométricas</u> ...	<u>144</u>
3.4.10.1.4.1. <i>Peso, estatura e índice de masa corporal</i>	144
3.4.10.1.4.2. <i>Perímetro de cintura</i>	145
3.4.10.1.4.3. <i>Pliegues cutáneos</i>	145
3.4.10.2. <i>Día 2</i>	146

<u>3.4.10.2.1. Evaluación de la capacidad de salto vertical</u>	<u>146</u>
<u>3.4.10.2.2. Estimación de 1 repetición máxima en press banca y media sentadilla</u>	<u>148</u>
3.4.10.3. <i>Día 3.....</i>	150
<u>3.4.10.3.1. Determinación de la velocidad aeróbica máxima y de la frecuencia cardíaca máxima y estimación del consumo máximo de oxígeno</u>	<u>150</u>
3.4.11. Período de entrenamiento.....	154
3.4.11.1. <i>Programa de entrenamiento del grupo EPOL</i>	155
3.4.11.2. <i>Programa de entrenamiento del grupo ETRAD ...</i>	161
3.4.11.3. <i>Grupo CON.....</i>	163
3.4.12. Equiparación de la carga externa entre los grupos EPOL y ETRAD	165
3.4.12.1. <i>Equiparación de la carga externa en el entrenamiento de resistencia entre los grupos EPOL y ETRAD</i>	165
3.4.12.2. <i>Equiparación de la carga externa en el entrenamiento de fuerza entre los grupos EPOL y ETRAD</i>	166
3.4.13. Cuantificación de la carga interna.....	167
3.4.14. Evaluaciones postintervención	167
3.4.15. Análisis estadístico y tratamiento de los datos	170
3.5. RESULTADOS.....	172
3.5.1. Pruebas de normalidad	172
3.5.2. Pruebas de homogeneidad de varianzas.....	172

3.5.3. Pruebas de homogeneidad entre grupos en la preevaluación	173
3.5.4. Resultados del objetivo general	174
3.5.4.1. <i>Resultados del objetivo específico 1.....</i>	174
<u>3.5.4.1.1. Efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables de aptitud física cardiorrespiratoria.....</u>	<u>174</u>
3.5.4.1.1.1. <i>Efectos de los programas de entrenamiento sobre el rendimiento en la carrera</i>	174
3.5.4.1.1.2. <i>Efectos de los programas de entrenamiento sobre la VFC</i>	178
3.5.4.1.1.3. <i>Efectos de los programas de entrenamiento sobre la PA.....</i>	183
<u>3.5.4.1.2. Efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables de aptitud física neuromuscular</u>	<u>184</u>
3.5.4.1.2.1. <i>Efectos de los programas de entrenamiento sobre 1 repetición máxima estimada en press banca y media sentadilla</i>	184
3.5.4.1.2.2. <i>Efectos de los programas de entrenamiento sobre la capacidad de salto vertical.....</i>	186
<u>3.5.4.1.3. Efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables antropométricas</u>	<u>189</u>
3.5.4.2. <i>Resultados del objetivo específico 2.....</i>	191
<u>3.5.4.2.1. Efectos de los programas de entrenamiento sobre el perfil pro y antiinflamatorio y sobre las subpoblaciones linfocitarias</u>	<u>191</u>
3.5.4.3. <i>Resultados del objetivo específico 3.....</i>	195

<u>3.5.4.3.1. Efectos de los programas de entrenamiento sobre la percepción subjetiva del esfuerzo, las sensaciones y la carga interna a lo largo del período de intervención</u>	<u>195</u>
3.6. DISCUSIÓN.....	197
3.6.1. Discusión de la metodología	197
3.6.1.1. <i>Muestra</i>	197
3.6.1.2. <i>Asignación de los grupos y planificación de horarios</i>	198
3.6.1.3. <i>Período de familiarización</i>	198
3.6.1.4. <i>Pruebas de evaluación</i>	199
<u>3.6.1.4.1. Variabilidad de la frecuencia cardiaca</u>	<u>200</u>
<u>3.6.1.4.2. Presión arterial</u>	<u>201</u>
<u>3.6.1.4.3. Biomarcadores del sistema inmunológico.....</u>	<u>201</u>
<u>3.6.1.4.4. Variables antropométricas.....</u>	<u>201</u>
<u>3.6.1.4.5. Capacidad de salto vertical</u>	<u>202</u>
<u>3.6.1.4.6. Estimación de 1 repetición máxima en <i>press banca</i> y <i>media sentadilla</i></u>	<u>203</u>
<u>3.6.1.4.7. Determinación de la velocidad aeróbica máxima.....</u>	<u>203</u>
3.6.1.5. <i>Programas de entrenamiento durante el período de intervención.....</i>	205
3.6.1.6. <i>Equiparación de la carga externa de entrenamiento entre los grupos EPOL y ETRAD</i>	209
3.6.1.7. <i>Cuantificación de la carga interna del entrenamiento</i>	210
3.6.2. Discusión de los resultados	211

3.6.2.1. <i>De los efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables de aptitud física cardiorrespiratoria</i>	211
<u>3.6.2.1.1. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre el rendimiento en la carrera.....</u>	<u>211</u>
<u>3.6.2.1.2. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la VFC</u>	<u>215</u>
<u>3.6.2.1.3. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la PA.....</u>	<u>219</u>
3.6.2.2. <i>De los efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables de aptitud física neuromuscular</i>	221
<u>3.6.2.2.1. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre 1 repetición máxima estimada en <i>press banca</i> y media sentadilla</u>	<u>221</u>
<u>3.6.2.2.2. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la capacidad de salto vertical</u>	<u>224</u>
3.6.2.3. <i>De los efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables antropométricas</i>	227
3.6.2.4. <i>De los efectos de los programas de entrenamiento sobre los marcadores del sistema inmune</i>	229
3.6.2.5. <i>De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la percepción del esfuerzo y las sensaciones.....</i>	238
<u>3.6.2.5.1. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la percepción del esfuerzo, las sensaciones y la carga interna a lo largo del período de intervención</u>	<u>238</u>
3.7. CONCLUSIONES.....	241
4. APLICACIONES PRÁCTICAS	243

5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	245
6. BIBLIOGRAFÍA	247
7. ANEXOS	276
7.1. ANEXO I.....	277
7.2. ANEXO II.....	278
7.3. ANEXO III.....	279

ABREVIATURAS

ACSM: Colegio Americano de Medicina del Deporte, del inglés *American College of Sports Medicine*

AF: actividad física

AHA: Asociación Americana del Corazón, del inglés *American Heart Association*

Cdg: centro de gravedad

CEA: ciclo de estiramiento-acortamiento

cm: centímetro

CMJ: salto con contramovimiento, del inglés *countermovement jump*

dL: decilitro

ECG: electrocardiograma

ECNT: enfermedades crónicas no transmisibles

FC: frecuencia cardiaca

FC_{max}: frecuencia cardiaca máxima

FC_R: frecuencia cardiaca de reserva

FS: Escala de Sensaciones, del inglés *Feeling Scale*

h: hora

HF: alta frecuencia, del inglés *high frequency*

Hg: mercurio

HTA: hipertensión arterial

Hz: hercio

IFN- γ : interferón gamma

IL: interleucina

kg: kilogramo

kg/m²: kilogramo por metro cuadrado

km: kilómetro

L: litro

LF: baja frecuencia, del inglés *low frequency*

LF/HF: proporción de baja frecuencia/alta frecuencia, del inglés *low/high frequency ratio*

LT₁: primer umbral láctico, del inglés *first lactate threshold*

LT₂: segundo umbral láctico, del inglés *second lactate threshold*

m: metro

MET: equivalente ventilatorio, del inglés *metabolic equivalent task*

min: minuto

mL: mililitro

MLSS: máximo estado estable del lactato, del inglés *maximal lactate steady state*

mm: milímetro

ms: milisegundo

N: newton

ng: nanogramo

NK: células asesinas naturales, del inglés *natural killer cells*

N-N: intervalos normales, del inglés *normal to normal intervals*

n.s.: estadísticamente no significativo

OMS: Organización Mundial de la Salud

PA: presión arterial

PAD: presión arterial diastólica

PAS: presión arterial sistólica

PCR: proteína C reactiva

ppm: pulsaciones por minuto

RCT: umbral de compensación respiratoria, del inglés *respiratory compensation threshold*

RHF: repeticiones hasta el fallo muscular

RM: repetición máxima

RMSSD: raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las diferencias de intervalos normales adyacentes, del inglés *square root of the mean squared differences of successive normal to normal intervals*

RPE: ratios de percepción subjetiva del esfuerzo, del inglés *ratios of perceived exertion*

R-R: intervalos entre ondas R sucesivas

s: segundo

SDNN: desviación típica del intervalo normal, del inglés *standard deviation of the normal to normal interval*

SNA: sistema nervioso autónomo

SNP: sistema nervioso parasimpático

SNS: sistema nervioso simpático

Th: linfocitos T colaboradores o cooperadores, del inglés *T-helper cells*

Tlim: tiempo límite

TNF- α : factor de necrosis tumoral alfa, del inglés *tumoral necrosis factor alpha*

TNRE: termogénesis derivada de la actividad física no relacionada con el ejercicio voluntario

TRIMP: del inglés *training impulse*

tUMTT: tiempo final en el UMTT

Ua: umbral aeróbico

UAn: umbral anaeróbico

UMTT: test de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal, del francés *Université de Montréal Track Test*

VAM: velocidad aeróbica máxima

VFC: variabilidad de la frecuencia cardiaca

VO₂: consumo de oxígeno

VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno

VO_{2pico}: consumo pico de oxígeno

VO_{2R}: consumo de oxígeno de reserva

VT₁: primer umbral ventilatorio, del inglés *first ventilatory threshold*

VT₂: segundo umbral ventilatorio, del inglés *second ventilatory threshold*

W: watio

1. INTRODUCCIÓN

El sedentarismo, o conducta sedentaria, hace referencia a comportamientos que suponen bajos gastos energéticos (i.e., <1,5 MET o equivalente ventilatorio, del inglés *metabolic equivalent task*) y que están representados típicamente por la sedestación (1–3).

Actualmente, la prevalencia del sedentarismo en las sociedades modernas, concretamente en Europa, es muy elevada, tal y como demuestran los datos recientes del Eurobarómetro de 2014 (4).

Diversos trabajos defienden que la prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) en las sociedades modernas, así como su pronóstico, vienen condicionados por el drástico cambio en el estilo de vida, que se produjo en los últimos siglos, como consecuencia de la Revolución Industrial y, más recientemente, la Revolución Tecnológica (5–8). Del mismo modo, está bien documentado que la combinación del sedentarismo con la alta disponibilidad de alimento conlleva incrementos en la morbilidad y mortalidad. De hecho, la prevalencia de ECNT como la enfermedad cardiovascular arteriosclerótica, la diabetes mellitus tipo 2, la obesidad y el síndrome metabólico, junto con los factores de riesgo asociados, han incrementado significativamente en los últimos 30 años (9). En este sentido, el estilo de vida sedentario es la cuarta causa de muerte en todo el mundo (10) contabilizando un total de 600.000 muertes por año en Europa, lo cual supone entre el 5% y el 10% del total de muertes, dependiendo del país (11). Además de las consecuencias adversas en la morbilidad, mortalidad y calidad de vida, la conducta sedentaria genera unos altos costes económicos en los países europeos, ascendiendo el coste aproximado por ciudadano a unos 150-300 € anuales provenientes de las arcas públicas (11). De hecho, el estilo de vida sedentario es uno de los factores de riesgo principales que es, además, susceptible de ser modificado (12).

Para frenar la alarmante progresión de las ECNT y de sus factores de riesgo asociados, como consecuencia del sedentarismo y la inactividad física, en la década de 1960 diversos organismos internacionales como el Colegio Americano de Medicina del Deporte (ACSM, del inglés *American College of Sports Medicine*), la Asociación Americana del Corazón (AHA, del inglés *American Heart Association*) o la Organización Mundial de la Salud (OMS), comenzaron a elaborar una serie de documentos en los que se recogían recomendaciones para llevar a cabo un estilo de vida físicamente activo y saludable a través de la realización de actividad física (AF) regular

(13). A pesar de los grandes esfuerzos realizados por estos organismos para intentar reducir los niveles de sedentarismo de la población en las sociedades industrializadas, siguen prevaleciendo los niveles elevados de conducta sedentaria (14). Por estas razones, es importante conocer los motivos socioeconómicos que desembocan en los altos niveles de inactividad física para así poder establecer las políticas de intervención adecuadas. En este sentido, las razones de que la mayor parte de la población en las sociedades occidentales sea sedentaria pueden ser varias. Se ha sugerido en la literatura que la falta de tiempo parece ser la causa más común por la cual no se realiza AF regular (15,16). En este sentido, muchos autores (17–20) han propuesto recientemente que el entrenamiento interválico de alta intensidad puede ser una buena opción para obtener beneficios para la salud sin necesidad de invertir mucho tiempo para entrenar. Por otro lado, adquiere especial importancia el concepto de las comunidades activas, que son comunidades donde es fácil tomar la decisión de ser físicamente activo. La ausencia de un entorno favorable para la práctica de AF como parques, caminos u otras instalaciones recreativas establece una barrera para este propósito (21). De hecho, algunos estudios (21,22) sugieren la existencia de una asociación entre los diseños de los barrios y las formas de desplazamiento activas o sedentarias. Por otra parte, se ha demostrado que los patrones de AF varían con las características de la población en función de la edad y el sexo (23,24). De modo similar, factores socioeconómicos tales como el nivel educativo, los ingresos económicos, el estatus laboral o la situación familiar también influyen directamente en la práctica de AF (25–27).

La conducta sedentaria, que implica estar la mayor parte del día sentado o tumbado, puede derivar en el incremento de la morbilidad y mortalidad así como de sus factores de riesgo asociados (1,28–32), incluso en individuos que cumplen las recomendaciones internacionales de ejercicio saludable (3,29,33,34). Por ello, el simple hecho de reducir el tiempo de sedestación a lo largo del día y aumentar el tiempo de bipedestación es una medida útil y efectiva (34). De hecho, se ha demostrado que la forma más simple de reducir la mortalidad y morbilidad en sujetos sedentarios es volverse físicamente activos (35,36). En este sentido, el ejercicio ha sido considerado recientemente como una “polipíldora” que ejerce efectos beneficiosos sobre la salud, actuando sobre múltiples parámetros relacionados con las ECNT y sus factores de riesgo asociados y produciendo, además, efectos adversos mínimos (37). Por ello, además de la reducción del tiempo de sedestación, cobra gran importancia el incremento del gasto energético

diario derivado de la AF (38). Dicho gasto energético, se subdivide en el gasto derivado del ejercicio voluntario y planificado y aquel derivado de la termogénesis no relacionada con el ejercicio voluntario (TNRE). De hecho, se ha sugerido que el gasto energético total puede ser más elevado en personas que tienen una mayor TNRE y que no alcanzan los niveles mínimos de ejercicio recomendados por los organismos internacionales, en comparación con individuos que sí los alcanzan pero que poseen una menor TNRE (39). Por tanto, parece que es importante no sólo realizar unos niveles de ejercicio mínimos considerados saludables, sino que el hecho de incrementar también el gasto energético global por medio de la TNRE puede reportar mayores beneficios.

Unido a la modificación de la conducta sedentaria y al incremento del gasto energético derivado de la AF, se ha demostrado claramente que una intervención multifactorial tal como evitar el tabaco, llevar una dieta sana y equilibrada, reducir los niveles de lípidos en sangre y controlar el peso corporal, reduce de manera significativa la progresión y, en algunos casos, produce una regresión en la gravedad de las lesiones arterioscleróticas en personas con patología coronaria (35). De modo similar, en sujetos sanos, este estilo de vida saludable se correlaciona con una menor incidencia de ECNT y con una mayor funcionalidad e independencia, con la consecuente mejora de la calidad de vida e incremento de la longevidad (40–42).

Estos niveles de sedentarismo elevados, instaurados en las sociedades modernas, contrastan con los niveles de actividad física desarrollados en épocas anteriores (14). En los milenios pasados, y hasta hace bien poco, uno de los objetivos principales en la vida fue asegurarse la disponibilidad de alimento (14). Desde la aparición del género Homo, hace 2 millones de años, hasta la Revolución Neolítica, hace unos 10.000 años, nuestros ancestros vivieron como cazadores-recolectores para asegurarse su sustento diario y, con ello, garantizar la supervivencia (43). Antiguamente, todos los humanos eran físicamente muy activos, incluso desde edades tempranas, ya que así lo requerían sus tareas cotidianas (14). Prueba de ello es que los cazadores-recolectores desarrollaban AF diaria a partir de los 5-6 años hasta que se debilitaban por la edad o por una enfermedad (43).

La gran mayoría de problemas relacionados con la salud que asedian a las culturas modernas son debidos a que los patrones de AF diarios son muy diferentes de aquellos para los cuales estamos genéticamente adaptados (8). No obstante, parece que nuestras

habilidades de ejercicio inherentes permanecen prácticamente inalteradas si las comparamos con nuestros ancestros (44). A pesar del efecto más reciente de la presión de selección, parece que nuestro genoma ha permanecido relativamente invariable durante los últimos 40.000 años. Por ello, la relación entre la ingesta y el gasto energético, a partir de los requerimientos específicos de AF en los humanos de la actualidad, debería ser muy similar a la de los hombres y mujeres del Paleolítico (43). Es decir, el entorno natural en el cual nuestro genoma actual fue seleccionado, a través de la presión de selección, requiere de un elevado gasto energético diario mediante la realización de diferentes actividades físicas (8). Nuestros genes permitieron a nuestros ancestros sobrevivir a través de un estilo de vida físicamente activo (8), realizando una gran cantidad de actividades desarrolladas de forma concurrente y alternando, cuando era posible, días difíciles con días más fáciles (7,8,45–52). La evidencia científica reciente sobre el tema, sugiere que el patrón de AF paleolítico venía caracterizado por la prevalencia de actividades físicas aeróbicas de baja intensidad y alto volumen alternadas, eventualmente, con actividades físicas de alta intensidad y bajo volumen, siguiendo un patrón de AF polarizado; es decir, las intensidades a las cuales se llevaba a cabo la mayor parte de la AF se situaban en los polos o extremos (i.e., baja vs. alta intensidad), con poco protagonismo de las intensidades intermedias (47,48). De hecho, el estudio de los patrones de AF característicos de tribus de cazadores-recolectores, que viven en la actualidad, sugiere este patrón físico ancestral (53,54). En este sentido, en un trabajo de revisión reciente (47), hemos sugerido que esta prevalencia de días fáciles, en los que se desarrollaban principalmente actividades físicas aeróbicas de baja intensidad, pudo ser influenciada, entre otros motivos, por la baja disponibilidad de glucógeno como fuente energética, recurriendo a la utilización de las grasas con la consecuente limitación de la intensidad de ejercicio desarrollado (47). A pesar de que todavía no existe consenso sobre los patrones nutricionales característicos de nuestros ancestros, parece que la mayor parte de la energía se obtenía a partir de grasas y proteínas de origen animal, mientras que los carbohidratos (escasos en la dieta, si se compara con los patrones nutricionales actuales) provenían, principalmente, de frutas, raíces, tubérculos y vegetales, y sólo una pequeña parte de cereales y granos (55,56).

Basándose en los supuestos anteriormente mencionados, varios autores han sugerido tomar los patrones de AF de nuestros ancestros del Paleolítico como modelo de referencia para prescribir ejercicio. En una persona inactiva, este tipo de AF diaria

ayudaría a conferir una mejor aptitud física, acorde con la que poseían los cazadores-recolectores en el medio natural (8). De hecho, algunos autores (8) defienden que el patrón de alternancia de días duros con otros más suaves confiere una mejor aptitud física e, incluso, una menor incidencia de lesiones. En esta misma línea, es interesante comprobar que los deportistas de nivel mundial y olímpico de deportes de resistencia como la carrera a pie (57–60), el ciclismo (61), el remo (62–64), el esquí de fondo (65) o el patinaje de velocidad (66), entre otros, siguen sin excepción una distribución polarizada de las cargas de entrenamiento, en las cuales prima el elevado volumen a bajas intensidades (i.e., tradicionalmente alrededor del primer umbral fisiológico) intercalado con los denominados “días de calidad” o de alta intensidad (i.e., intensidades desarrolladas por encima del segundo umbral fisiológico), limitando, por tanto, el trabajo a intensidades medias (i.e., entre umbrales). De hecho, podría decirse que los deportistas de élite de deportes de resistencia son los que más y mejor emulan el patrón de AF paleolítico (47,48,67), lo cual podría traducirse en un incremento de la longevidad, si se comparan con las respectivas cohortes de la población general (37,68).

No obstante, cabe destacar en este punto que, entre el entrenamiento ineficiente y el sobreentrenamiento, existe un estímulo apropiado (en términos de intensidad y duración) el cual ha de ser determinado en función de las capacidades individuales del sujeto (69). En este sentido, y a pesar de que los diversos organismos internacionales han propuesto diferentes recomendaciones de AF para alcanzar beneficios saludables, todavía no está claro cuál es el tipo de ejercicio ni el estímulo necesario para obtener el máximo beneficio, aunque está demostrado que el entrenamiento concurrente produce mejoras superiores que las que produce el entrenamiento de resistencia y fuerza realizado de manera aislada (70–75). Además, ha de tenerse en cuenta que las recomendaciones internacionales parecen no aproximarse al patrón de AF desarrollado por nuestros ancestros del Paleolítico, y para el cual seguimos genéticamente dotados, ya que se alejan de la polarización de las intensidades de ejercicio proponiendo intensidades suaves o moderadas. Parece pues, que existe un error en el enfoque de paradigma epistemológico sobre las recomendaciones internacionales de AF saludable. Por estas razones, se hace mucho más necesario determinar qué modo, qué dosis de entrenamiento y qué distribución de las cargas son los más apropiados para conciliar las necesidades de AF para una vida saludable, con las limitaciones propias del estilo de vida occidental. Concretamente, las perspectivas de investigación que demanda la

evidencia científica actual instan a estudiar y comparar los efectos derivados de las recomendaciones de AF saludable propuestas por los organismos internacionales, así como los efectos que las prescripciones de AF basadas en una distribución polarizada de las cargas de entrenamiento tienen sobre la salud. En este sentido, y basándonos en la evolución filogenética y en los conocimientos sobre la importancia de la TNRE, la evidencia científica invita a explorar los efectos de un entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza con una distribución polarizada de las cargas de entrenamiento, de tal forma que se conciliase mejor nuestra dotación genética. Cabe destacar en este punto, que el modelo de entrenamiento polarizado se ha circunscrito en la literatura al únicamente al entrenamiento de resistencia. En cuanto al entrenamiento de la fuerza, la alternancia en el volumen e intensidad de las cargas de entrenamiento se ha identificado con el denominado modelo de periodización no lineal u ondulante (76,77). No obstante, a lo largo de este documento, con el afán de simplificar, se utilizará el término “polarizado” para referirse a la acumulación de elevados volúmenes a baja intensidad intercalados con bajos volúmenes a alta intensidad, tanto para el trabajo de fuerza como para el de resistencia.

De este modo, el objetivo principal de esta Tesis Doctoral es estudiar y comparar los efectos de dos programas de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza, con diferente distribución de la intensidad de ejercicio y equiparación de la carga externa, sobre la aptitud física, el sistema inmune, la percepción subjetiva del esfuerzo de las cargas de entrenamiento y las sensaciones experimentadas, en individuos jóvenes, sanos y moderadamente activos. Concretamente, las dos propuestas están basadas en las recientes recomendaciones internacionales del ACSM para el desarrollo y mantenimiento del estado saludable (i.e., entrenamiento concurrente tradicional) y en la distribución polarizada de las cargas de entrenamiento (i.e., entrenamiento concurrente polarizado). Hasta donde conocemos, ningún estudio hasta la fecha ha llevado a cabo una investigación con las características anteriormente mencionadas.

2. LA ACTIVIDAD FÍSICA SALUDABLE Y EL ENTRENAMIENTO CONCURRENTES DE RESISTENCIA Y FUERZA CON DIFERENTE DISTRIBUCIÓN DE LAS CARGAS DE ENTRENAMIENTO: ESTADO DEL ARTE

2.1. CONCEPTOS INTRODUCTORIOS

La AF se define como cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que incrementa el gasto energético por encima de los valores de reposo. Por su parte, el ejercicio físico es un tipo de AF que se caracteriza por estar planificada, estructurada y ser repetitiva, persiguiendo como objetivo final o intermedio la mejora o el mantenimiento de la aptitud física (78).

La aptitud física, condición física o *fitness* ha sido conceptualizada de muchas formas. Una definición de aptitud física comúnmente aceptada alude a “la habilidad para llevar a cabo las tareas cotidianas con vigor, sin que ello conlleve fatiga, dejando energía suficiente para disfrutar del tiempo libre o para enfrentarse a emergencias e imprevistos” (78). La aptitud física incluye la resistencia cardiorrespiratoria, la resistencia muscular, la fuerza y potencia muscular, la velocidad, la flexibilidad, la agilidad, la coordinación, el equilibrio, el tiempo de reacción y la composición corporal (79). Dado que estos atributos difieren en importancia en función de que el objetivo sea el rendimiento deportivo o la mejora de la salud, se han realizado distinciones entre la aptitud física relacionada con el rendimiento (i.e., *performance-related fitness*, en inglés) y la aptitud física relacionada con la salud (i.e., *health-related fitness*, en inglés) (78,79). Por tanto, la aptitud física es una medida integrada de la función cardiorrespiratoria y neuromuscular esquelética, del transporte y liberación de oxígeno y del componente psicológico. Así, la alta aptitud física implica que todas estas funciones corporales se desarrollen con normalidad, mientras que la baja aptitud física sugiere un mal funcionamiento de una o más funciones (80).

Ya en 1948 la OMS, en su fundación, propuso una idea de salud definida como “el estado completo de bienestar físico, mental y social, y no la mera ausencia de enfermedad”. El *International Consensus Conference on Physical Activity, Physical Fitness, and Health* de 1988 (41,79) definió la salud como “una condición humana con dimensiones física, social y psicológica, cada una de ellas caracterizada en un continuo con polos positivo y negativo. La salud positiva se asocia con la capacidad para disfrutar la vida y afrontar desafíos; no es solamente la ausencia de enfermedad. La salud negativa se asocia a la morbilidad y, en casos extremos, a una mortalidad prematura.” Por ello, cuando se considera el papel de la AF en la promoción de la salud, uno ha de ser consciente de la importancia del bienestar psicológico, así como de la

salud física (41). En este sentido, se ha sugerido que la salud se encuadra dentro del denominado modelo biopsicosocial, el cual aúna tres ámbitos estrechamente realacionados entre sí: el biológico, el psicológico (i.e., cognitivo y afectivo) y el social (81) (Figura 1).

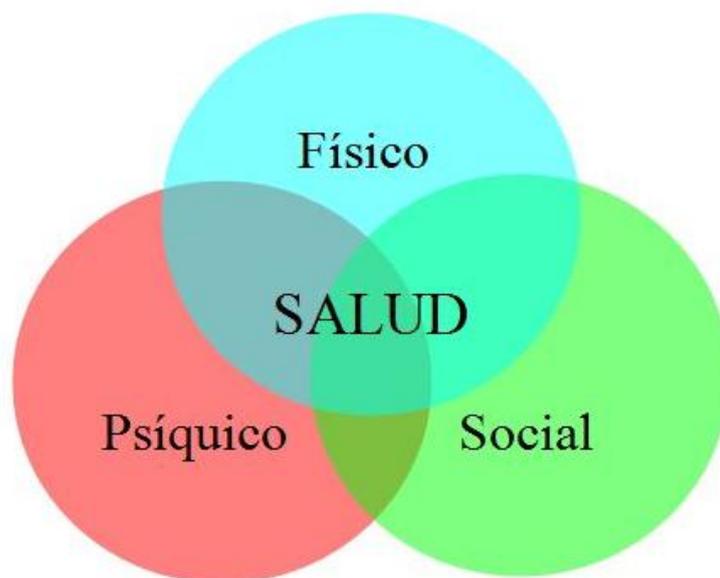


Figura 1. La salud desde una perspectiva biopsicosocial.

Por otro lado, existe una importante distinción entre los niveles de AF necesarios para la mejora de la salud y aquellos necesarios para el desarrollo de la aptitud física. Se ha señalado que la cantidad y calidad de ejercicio demandadas para obtener beneficios relacionados con la salud pueden diferir de aquellas recomendaciones para obtener beneficios relacionados con la aptitud física (82). De hecho, la nueva interpretación del concepto de AF y sus posibilidades de mejora de la salud amplían el antiguo modelo práctica de ejercicio-aptitud física al del paradigma AF-salud. Mientras que el primero de ellos alude a un ejercicio intenso y planificado para la mejora de la aptitud física, el segundo se centra en una extensa variedad de actividades físicas y sus relaciones con la salud. Desde un punto de vista fisiológico, el nuevo modelo engloba todo movimiento corporal generado por los músculos esqueléticos que produzca un incremento sustancial del gasto energético respecto a los valores de reposo (79). Este nuevo paradigma da lugar a la consideración de la AF como un compendio en el que caben una gran variedad de acciones musculares que tienen lugar durante el ocio y tiempo libre, las tareas diarias y el trabajo profesional. La AF que, debido a sus características y al modo

de practicarla, beneficia a la salud de inmediato o a largo plazo y no produce daños indebidos ni riesgos de enfermedad, puede catalogarse como AF para la mejora de la salud (83).

En esta línea, según Devís y Peiró (2001), podemos identificar actualmente tres grandes perspectivas sobre la relación entre la AF y la salud: una perspectiva rehabilitadora, una perspectiva preventiva, y una perspectiva orientada al bienestar.

Estos autores mantienen que la perspectiva rehabilitadora hace referencia a aquella que considera la AF como un medicamento; es decir, como un instrumento mediante el cual se puede recuperar la función corporal (84).

La perspectiva preventiva, por su parte, utiliza la AF para reducir el riesgo de que aparezcan determinadas enfermedades o se produzcan lesiones. Este rol se corresponde con el cuidado de la postura corporal y la seguridad en la realización de los ejercicios físicos, así como de la disminución de la susceptibilidad personal a enfermedades modernas como las cardiovasculares, la hipertensión arterial (HTA), la diabetes mellitus, la osteoporosis, la dislipemia o la depresión, a través de la AF (84).

Estas dos perspectivas, estrechamente vinculadas a la enfermedad y la lesión, proporcionan una visión limitada y referida únicamente al ámbito patológico. Por ello, la perspectiva orientada al bienestar considera que la AF contribuye al desarrollo personal y social, independientemente de su utilidad, para la rehabilitación o prevención de enfermedades y lesiones. En este sentido, Devís y Peiró (2001) establecen que se trata de ver en la AF un factor que puede contribuir a la mejora de la calidad de vida, relacionando su práctica con la diversión, la satisfacción, el conocimiento de uno mismo, la relación con los demás y con la naturaleza, etc.

Estas tres perspectivas de relación entre AF y salud no son excluyentes y se encuentran, en cierto modo, interrelacionadas (84).

Por otra parte, la calidad de vida es un macroconcepto totalmente subjetivo y multifactorial, influido por factores relacionados con la salud y el estado emocional y por aspectos sociales, económicos, culturales y espirituales (85), pudiendo definirse como aquellos aspectos de la situación de vida personal que hacen que los individuos se sientan mejor, gocen de una mejor funcionalidad en su vida cotidiana y vivan de forma

autónoma e independiente (86). Spirduso y Cronin (2001), basándose en el modelo propuesto por Stewart y King (87), realizaron un marco conceptual de la calidad de vida relacionada con la salud, el cual está compuesto, para ellos, por dos grandes dominios: funcional (i.e., físico, cognitivo y social) y de bienestar (i.e., percepción de la salud, función emocional y concepto de uno mismo) (Tabla 1).

Tabla 1. Marco conceptual de la calidad de vida relacionada con la salud.

I. Dominios funcionales:

A. Funcionamiento físico:

Aptitud física aeróbica, fuerza, resistencia muscular, equilibrio, flexibilidad.

Tareas físicas para la funcionalidad en la vida cotidiana: caminar, levantarse de una silla, subir escaleras, elevarse, agacharse, llevar objetos pesados, correr, manipulaciones.

B. Funcionamiento cognitivo:

Memoria, atención, concentración, comprensión, resolución de problemas.

C. Compromiso con las actividades cotidianas:

Actividades de mantenimiento personal.

Actividades sociales: obligaciones sociales, grupos sociales, reuniones con la comunidad.

Hobbies y tiempo libre.

D. Mediciones objetivas de la salud (síntomas patológicos).

II. Dominios de bienestar (subjctivos, estados internos):

A. Bienestar corporal: sensaciones sobre síntomas y estados corporales, presencia de dolor, enfermedad, energía/ fatiga, perturbaciones del sueño.

B. Bienestar emocional: sentimientos positivos y negativos (e.g., depresión, ansiedad, ira/irritabilidad, afecto positivo).

C. Concepto de uno mismo: percepciones positivas y negativas sobre uno mismo (e.g., autoestima, sentimiento de control/dominio).

D. Percepciones globales del bienestar: evaluaciones y puntuaciones totales.

Salud: creencias personales y evaluaciones de la salud en general “¿Cómo valora su salud en general?”

Satisfacción con la vida: satisfacción con la vida actual; congruencia entre lo deseado y lo conseguido.

Adaptado a partir de Spirduso y Cronin (2001).

2.1.1. Resumen del apartado

La salud se conceptualiza como el estado completo de bienestar y no sólo la mera ausencia de enfermedad. Esta idea se comprende mejor a partir del modelo biopsicosocial, el cual aún e interrelaciona el ámbito físico, psíquico y social del individuo, debiendo poseer éste una funcionalidad óptima en todos y cada uno de los ámbitos para poder gozar del estado de salud deseable.

La AF desempeña un papel fundamental para alcanzar el estado óptimo de salud. La cantidad e intensidad de AF necesarias para lograr beneficios saludables pueden ser considerablemente menores que aquellas destinadas a la mejora de la aptitud física. En este sentido, los niveles de AF para la mejora de la salud son uno de los pilares que ayudan a alcanzar una calidad de vida deseable para el individuo.

2.2. EL SEDENTARISMO Y LAS ENFERMEDADES CRÓNICAS NO TRANSMISIBLES

2.2.1. La conducta sedentaria

El concepto de conducta sedentaria hace referencia a comportamientos que suponen bajos gastos energéticos (i.e., <1,5 MET), representados típicamente por la sedestación, mientras que la inactividad física alude a la ausencia de AF moderada-vigorosa (1–3).

Actualmente, la prevalencia del sedentarismo en las sociedades modernas y, concretamente en Europa, es elevada, tal y como demuestran los datos recientes del Eurobarómetro de 2014 (4). El 59% de los europeos reconocen no realizar ejercicio o practicar deporte nunca o casi nunca, mientras que el 30% no realiza AF y sólo el 15% la lleva a cabo de forma regular (i.e., 5 días a la semana o más). En España, la prevalencia de inactividad física asciende al 49% y sólo el 11% de la población la realiza de forma regular (4).

La conducta sedentaria es la cuarta causa de muerte en todo el mundo (10), responsable de un total de 600.000 muertes por año en Europa, lo cual supone entre el 5% y el 10% del total de muertes, dependiendo del país (11). En este sentido, los países del norte de Europa (e.g., Suecia, Dinamarca, Holanda, Finlandia, etc.) reportan los mayores niveles de realización regular de AF, ejercicio o práctica de algún deporte (4). A pesar de que se ha sugerido que la forma más eficaz de reducir la mortalidad en individuos sedentarios es volverse físicamente activos (35), varios estudios recientes demuestran que, aún cuando los individuos cumplen las recomendaciones de AF saludable propuestas por los organismos internacionales como el ACSM, la AHA o la OMS, estas pautas pueden ser insuficientes si la conducta sedentaria (e.g., permanecer sentado) se extiende durante largos períodos de tiempo (29,33,34,88,89). Estos comportamientos sedentarios podrían derivar en la adquisición de factores de riesgo para la contracción de las ECNT propias de los países desarrollados, en la contracción de dichas enfermedades o, incluso, en la muerte prematura (29–31). En este sentido, Chau et al. (2012) mostraron, en una interesante investigación, que los trabajadores que tienen puestos laborales en los que pasan sentados la mayoría del tiempo suelen ser más propensos a realizar AF en su

tiempo libre que aquellos que desempeñan su labor de pie, caminando o que implique una elevada intensidad; sin embargo, sufren un mayor riesgo de padecer sobrepeso u obesidad que aquellos que desempeñan su labor en bipedestación, independientemente de la AF realizada o del tiempo que permanezcan sentados en su tiempo libre. Esta idea queda perfectamente reflejada por Hamilton et al. (2007) en la Figura 2. Es interesante comprobar cómo los individuos físicamente activos, con un elevado gasto energético derivado de la TNRE, pueden tener, en términos globales, un mayor gasto energético que aquellos individuos que tienen una menor TNRE y que realizan ejercicio de forma regular (Figura 2). Por tanto, cobra especial relevancia el aporte que las tareas específicas de la vida cotidiana supone sobre el incremento del gasto energético total ya que, unidas a la AF y ejercicio de tiempo libre, ayudan a reducir el riesgo de mortalidad por cualquier causa (38).

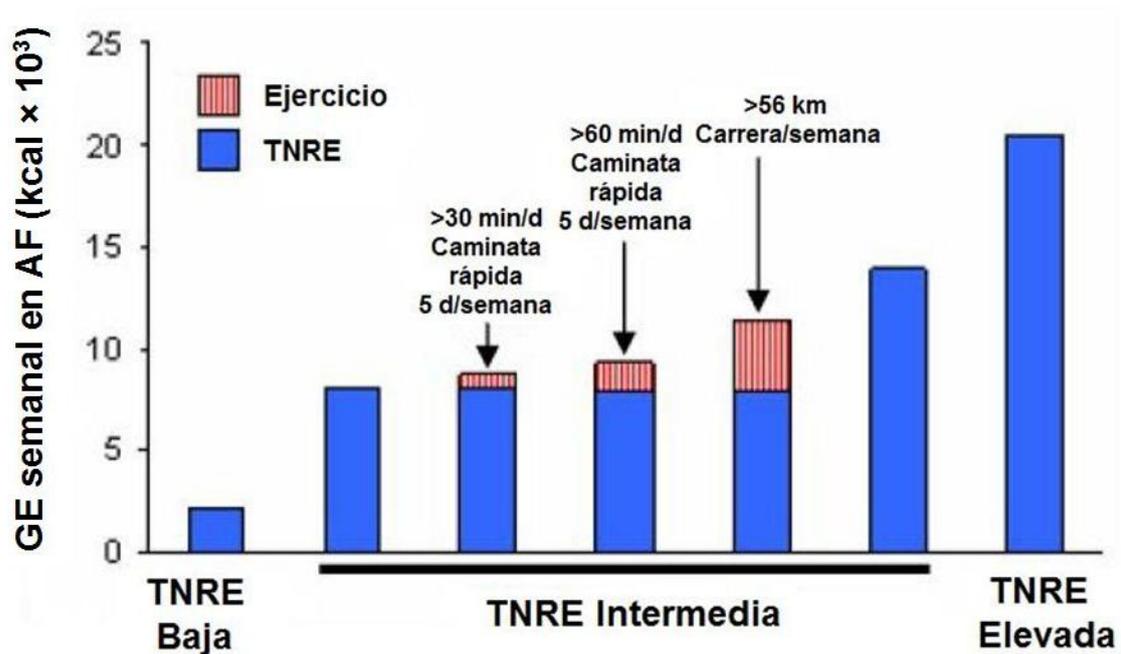


Figura 2. Gasto energético global derivado de la AF subdividido en gasto energético producido por el ejercicio y por la TNRE.

GE: gasto energético; AF: actividad física; TNRE: termogénesis derivada de la actividad física no relacionada con el ejercicio planificado.

Adaptado a partir de Hamilton et al. (2007).

La conclusión que se puede extraer de estos estudios es que no sólo es importante la realización de ejercicio para cumplir con las recomendaciones mínimas internacionales para el mantenimiento o mejora de la salud, sino que se hace estrictamente necesario incrementar también el gasto energético derivado de la TNRE. En otras palabras, es casi más importante abandonar las conductas sedentarias (e.g., pasar la mayor parte del día sentado o realizando actividades que impliquen un gasto energético <1,5 MET) que alcanzar las recomendaciones de ejercicio saludable. Y es que, tal y como se muestra en la Figura 2, el gasto energético total en AF está compuesto mayoritariamente por la TNRE, incluso en personas que realizan ejercicio de forma regular. Para conseguir estos objetivos se han propuesto diversas y sencillas alternativas. El simple hecho de reducir el tiempo sentado a lo largo del día y aumentar el tiempo en bipedestación es una pauta útil y efectiva (34). No obstante, también parece importante interrumpir regularmente largos períodos de sedestación (e.g., levantarse cada 30 min) (1,90,91) e incrementar la TNRE a través de estrategias como caminar al trabajo o desplazarse en bicicleta, utilizar las escaleras en lugar del ascensor o de las escaleras mecánicas, etc. (91).

2.2.2. Las enfermedades crónicas no transmisibles y sus factores de riesgo asociados

2.2.2.1. Las enfermedades crónicas no transmisibles propias del S. XXI

Muchos de los problemas relacionados con la salud presentes en las sociedades industrializadas tienen su origen en los hábitos de vida sedentarios que, probablemente, causan una discrepancia entre los patrones de AF actuales y aquellos para los cuales estamos genéticamente adaptados (8). En comparación con la evolución genética a lo largo de milenios, la evolución tecnológica y social ha ocurrido en un breve espacio de tiempo (8). Las mejoras tecnológicas que tuvieron lugar a lo largo de la historia, como la Revolución Agrícola hace 350 generaciones, la Revolución Industrial hace 7 generaciones o la Era Digital hace 2 generaciones, conllevaron reducciones sistemáticas en la cantidad de trabajo físico desarrollado (5–8), dando lugar a individuos genéticamente adaptados para el estilo de vida de los cazadores-recolectores pero que

viven en el S. XXI en una sociedad altamente desarrollada a nivel tecnológico, sedentaria, emocionalmente estresada y sobrealimentada (7,8,67). En este sentido, son varias las razones por las cuales la mayor parte de la población de las sociedades occidentales es sedentaria. Se ha sugerido en la literatura que la falta de tiempo parece ser la causa fundamental por la cual no se realiza AF regular (4,15,16). También la ausencia de factores ambientales como parques, caminos u otras instalaciones recreativas establece una barrera a la hora de practicar AF de forma regular (21), existiendo una asociación entre los diseños de los barrios y las formas de desplazamiento activas o sedentarias (21,22). De modo similar, los patrones de realización de AF varían con las características de la población en función de la edad y el sexo, siendo los hombres más activos que las mujeres y los individuos mayores más sedentarios que los jóvenes (4). Por su parte, factores socioeconómicos tales como el nivel educativo, los ingresos económicos, el estatus laboral o la situación familiar también influyen directamente en la práctica de AF (4,27).

Está bien establecido que la combinación de la conducta sedentaria y la alta disponibilidad alimenticia conlleva un almacenamiento excesivo de grasa en los tejidos, dislipemias y una mayor resistencia a la insulina. Como consecuencia, la prevalencia de ECNT como las enfermedades cardiovasculares, la diabetes mellitus tipo 2, la obesidad, el síndrome metabólico, la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y el cáncer, junto con sus factores de riesgo asociados, ha incrementado significativamente en los últimos 30 años (9,92). Este incremento en la prevalencia de las anteriormente mencionadas patologías es alarmante, pues dichas enfermedades son la principal causa de muerte a nivel mundial. En este sentido, las enfermedades cardiovasculares lideran el *ranking* de mortalidad, siendo responsables de 17 millones de muertes al año, seguidas por el cáncer (7 millones de muertes), las enfermedades pulmonares crónicas (4 millones de muertes) y la diabetes mellitus tipo 2 (casi 1 millón de muertes) (93).

Por otro lado, existen una serie de factores de riesgo que se relacionan con la posibilidad de sufrir estas ECNT, así como con un pronóstico negativo de las mismas, y que se ven beneficiados por la práctica regular de AF. Algunos de los más relevantes son: valores disminuidos del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) (94,95), niveles adversos de los biomarcadores del sistema inmunológico para la determinación del estado inflamatorio (i.e., marcadores proinflamatorios elevados y antiinflamatorios disminuidos, así como

bajos niveles de subpoblaciones linfocitarias) (96–98), valores de variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC) disminuidos (99,100), niveles de presión arterial (PA) elevados (101), composición corporal adversa (i.e., índice de masa corporal y porcentajes de masa grasa elevado y de masa muscular esquelética disminuido) (102,103) y perímetro de cintura incrementado (104,105), entre otros.

2.2.2.2. Los factores de riesgo asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles

2.2.2.2.1. Valores disminuidos del consumo máximo de oxígeno (VO_{2max})

El VO_{2max} ha sido considerado tradicionalmente como el mejor parámetro para la medición de la aptitud física cardiorrespiratoria y de la capacidad de ejercicio (106). El VO_{2max} representa, desde un punto de vista funcional, la máxima cantidad de oxígeno captada del torrente sanguíneo y utilizada por los músculos activos durante un período de tiempo específico (107) y es el resultado del producto del gasto cardíaco máximo (GC_{max}) y de la máxima diferencia arteriovenosa de oxígeno ($\Delta A-V O_2$) (108); es decir, posee un componente cardiovascular central y otro a nivel muscular periférico, respectivamente. Es, por tanto, uno de los parámetros de referencia en el ámbito de la AF relacionada con la salud (109), así como uno de los factores determinantes del rendimiento deportivo en deportes de resistencia (109,110).

Normalmente, el VO_{2max} se expresa en términos absolutos ($L \cdot min^{-1}$ ó $mL \cdot min^{-1}$) o relativos, respecto al peso corporal ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), permitiendo este último la comparación entre individuos (106), aunque también es habitual expresarlo como múltiplo de los requerimientos energéticos en reposo para el mantenimiento de las condiciones vitales. En este sentido, una persona adulta consume alrededor de $3,5 mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ lo cual, por acuerdo, se ha denominado 1 MET (109,111).

Mientras que en individuos con diferentes patologías, como enfermedades cardiacas o pulmonares, o en personas de la tercera edad, el VO_{2max} ronda los 3 ó 4 METS (109), en sujetos moderadamente activos presenta valores de, aproximadamente, 12 METS, dependiendo de la edad, el sexo y la AF desarrollada. Por su parte, los deportistas de diferentes disciplinas de resistencia pueden llegar a alcanzar los 18-24 METS (111).

Por otro lado, son varios los factores que afectan al VO_{2max} , tales como: la edad, el sexo, los hábitos de ejercicio, la herencia genética y el estatus cardiaco clínico. De estos factores, el que más y mejor se puede manipular es el relacionado con la práctica de AF. Está bien constatado que la AF influye de forma muy importante en el VO_{2max} (111). En este sentido, es importante tener en cuenta que, con la práctica de ejercicio, se pueden llegar a aumentar los valores de VO_{2max} hasta un 20-30% en personas sedentarias, tras dos o tres meses de entrenamiento (112), aunque dicho incremento estará en función del nivel inicial de aptitud física del sujeto así como de sus características individuales (69). Esto cobra todavía más importancia si se tiene en cuenta que el incremento del VO_{2max} en 1 MET se traduce en un aumento de la esperanza de vida de entre un 12% y un 20% (94,95). Además, parece claro que la aptitud física cardiorrespiratoria mantiene una relación inversa con la prevalencia de diferentes factores de riesgo asociados a las ECNT (109,113).

2.2.2.2. Los biomarcadores del sistema inmunológico para la determinación del estado inflamatorio

El sistema inmunológico está orquestado por los leucocitos o células blancas sanguíneas. Los leucocitos están compuestos por granulocitos (60-70% de los leucocitos circulantes), monocitos (10-15%) y linfocitos (20-25%). De estos tipos de leucocitos, los linfocitos tienen un papel fundamental en el sistema inmunológico, encargándose principalmente de la inmunidad específica o adquirida. Las diferentes subpoblaciones linfocitarias incluyen las células T, las células B y las células asesinas naturales (NK, del término en inglés *natural killer*). A su vez, las células T se subdividen en linfocitos T colaboradores o cooperadores (Th, de la denominación inglesa *T-helper cells*) o linfocitos CD4+ y en linfocitos T citotóxicos o linfocitos CD8+. Por su parte, las células B están compuestas por los linfocitos CD19+, entre otros subtipos. Todas las subpoblaciones linfocitarias pueden identificarse mediante la utilización de anticuerpos monoclonales fluorescentes para identificar los marcadores de la superficie celular. Estas células tienen varias funciones en el sistema inmune, aunque su número circulante y su actividad dependen de la regulación fisiológica (114).

Mientras que los niveles anormalmente bajos de linfocitos pueden acentuar la posibilidad de contraer infecciones causadas por virus, hongos y parásitos, la literatura

científica disponible demuestra que la inflamación sistémica crónica, evidenciada por elevados niveles de marcadores inflamatorios circulantes en sangre, es un factor de riesgo para contraer diversas ECNT, así como discapacidades asociadas a la edad (96,115). Los componentes de la respuesta inflamatoria vienen inducidos por un estímulo como un traumatismo físico, ejercicio o una infección. La inflamación se produce para proteger al organismo contra las infecciones y las lesiones y para promover la reparación tisular (116). En este sentido, se ha sugerido que los marcadores inflamatorios, concretamente las citocinas, pueden ser idóneos para evaluar el riesgo de contraer ECNT y sus factores de riesgo asociados (97,117). Existen dos tipos de citocinas que regulan el estado inflamatorio, los mediadores antiinflamatorios, que son moléculas inmunorreguladoras, y los mediadores proinflamatorios, cuya respuesta está controlada por las citocinas antiinflamatorias (116). Los niveles de las citocinas proinflamatorias se ven incrementados de forma aguda como consecuencia de un traumatismo, una infección o la práctica de AF (aunque, en este caso, de forma crónica dichos valores experimentan una disminución que viene condicionada por la intensidad, el volumen y la duración de la actividad, así como por la periodización del programa de entrenamiento). Por otro lado, las citocinas antiinflamatorias atenúan la inflamación restringiendo la producción de las citocinas proinflamatorias, regulando sus proteínas solubles antagonistas y suprimiendo la actividad celular inflamatoria (116).

Atendiendo a las subpoblaciones linfocitarias, los linfocitos Th desempeñan un importante papel en la capacidad de defensa del sistema inmune. Estas células no son capaces de producir efectos citotóxicos o fagocitarios (i.e., no aniquilan al patógeno) y, por tanto, necesitan la ayuda de otras células para llevar a cabo su función. Las funciones de los linfocitos Th se relacionan con la formación de anticuerpos por los linfocitos B (i.e., inmunidad humoral), la activación del crecimiento de los linfocitos T citotóxicos y el incremento de la actividad bactericida de los fagocitos, concretamente de los macrófagos (i.e., inmunidad mediada por las células) (118), los cuales desempeñan un papel importante en la fagocitosis, muerte microbiana y actividad antitumoral (119). Por otra parte, la interleucina 2 (IL-2), también denominada factor de crecimiento de las células T, es una clase de factor linfoide con efectos inmunoreguladores que desempeña un papel importante en la biología de las células T, estimulando las respuestas inmunes de las mismas (120,121). Los linfocitos T que expresan activamente su proteína de superficie CD4 se denominan linfocitos T CD4+ y

actúan como linfocitos Th en el sistema inmune (118). Dentro de los linfocitos T CD4+ se diferencian hasta tres patrones de secreción de citocinas: los linfocitos Th tipo 1 (Th1), que producen interferón gamma (IFN- γ), IL-2 y factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), promueven la activación de macrófagos para la erradicación de agentes infecciosos o patógenos (i.e., inmunidad mediada por las células); los linfocitos Th tipo 2 (Th2), que secretan interleucina 4 (IL-4), interleucina 5 (IL-5), interleucina 6 (IL-6), interleucina 10 (IL-10) e interleucina 13 (IL-13), actúan como factores de crecimiento/diferenciación de las células B e inhiben varias funciones de los macrófagos (i.e., inmunidad humoral) (118,122,123); recientemente, se ha identificado un nuevo tipo de células Th denominado células Th17, las cuales producen interleucina 17 (IL-17) e IFN- γ , aunque también se cree que secretan IL-6, interleucina 22 (IL-22) y TNF- α , desempeñando un papel importante en la protección contra microbios, concretamente bacterias extracelulares y hongos (118,122,124).

Los linfocitos T citotóxicos, denominados generalmente linfocitos T CD8+, neutralizan células infectadas por microorganismos intracelulares provocando su apoptosis (i.e., muerte celular) (118). En este sentido, es importante el papel desempeñado por la IL-2, ya que es necesaria para el desarrollo de la citotoxicidad de las células T CD8+ y células NK. En personas con diversas patologías, los niveles de IL-2 disminuidos producen defectos en la regulación de la respuesta inmune, estimulando una excesiva proliferación de linfocitos T autorreactivos, lo cual desemboca en la génesis de enfermedades autoinmunes (121).

Las células B y sus anticuerpos son elementos centrales de la inmunidad humoral que protegen, como parte del sistema inmune adaptativo, contra gran diversidad de patógenos. Los defectos en el desarrollo, selección y función de las células B conllevan autoinmunidad, afecciones, inmunodeficiencias y alergias (125). La función de los linfocitos B para producir inmunoglobulinas, así como la función de éstas, dependen en parte de la interacción con células Th. Las inmunoglobulinas son glicoproteínas secretadas por las células B que cuando reaccionan contra un antígeno específico se denominan anticuerpos, los cuales estimulan la activación y diferenciación de otras células inmunes (126). Los linfocitos CD19+ son células que regulan las respuestas de los linfocitos B a las señales transmembrana. Estudios con ratones, han mostrado que los cambios en los niveles de expresión de CD19+ tienen efectos significativos sobre el

desarrollo y funcionamiento de las células B. De hecho, se ha sugerido que la deficiencia de CD19+ puede inhibir la activación y maduración completa de las células B (127), convirtiéndolas en células hiporrespondedoras a los mitógenos (128,129).

Las células NK son un tipo de linfocitos que median reacciones citolíticas contra células neoplásicas e infectadas por virus. Son un componente del sistema inmune innato y se consideran la “primera línea de defensa”, ya que tienen capacidad citotóxica, antes de que se establezca una respuesta específica de las células T y B (114,126).

Por otro lado, las citocinas desempeñan un papel fundamental en la inflamación sistémica crónica. Estas proteínas o glucoproteínas solubles, que se producen en las células inmunes y no inmunes, median la comunicación entre y dentro de las células, de órganos y de sistemas de órganos. La producción de citocinas está regulada rápidamente en respuesta a un estímulo inflamatorio, pudiendo ser esta respuesta transitoria (i.e., aguda) o prolongada (i.e., crónica) (116). Atendiendo a los dos tipos de citocinas inflamatorias, los mediadores proinflamatorios y los antiinflamatorios, las principales citocinas antiinflamatorias son el receptor antagonista de interleucina 1 (IL-1ra), IL-2, IL-4, IL-6, IL-10, interleucina 11 (IL-11) e interleucina 13 (IL-13). Además, los receptores de citocinas específicos para IL-1 y la interleucina 18 (IL-18) también actúan como inhibidores de las citocinas proinflamatorias (120,130). Por su parte, los marcadores de inflamación sistémica más comúnmente medidos son la IL-6, el TNF- α y la proteína C-reactiva (PCR) (96,131,132), si bien existen otros mediadores proinflamatorios importantes como la interleucina-17 (IL-17) (124,133,134) o el IFN- γ (135). El IFN- γ , originariamente llamado factor de activación macrófagico, es producido por los linfocitos Th1, linfocitos CD8+ y células NK y su producción está controlada por las citocinas IL-12 e IL-18. El IFN- γ tiene como funciones principales: estimular la respuesta de los macrófagos, orquestar la atracción de los leucocitos, dirigir el crecimiento, maduración y diferenciación de diversos tipos de células, reforzar la actividad de las células NK y regular las funciones de las células B (135). El IFN- γ puede inducir respuestas pro y antiinflamatorias, siendo decisivo para el equilibrio en la respuesta inmune. Además de su papel en la activación de las células inmunes innatas, el IFN- γ también desempeña un papel importante en el desarrollo de las células T, concretamente en el desarrollo de las células Th1, y en la inhibición del desarrollo de las células Th17 (124,136).

A pesar de que tradicionalmente la IL-6 se consideró una citocina proinflamatoria, se ha demostrado que también tiene propiedades antiinflamatorias (137). Recientemente, la IL-6 se consideró la primera miocina, definida como una citocina producida y liberada mediante la contracción de las fibras musculares esqueléticas, ejerciendo sus efectos en otros órganos del cuerpo. En este sentido, las miocinas pueden estar implicadas en la mediación de los efectos beneficiosos para la salud contra ECNT asociadas a la inflamación crónica, tales como diabetes mellitus y enfermedades cardiovasculares (138). De hecho, se cree que la liberación de IL-6 por los músculos contráctiles puede mejorar el aporte energético al músculo esquelético y colaborar en el mantenimiento de niveles de glucosa estables durante el desarrollo del ejercicio (139). En este sentido, los niveles bajos de glucógeno intramuscular, previos a la realización de ejercicio, estimulan la respuesta plasmática de la IL-6, sugiriendo que la disponibilidad de sustrato energético en los músculos contráctiles condiciona la liberación de esta citocina (139). Por tanto, los incrementos sustanciales en los niveles de IL-6 que se producen durante la realización de ejercicio pueden desempeñar un papel fundamental en la movilización de los sustratos energéticos en los músculos esqueléticos (139). Por otro lado, la inflamación sistémica crónica se ha definido como una condición en la cual se incrementan las concentraciones sistémicas de TNF- α , IL-1, IL-6, IL-1ra, el receptor del TNF- α (sTNF-R) y la PCR, de dos a cuatro veces por encima de los valores normales (137,140).

La evidencia científica demuestra que elevados niveles de citocinas son predictores del riesgo de mortalidad en sujetos de mediana edad (141) y de la tercera edad (142). Sin embargo, son muchas las investigaciones recientes (96,117,132,137,140,143–152) que demuestran que el ejercicio regular, de diferente duración e intensidad, produce efectos antiinflamatorios que reducen los niveles basales de TNF- α , IL-6 y PCR, pudiendo ser utilizado como medio terapéutico o preventivo para mitigar los procesos degenerativos asociados a la edad. Incluso en poblaciones con ciertas patologías relacionadas con el estado inflamatorio, como diabetes mellitus tipo 2 (153–156), obesidad (157), síndrome metabólico (153,158), enfermedades cardíacas (159–163), esclerosis múltiple (164) o miopatías (165), se han demostrado efectos positivos sobre el perfil inflamatorio gracias a la realización de ejercicio. En esta línea, parece que uno de los mecanismos por los que el ejercicio reduce la inflamación sistémica es la disminución de peso y, específicamente, de grasa corporal (117) a través de una reducción de la producción de

adipocitocinas (154), ya que se sabe que la obesidad se asocia con un estado inflamatorio y el tejido adiposo es una fuente de citocinas proinflamatorias (117). De hecho, se ha demostrado una correlación positiva entre diversos marcadores inflamatorios (e.g., TNF- α , IL-6 y PCR) y el índice de masa corporal (IMC) o el porcentaje de masa grasa (137), relacionándose las mejoras más grandes con pérdidas de peso de, al menos, un 10% (166). Por tanto, el tejido adiposo puede considerarse un órgano endocrino activo (146,166). Por otro lado, el ejercicio agudo, desarrollado a una intensidad moderada-alta, produce una respuesta bifásica característica en los niveles de biomarcadores inflamatorios circulantes. Dicha respuesta se caracteriza por un incremento, en las fases iniciales del ejercicio, de los marcadores proinflamatorios, seguido de una respuesta antiinflamatoria, lo cual a largo plazo podría producir beneficios (156,161,167).

De modo similar, las alteraciones en las concentraciones de leucocitos en la sangre están relacionadas con el ejercicio, el estrés y otras alteraciones fisiopatológicas. La continua migración y redistribución de las células linfocitarias, entre los sistemas sanguíneo y linfático, está influenciada por procesos fisiológicos, inmunológicos y patológicos (168). Centrándonos en los efectos del ejercicio sobre las concentraciones de las subpoblaciones linfocitarias, éstas se ven modificadas, existiendo además una relación entre las variaciones en los niveles linfocitarios y en los niveles de las citocinas (98,126). El ejercicio agudo, de modo similar a lo ocurrido con los biomarcadores inflamatorios, desemboca en una serie de cambios bifásicos característicos en el número de linfocitos circulantes en sangre. Durante y justo después del ejercicio, se produce un incremento en el número de linfocitos circulantes (i.e., linfocitosis) (e.g., T CD4+, T CD8+, B CD19+ y NK), el cual disminuirá por debajo de los valores de reposo durante las primeras fases del período de recuperación (i.e., linfocitopenia) para, posteriormente, retornar a los valores de reposo, normalmente, en las 12-24 h siguientes. Estos cambios en el comportamiento de los leucocitos como respuesta al ejercicio vienen determinados por la intensidad y por la duración de la AF (98,114,126,169–171). Sin embargo, esta supresión natural de la función celular no se produce, o sólo se produce durante unas horas, si la intensidad del ejercicio es moderada. Se ha demostrado que el ejercicio de resistencia moderado y mantenido a lo largo del tiempo no produce cambios, o incluso produce un incremento, en el conteo total de leucocitos, incluyendo el conteo de las diversas subpoblaciones linfocitarias como las células T y células NK, incrementando la

proliferación celular en respuesta a mitógenos (114,170). Por el contrario, si la intensidad del ejercicio es elevada y se repite a lo largo del tiempo (e.g., deportistas), el sistema inmune está caracterizado por una incapacidad del sistema celular inmune y una elevación concomitante del estado inflamatorio. Dicho de otro modo, las bajas concentraciones de linfocitos, junto con la supresión de la inmunidad natural y de la proliferación de linfocitos, coinciden con niveles elevados de citocinas pro y antiinflamatorias (98,114,126,172). A este respecto, se ha argumentado que los cambios agudos en la inmunidad tras un ejercicio intenso causan una inmunosupresión transitoria que, en el caso de los deportistas que entrenan con regularidad, se repite habitualmente, incrementando las posibilidades de contraer infecciones en comparación con los individuos sedentarios (114,126,170–172). En este sentido, parece que los efectos de la AF sobre la dinámica de los linfocitos y la función inmune pueden estar relacionados con las propiedades protectoras del ejercicio contra infecciones y enfermedades, mientras que la respuesta de las citocinas al ejercicio parece estar ligada al daño muscular o al desarrollo de las células musculares (98).

2.2.2.2.3. La variabilidad de la frecuencia cardiaca

A partir de un registro electrocardiográfico o electrocardiograma (ECG) se puede crear un gráfico en el que se graba la actividad eléctrica del corazón. El ECG está compuesto por tres ondas: la onda P, el complejo QRS y la onda T (99). El ritmo normal del corazón está controlado por el nódulo sinusal, que está modulado por la inervación del sistema nervioso autónomo (SNA), que se divide en sistema nervioso simpático (SNS) y sistema nervioso parasimpático (SNP) (173). La actividad del SNA se basa en un equilibrio entre el sistema SNS y el SNP (174).

A pesar de que la frecuencia cardiaca (FC) es relativamente estable, el tiempo entre dos latidos (i.e., medido como el tiempo que transcurre desde una onda R hasta la siguiente) puede diferir substancialmente. Dicha variación temporal entre dos latidos sucesivos se ha definido como variabilidad de la frecuencia cardíaca (99). La VFC viene determinada por las interacciones entre el sistema cardiovascular y el SNA (con su equilibrio simpático-vagal) (174,175). De hecho, las variaciones en los intervalos entre latidos se utilizan como un índice de la respuesta del SNA (99,176). Por tanto, la VFC mide la función del SNA, revelando información sobre la capacidad del organismo para

cambiar el intervalo temporal latido a latido, dependiendo de la intensidad de la carga de trabajo, para adaptarse a las demandas cambiantes tanto externas como internas (174).

La medición de la VFC se realiza a partir de un ECG, en el que se detecta cada complejo QRS y se examinan las variaciones latido a latido en los intervalos normales R-R, también denominados intervalos N-N (i.e., *normal to normal intervals*, en inglés), que son todos los intervalos entre complejos QRS adyacentes (99,177). La VFC es pues la variación temporal en una serie de intervalos R-R. Normalmente, una vez recogida la secuencia electrocardiográfica, se traspasan los datos a un sistema de programa informático que realiza una selección de los intervalos normales (i.e., N-N), desechando los R-R detectados en latidos anormales y, a veces, con la posibilidad de detectar y corregir errores de registro. A partir de estas mediciones, se calculan los diferentes parámetros de la VFC, en función del tiempo o de la frecuencia (i.e., dominio tiempo o dominio frecuencia, respectivamente) (174).

Las variables del dominio tiempo se definen como los diferentes parámetros estadísticos que resultan de la medición electrocardiográfica de las variaciones en los intervalos N-N a lo largo del tiempo (99,174). A partir de registros de FC instantánea o ciclos de intervalos, particularmente aquellos que se registran en largos períodos de tiempo (i.e., tradicionalmente 24 h), se pueden calcular mediciones del dominio tiempo más complejas. Éstas se dividen en 2 clases: a) las derivadas de la medición directa de los intervalos N-N, o de la FC instantánea y b) las derivadas de las diferencias entre intervalos N-N. Estas variables pueden calcularse a partir del registro total electrocardiográfico o a partir de segmentos más pequeños (177).

La Sociedad Europea de Cardiología junto con la Sociedad Norteamericana de Electrofisiología, recomiendan medir, para la evaluación del dominio tiempo de la VFC, las siguientes variables: la desviación típica del intervalo N-N (SDNN, del termino inglés *standard deviation of the normal to normal interval*, la cual estima la VFC total), el índice triangular de la VFC (estima la VFC total) y la raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las diferencias de intervalos N-N adyacentes (RMSSD, del término en inglés *square root of the mean squared differences of successive normal to normal intervals*, la cual estima los componentes a corto plazo de la VFC) (177).

Por otro lado, el dominio frecuencia muestra la VFC como la frecuencia a la cual cambia la longitud de los intervalos R-R (99). De cara a la evaluación del dominio frecuencia en los registros a corto plazo (i.e., de 2 a 5 min) existen 3 componentes espectrales principales que son: muy baja frecuencia (VLF, del término en inglés *very low frequency*, que incluye frecuencias comprendidas entre 0,003 y 0,04 Hz), baja frecuencia (LF, del término en inglés *low frequency*, que incluye frecuencias comprendidas entre 0,04 y 0,15 Hz) y alta frecuencia (HF, del término en inglés *high frequency*, que incluye frecuencias comprendidas entre 0,15 y 0,4 Hz). Por su parte, la proporción LF/HF estima el equilibrio simpático-vagal a partir de la influencia simpática (i.e., estrés y LF) y vagal (i.e., relajación y HF) (99,174,177).

El análisis de la VFC se ha considerado una técnica sencilla y no invasiva para la evaluación de la modulación autónoma de la FC a través de la medición instantánea de las variaciones latido a latido en la longitud de los intervalos R-R (99,176). Se ha sugerido firmemente en la literatura que la evaluación de la VFC es una herramienta válida y muy útil para el control de la adaptación al entrenamiento de deportistas (99,176,178–180) y para el control de la salud en población general (174,176,181–183) e, incluso, en colectivos con diversas patologías.

En personas con diversos tipos de ECNT, la evaluación de la VFC proporciona información importante a la hora de determinar el diagnóstico, pronóstico y las estrategias de tratamiento en los casos de diabetes mellitus (184–186), síndrome metabólico (187), patología cardiovascular (100,175,188–193), fibromialgia (194,195) y en algunos tipos de cáncer (72).

Por su parte, en el ámbito deportivo, la medición de la VFC sirve para evaluar si el ejercicio físico o el entrenamiento que se está realizando se tolera de forma adecuada o si, por el contrario, puede estar generando un estado de fatiga o sobreentrenamiento que afectaría al rendimiento del deportista hasta el punto de llegar, si no se actúa antes, a incrementar el riesgo de lesión (176,179).

Mientras que una elevada VFC es signo de salud y de una buena adaptabilidad del sistema cardiovascular, una baja VFC indica una mala condición de salud, una función anormal del corazón o una inadecuada adaptabilidad del SNA (175,188,193). El predominio del influjo del SNS de manera permanente se manifiesta a través de una

VFC baja, pudiendo ser causa de trastornos de salud, depresiones, sobreentrenamiento o lesiones musculares, en el caso de los deportistas (174,193). Incluso, los valores bajos de VFC se han asociado a un incremento de la mortalidad, de eventos cardíacos y del riesgo de muerte súbita como consecuencia de un evento cardíaco en pacientes asintomáticos (99,175,177). Por el contrario, una VFC alta parece ser un indicador de menor morbi-mortalidad en estados postpatológicos, o de correcta tolerancia a las cargas de trabajo y a los entrenamientos en el caso de deportistas (174,176,178,179), asociándose con niveles elevados de VO_{2max} (99) y con una mayor bradicardia en reposo (176,180).

Entre otros factores, se ha sugerido que la edad y el sexo influyen en la VFC de sujetos sanos, siendo menor la VFC a medida que incrementa la edad y mayor en las mujeres en comparación con los hombres, lo cual puede explicar, en parte, que las mujeres tengan menor riesgo cardiovascular que los hombres y mayor longevidad (99,176,196). De igual modo, la posición en el momento de la evaluación de la VFC es determinante. De hecho, se ha constatado que la VFC es mayor en posición de tendido supino en comparación con una posición más erguida o de bipedestación. Al cambiar de una posición de tendido supino a una erguida, la sangre descenderá rápidamente a las extremidades inferiores como consecuencia de la fuerza de la gravedad, provocando una disminución de la PA. Los barorreceptores situados en las paredes de la arteria carótida detectan el cambio en la presión y producen una taquicardia como respuesta refleja, reduciendo así la VFC en la posición erguida o en bipedestación (99,182,197).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se recomienda que la medición de la VFC se realice durante la noche o durante las primeras horas de la mañana, ya que en esos momentos del día la VFC resulta una mejor herramienta para valorar la fatiga acumulada que la FC en reposo debido a que refleja mejor los cambios en el SNA (183).

2.2.2.2.4. La presión arterial

La HTA está considerada en la actualidad como uno de los principales factores de riesgo cardiovascular (198). Tanto es así, que los riesgos de morbilidad se duplican por cada ~20 mm Hg de incremento en la presión arterial sistólica (PAS), a partir de los ~115 mm Hg, y por cada 10 mm Hg en la presión arterial diastólica (PAD), a partir de

~75 mm Hg (198). Por eso, es necesario destacar que incluso reducciones pequeñas en los valores de PA de individuos con niveles anormalmente elevados, reportan beneficios saludables a través de la disminución de la mortalidad como consecuencia de patologías cardiovasculares o de infartos (198,199).

En un reciente estudio de revisión llevado a cabo por Fagard (2011) se ha sugerido que tanto los niveles de AF, como los de aptitud física, muestran una correlación inversa con los niveles de PA y con el desarrollo a largo plazo de HTA. Está bien establecido que el ejercicio tiene un efecto de reducción de la PAS y de la PAD, aunque dichas disminuciones están condicionadas por los niveles iniciales de PA (200). En este sentido, se concluyó que el ejercicio aeróbico regular puede reducir la PAS y la PAD en reposo en ~3 y ~2,4 mm Hg, respectivamente, en individuos normotensos, aunque estas disminuciones son menores que en individuos hipertensos (200,201). De este modo, parece que los individuos físicamente activos tienen un ratio de mortalidad entorno a un 40-60% menor que los individuos hipertensos sedentarios. Además, los sujetos sedentarios tienen entre un 35% y un 53% más de posibilidades de desarrollar HTA (13).

La Sociedad Europea de Hipertensión y la Sociedad Europea de Cardiología, en su reciente pronunciamiento de 2013, clasifican los niveles de PA como se muestra en la Tabla 2 (101).

En relación con la Tabla 2, se ha sugerido que, en personas mayores de 50 años, valores de PAS superiores a los 140 mm Hg suponen un riesgo cardiovascular mucho más elevado que la PAD. En este sentido, los individuos con una PAS entre 120 y 139 mm Hg o con una PAD entre 80 y 89 mm Hg, han de considerarse como prehipertensos, requiriendo modificaciones en el estilo de vida para prevenir patologías cardiovasculares (202).

Tabla 2. Definición y clasificación de los niveles de presión arterial (mm Hg).

Categoría	Sistólica		Diastólica
Óptima	<120	y	<80
Normal	120-129	y/o	80-84
Normal-Alta	130-139	y/o	85-89
Hipertensión grado 1	140-159	y/o	90-99
Hipertensión grado 2	160-179	y/o	100-109
Hipertensión grado 3	≥180	y/o	≥110
Hipertensión sistólica aislada	≥140	y	<90

La categoría de la presión arterial se define como el nivel más elevado de presión arterial, ya sea sistólica o diastólica. La hipertensión sistólica aislada ha de clasificarse en grados 1, 2 ó 3, en función de los niveles de presión arterial sistólica en los rangos indicados.

Adaptado a partir de Mancia et al. (2013).

2.2.2.2.5. El peso, la composición corporal y el perímetro de cintura

El sobrepeso y la obesidad se correlacionan con un gran número de factores de riesgo para la contracción de ECNT, aunque también son factores de riesgo independientes para el incremento de la morbilidad y mortalidad (203,204). El IMC es un índice sencillo que se utiliza habitualmente para clasificar a los individuos en una escala cualitativa en función del peso corporal: “por debajo del peso óptimo”, “sobrepeso” u “obeso” (205). Sin embargo, el IMC no discierne la composición corporal. De hecho, las diferencias en las proporciones corporales y en la relación entre el IMC y la masa grasa pueden afectar al rango del IMC considerado como saludable (205). En este sentido, se ha establecido que aquellos valores de IMC que alcanzan o superan los 25 kg/m² se asocian con el riesgo de padecer ECNT o de adquirir otros factores de riesgo asociados (102).

Por otro lado, la distribución de la grasa corporal tiene especial relevancia en cuanto a los riesgos asociados con la obesidad y la contracción de otras ECNT. Además del exceso de grasa corporal total, la acumulación excesiva de grasa en la región abdominal se considera un factor de riesgo en sí mismo (205). Por tanto, es importante distinguir entre los individuos que tienen un riesgo elevado debido a una “distribución abdominal de la grasa corporal” de aquellos que su masa grasa está distribuida más periféricamente, lo cual se conoce como “obesidad androide” (205).

Uno de los métodos más sencillos, y comúnmente aceptado, para la evaluación de la grasa intraabdominal consiste en la medición del perímetro de cintura (206,207). Éste se mide en el punto intermedio situado entre la cresta ilíaca de la pelvis y el borde inferior de la caja torácica (208), siendo los valores considerados saludables inferiores a los 88 cm, en el caso de las mujeres, y 100 cm en el caso de los hombres (209).

Por otra parte, son varios los métodos existentes para la determinación o estimación de la composición corporal (e.g., método de pliegues de grasa, bioimpedancia eléctrica, etc.), siendo el método de medición de pliegues de grasa una herramienta eficaz y de gran aplicabilidad de cara a la estimación del porcentaje de masa grasa corporal (210). Así, se ha sugerido que las reducciones del perímetro de cintura (104,105,211) o del % graso (103) se relacionan con la mejora del pronóstico de los factores de riesgo cardiovascular o el padecimiento de ECNT.

2.2.3. Resumen del apartado

A pesar de que los humanos todavía estamos genéticamente dotados para realizar una gran cantidad de AF diaria, los avances tecnológicos experimentados a lo largo de la historia, y especialmente de forma reciente, han provocado que la cantidad de AF desarrollada por la población de los países industrializados descendiese drásticamente en los últimos años y que incrementasen las conductas sedentarias. Estas condiciones, unidas a una ingesta excesiva de alimentos y a otros hábitos insalubres como el tabaquismo o el elevado consumo de alcohol, son los orígenes y las causas de la mayoría de ECNT y de sus factores de riesgo asociados.

Además de la práctica regular de ejercicio como medio para el mantenimiento o la mejora del estado saludable, también se ha demostrado que la reducción de las conductas sedentarias, especialmente a través de la disminución del tiempo de sedestación, y el incremento del gasto energético total derivado de la AF, mediante el incremento de la TNRE, pueden reportar mayores beneficios para la salud, incluso en individuos que cumplen los niveles mínimos de ejercicio saludable prescritos por las organizaciones internacionales.

2.3. LA ACTIVIDAD FÍSICA Y LA SALUD

2.3.1. Recomendaciones internacionales para la realización de actividad física

Los alarmantes niveles de sedentarismo y la creciente prevalencia de ECNT y de sus factores de riesgo asociados en las sociedades industrializadas, llevaron a los gobiernos de los diferentes países a idear estrategias de intervención para revertir esta situación.

Las recomendaciones para la realización de AF basadas en la evidencia científica no se llevaron a cabo hasta los años 60 del pasado siglo. Así, expertos de diferentes organizaciones de la salud comenzaron a recomendar programas específicos de AF para promocionar la AF como terapia no medicamentosa, tales como el *President's Council on Physical Fitness* de 1965, la AHA en 1972 y 1975 y el ACSM en 1975. En 1978 el ACSM publicó un pronunciamiento titulado "La cantidad y calidad recomendadas de ejercicio para el desarrollo y el mantenimiento de la aptitud física en adultos sanos". Este pronunciamiento indicó el ejercicio que necesitarían los adultos sanos para desarrollar y mantener la aptitud física cardiorrespiratoria y una composición corporal saludable (13).

Entre 1978 y 1990, la mayoría de las recomendaciones de ejercicio hechas para la población general se basaron en este pronunciamiento de 1978.

Ya en 1990, el ACSM actualizó su pronunciamiento añadiendo el desarrollo de la fuerza muscular como un objetivo primordial. Las recomendaciones de 1990 también reconocieron que las actividades de intensidad moderada podían tener efectos beneficiosos para la salud, independientemente de mejorar la aptitud física cardiorrespiratoria. Además, se hizo una distinción importante entre la AF relacionada con la salud y la relacionada con la aptitud física. La cantidad y calidad de ejercicio necesaria para alcanzar beneficios relacionados con la salud difería de aquella recomendada para mejorar la aptitud física cardiorrespiratoria. Niveles más bajos de AF eran suficientes para obtener beneficios para la salud, mientras que para mejorar el VO_{2max} se requerían niveles superiores. Como consecuencia de estos hallazgos, el *Centers for Disease and Control Prevention* (CDC) y el ACSM publicaron

conjuntamente en 1998 unas directrices en las que reflejaron los beneficios de la AF de baja intensidad, aunque se seguían centrandó en mejorar la aptitud física cardiorrespiratoria (13).

Ya más recientemente, en 2009, el ACSM publicó un nuevo pronunciamiento en modelos progresivos de entrenamiento de fuerza para adultos sanos (212) y, en 2011, actualizó el pronunciamiento de 1998 para el desarrollo y mantenimiento de la aptitud física cardiorrespiratoria y muscular, así como de la flexibilidad, en adultos sanos (82).

Por otro lado, la AHA y el ACSM consideran que todas las instalaciones que ofrezcan equipamiento o servicios deportivos deberían de llevar a cabo controles para la detección de problemas cardiovasculares. El objetivo principal de este *screening*, previo a la realización de cualquier tipo de ejercicio, es identificar a aquellos sujetos que están predispuestos a sufrir o no un evento cardíaco durante la práctica de ejercicio. En este sentido, una herramienta práctica, sencilla y rápida para llevar a cabo el *screening* pre-participación es la realización de un cuestionario llamado PAR-Q (213). El PAR-Q se centra, primordialmente, en los síntomas que pueden desvelar una angina de pecho. El sujeto deberá de acudir a su médico si responde afirmativamente a una o más preguntas. Además, este cuestionario también identifica problemas músculo-esqueléticos que deberían ser evaluados previamente a la realización de AF (213). Generalmente, la mayoría de los adultos no necesitan visitar a su médico antes de comenzar un programa de AF moderada; sin embargo, los hombres mayores de 40 años y las mujeres mayores de 50 años que quieran participar en un programa de ejercicio vigoroso (i.e., intensidad >60% VO_{2max}) o que tengan una ECNT y/o varios factores de riesgo para contraer una patología crónica, deberían consultar a su médico previamente a su participación (214).

Las recomendaciones internacionales parecen coincidir en que la dosis mínima necesaria de ejercicio según la frecuencia, el tipo y la duración del mismo, para personas sanas o con determinados factores de riesgo o enfermedades, debe ser de 5-6 días por semana de ejercicio leve-moderado o moderado, acumulando un total de 150 min por semana, o 3-4 días por semana de ejercicio moderado-intenso, acumulando un total de 75 min por semana. Los rangos de intensidad de ejercicio recomendados se sitúan entre el 55%/65-90% de la frecuencia cardíaca máxima ($FC_{máx}$) o entre el 40-85% de la FC de reserva (FC_R), lo cual se ha asociado tradicionalmente a intensidades

cercanas a los dos umbrales fisiológicos (i.e., umbral aeróbico o 1° umbral ventilatorio y umbral anaeróbico o 2° umbral ventilatorio, respectivamente) (82,215). La FC_R se calcula como la diferencia entre la FC_{max} y la FC en reposo. Para estimar la intensidad del entrenamiento, en pulsaciones por minuto, al porcentaje aplicado (i.e., intensidad deseada) a este valor (i.e., valor máximo menos valor de reposo) se le suma nuevamente el valor en reposo (82,215).

En cuanto a los tipos de ejercicio seleccionados, éstos han de implicar el movimiento de los grandes grupos musculares (e.g., caminata, carrera, ciclismo, esquí de fondo, aeróbic, natación, remo, subir escaleras, etc.). En este sentido, es de vital importancia tener en cuenta que la FC_{max} es distinta en función del modo de ejercicio si no se tiene un nivel muy elevado de entrenamiento en alguna actividad de las que habitualmente muestran valores más bajos. Estas son, principalmente, la natación, el ciclismo o el ejercicio exclusivo de brazos, precisamente por motivos de cantidad de masa muscular implicada, posición y medio o soporte del peso corporal. Por tanto, para estas actividades, habrá que realizar estimaciones alrededor de un 5% a un 10% inferiores a las calculadas (216).

La duración de cada sesión dependerá de la intensidad de ejercicio. Para las sesiones de baja intensidad han de realizarse un mínimo de 30 min de ejercicio diarios, mientras que si la intensidad es mayor la duración mínima a lo largo del día ha de ser de 20 min. En este sentido, la acumulación de los 30 min de actividad diaria moderada-intensa podría ser llevada a cabo en series de 10 min de duración o más (11,82,217,218).

Por otra parte, se ha recomendado tradicionalmente, para el desarrollo de la condición física neuromuscular en adultos sanos, la realización de ejercicios de fuerza, que impliquen a los grandes grupos musculares, de baja intensidad y alto volumen (i.e., fuerza destinada a la mejora de la resistencia muscular), o de intensidad media y volumen medio (i.e., fuerza destinada a la hipertrofia) (82,212), acompañados por ejercicios de flexibilidad un mínimo de dos días por semana. Además, el volumen de ejercicio total debería permitir gastar, como mínimo, 1000 kcal (4200 kJ) por semana. La intensidad del ejercicio y la modalidad ha de ser prescrita de forma individual para ambos sexos en función del estado de salud, la edad y la condición física del individuo y todo ello se combinará con un estilo de vida saludable y una dieta variada y rica en vegetales y frutas (11,82,217,218).

En la Tabla 3 se muestra un resumen con las recomendaciones actuales para llevar a cabo un estilo de vida activo mantenido a lo largo del tiempo.

Tabla 3. Recomendaciones para un estilo de vida activo a lo largo de toda la vida.

- Los niños y los jóvenes deben acumular un total de, como mínimo, 60 min al día de AF de intensidad moderada. Del mismo modo, se deberán incluir un mínimo de dos sesiones semanales de actividades que mejoren el componente óseo (i.e. actividades que produzcan un alto estrés físico en los huesos), la fuerza muscular y la flexibilidad.
- Los adultos deberán acumular un total de, como mínimo, 30 min diarios de AF de intensidad moderada, cinco días por semana.
- Los niveles recomendados de actividad pueden acumularse tanto en una única sesión diaria como en varias sesiones de 10 min de duración o más. La actividad puede encuadrarse dentro de la vida cotidiana (e.g., subir escaleras, caminar rápido, etc.), o ser un ejercicio estructurado o un deporte, o una combinación de ambos.
- Todos los movimientos contribuyen al gasto energético, siendo éste importante para el control de la masa corporal. Esto se traduce en que son necesarios entre 45-60 min diarios de AF de intensidad moderada para prevenir la obesidad. Respecto al componente de masa ósea, también son de gran importancia aquellas actividades que produzcan un estrés mecánico significativo en los huesos (e.g., correr).
- Las recomendaciones para adultos también son aplicables a las personas mayores, si bien es cierto que la intensidad absoluta de las actividades puede ser menor, dependiendo del historial de cada individuo. La gente mayor deberá preocuparse particularmente de continuar moviéndose y de mantener la movilidad a lo largo de la actividad diaria. De manera adicional, aquellas actividades que desarrollen y mejoren la fuerza, la coordinación y el equilibrio, serán también beneficiosas para las personas mayores.

Adaptado a partir de Department of Health, Physical Activity, Health Improvement and Prevention (2004).

2.3.2. Los modelos de actividad física para el mantenimiento y mejora de la salud basados en la Prehistoria: La herencia genética

Desde el origen de la humanidad, hace aproximadamente 2,4 millones de años (219), hasta la Revolución Agrícola, nuestros ancestros vivieron como cazadores-recolectores durante unas 84.000 generaciones (43,44). La supervivencia de estos primeros humanos demandó, ya desde edades muy tempranas (i.e., 4-5 años) y hasta que enfermaban o se debilitaban por la edad (43), una gran cantidad de gasto energético diario en actividades como la búsqueda de alimento (i. e. caza y recolección) y agua, las interacciones sociales, la huida de los depredadores y el mantenimiento del cobijo y de la vestimenta (44–46) (Tabla 4). Para ello, los humanos necesitaron caminar grandes distancias, así como correr rápido o durante tiempo prolongado (11), transportar pesos, saltar, lanzar objetos, etc. (49). Se puede considerar, por tanto, que todas estas actividades han permitido el desarrollo filogenético de la especie humana. Dicho de otro modo, la

presión de selección ha favorecido la natural expresión de estas actividades para la supervivencia.

Es también importante destacar que las actividades y los roles sociales diferían entre hombres y mujeres. Por los datos obtenidos en etnias que todavía viven como cazadores-recolectores, todo parece indicar que ya desde el inicio de la humanidad existió la división de tareas en función del sexo. De este modo, una de las principales misiones de las mujeres era cuidar y amamantar a los niños, entre otras actividades. Para ello, realizaban tareas de bajo riesgo, tales como: cosechar cultivos, procesar alimentos, forrajear en el bosque para buscar alimentos y transportarlos al campamento (e.g., recolectar vegetales, frutas, bayas, frutos secos, tubérculos y otras plantas, así como buscar comida de procedencia animal como huevos, moluscos y varios tipos de anfibios y pequeños mamíferos) y tareas domésticas como mantener el cobijo y construir útiles. Las actividades que implicaban un riesgo elevado eran llevadas a cabo por los hombres. Estas actividades incluían la caza de animales y la adquisición de productos naturales de difícil acceso (e.g., algunos vegetales, miel, etc.) (51,53,54,220). A pesar de esto, parece que las mujeres gozaban de una buena aptitud física debido a que, habitualmente, portaban con ellas a los niños mientras realizaban sus tareas cotidianas (54,220). Además, eran las encargadas de mover los campamentos, contruidos temporalmente (i.e., durante 1-3 días), para forrajear en el bosque y buscar caza (54), así como de ayudar a los hombres a transportar las presas de vuelta al campamento (49,54). En este sentido, sabemos que las tribus realizaban frecuentemente jornadas de caza para conseguir alimento y agua. Tras una caza y/o recolección fructífera, se solían realizar viajes de 9 a 32 km para visitar a tribus vecinas y festejar el éxito mediante juegos culturales y danzas que duraban varias horas (50). Este patrón paleolítico de subsistencia, junto con las celebraciones, demandaba un alto nivel de aptitud física que se desarrollaba a través de diferentes formas de AF (50), probablemente alternando días de actividad de alta intensidad o “difíciles” (e.g., cazar, forrajear, transportar objetos, etc.), con una mayor predominancia de días de actividad de más baja intensidad o “fáciles” (e.g., largos desplazamientos a baja intensidad, mantenimiento del cobijo y de la vestimenta, etc.), siguiendo un patrón de AF polarizado (8,47,48). Este patrón de AF paleolítico ha sido hipotéticamente representado por Boullosa et al. (2013) en un interesante y reciente estudio de revisión sobre el tema (Figura 3). En este sentido, se ha sugerido que este mismo patrón de alternancia de días duros con otros más suaves,

confiere una mejor aptitud física y una menor incidencia de lesiones (8). La mayor predominancia de días fáciles podría estar condicionada, entre otros motivos, por la disponibilidad de sustrato energético para el desarrollo de la AF. Se sabe que la disponibilidad de glucógeno como fuente energética era escasa y, normalmente, primaba la oxidación de las grasas para la obtención de energía. Con estas condiciones, la intensidad de ejercicio que se podía desarrollar venía limitada por cuestiones bioenergéticas (47).

De este modo, la AF regular era uno de los componentes principales de la vida (6) y un requerimiento necesario para sobrevivir en las primeras etapas de la historia de la humanidad (80). En consecuencia, las adaptaciones genéticas al medio Paleolítico debían permitir realizar gran cantidad de AF diaria, convirtiéndose, de este modo, en una presión selectiva (46) que determinó la composición genética humana (43). La selección de los genes para la supervivencia a lo largo de cientos de miles de años incluye los procesos metabólicos que optimizan la partición, conservación y utilización de la energía. Los genes fueron seleccionados para desarrollar el metabolismo aeróbico y para llevar a cabo la AF que permitió la supervivencia mediante la búsqueda de alimento, la defensa y la reproducción (221). Este tipo de vida podría representar, por consiguiente, el patrón de AF para el cual seguimos genéticamente adaptados (48). La proporción de nuestro genoma que conforma la anatomía y la fisiología básicas ha permanecido relativamente intacta durante los últimos 40.000 años (43), al igual que nuestras habilidades intrínsecas, las cuales permanecen prácticamente inalteradas si las comparamos con nuestros ancestros de la Edad de Piedra (7). Podría decirse, en términos genéticos, que los humanos somos ciudadanos del Paleolítico que vivimos en el S.XXI (67). Igualmente, nuestra herencia genética, conformada a lo largo de millones de años de evolución, ha determinado nuestras necesidades nutricionales y de gasto energético (222). Las complejas interrelaciones entre la ingesta, el gasto energético y los requerimientos específicos de AF para los humanos de la actualidad siguen siendo muy similares a los de los hombres y mujeres del Paleolítico (43). A pesar de que el genoma humano no ha sufrido casi ningún cambio desde la Revolución Agrícola, nuestra dieta y estilo de vida han evolucionado mucho desde nuestros ancestros (222). Las profundas y progresivas discrepancias entre la AF diaria actual y los patrones de ejercicio de los cazadores-recolectores del Paleolítico, resultan en atrofia, discapacidad y enfermedad (7). Por tanto, todo parece indicar que la gran mayoría de problemas relacionados con la

salud que asedian a las culturas modernas son debidos a que los patrones de AF diarios son muy diferentes de aquellos para los cuales estamos genéticamente adaptados (8). Además, el desajuste existente entre la dieta y los estilos de vida modernos y nuestro genoma Paleolítico es la razón principal de la aparición de las ECNT actuales y de sus factores de riesgo asociados (8,222).

El hecho de realizar muy poca AF diaria en un sistema diseñado para realizar actividad aeróbica produce, inicialmente, una redistribución de los sustratos energéticos para minimizar la entrada de la glucosa en los músculos esqueléticos y para maximizar el almacenamiento de grasas, progresando eventualmente hacia la obesidad y la diabetes mellitus tipo 2 (221). Estas adaptaciones, que producen un nuevo fenotipo que hace que el organismo esté más entrenado para la supervivencia bajo las condiciones del nuevo medio, muestran cómo un cambio en el medio puede generar adaptaciones perjudiciales que pueden derivar en las ECNT del mundo moderno (46).

A pesar de que los cambios en los patrones dietéticos han sido drásticos, hasta hace 500 generaciones todos los humanos consumían solamente comida sin procesar, forrajeaban y cazaban. Estas circunstancias les permitieron llevar una dieta alta en proteínas magras, grasas poliinsaturadas (especialmente ácidos grasos omega-3), grasas monoinsaturadas, fibra, vitaminas, minerales, antioxidantes y otros fitoquímicos beneficiosos (222). Los estudios históricos y antropológicos muestran que los cazadores-recolectores estaban, generalmente, sanos, poseían una buena aptitud física y no padecían las ECNT que se dan en las sociedades occidentales actuales (14,222).

En la evidencia científica, se ha sugerido que el estudio y comprensión de los patrones de AF llevados a cabo por los cazadores-recolectores parece ser una base ideal para el diseño, prescripción y desarrollo de programas de ejercicio saludable (7,8). En este sentido, Cordain y Friel (2005) hicieron una interesante analogía entre actividades típicas que desarrollaban los cazadores-recolectores en la Era Paleolítica y actividades actuales equivalentes para emular un gasto energético similar (Tabla 4) (49). En una persona inactiva, este tipo de AF diaria optimizará la expresión genética y ayudará a conferir una salud más robusta, acorde con la que poseían los cazadores-recolectores en la naturaleza (8).

Teniendo en cuenta lo anterior, todo indica que aquellos individuos que tengan un estilo de vida físicamente más activo serán los que tengan más probabilidades de disfrutar de una mayor esperanza y calidad de vida, así como de un menor riesgo de sufrir ECNT (37,67,223). Esta idea estaría avalada por el reciente trabajo de Sanchís-Gomar et al. (2011) en el cual se sugiere que la realización de ejercicio de alta intensidad de forma

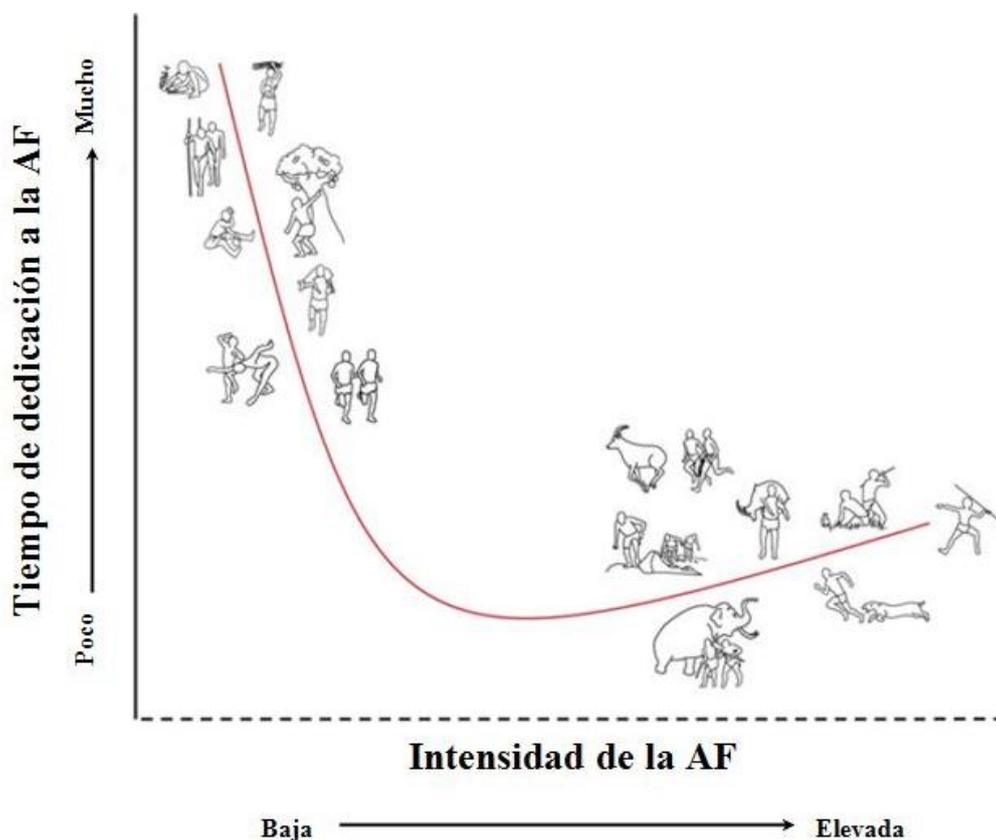


Figura 3. Distribución hipotética de las actividades físicas desarrolladas durante la Era Paleolítica.

AF: actividad física.

Adaptado a partir de Boullosa et al. (2013).

regular incrementa la expectativa de vida en individuos bien entrenados. Estos autores demostraron que ciclistas de élite que corrieron el Tour de Francia tuvieron una esperanza de vida de un 17% mayor que las cohortes de edades similares pertenecientes a la población general (68). Cabe destacar, en este sentido, que los deportistas de nivel mundial de disciplinas de resistencia son los que más se aproximan al patrón de AF Paleolítico, ya que siguen sin excepción una distribución polarizada de las cargas de entrenamiento, así como un trabajo concurrente, en muchos casos. Por consiguiente, todo apunta a que estos individuos serán los que más podrán disfrutar de todos sus beneficios.

Tabla 4. Actividades de los cazadores-recolectores o forrajeros y actividades actuales recomendadas para conseguir un gasto energético similar.

Actividad de los cazadores-recolectores	Actividad actual equivalente	kcal gastadas por hora (hombre de 80 kg)	kcal gastadas por hora (mujer de 60 kg)
Transportar leña	Transportar equipaje, provisiones	893	670
Correr (campo a través)	Correr (campo a través)	782	587
Transportar carne (20 kg) al campamento	Caminar llevando una mochila a la espalda	706	529
Llevar a un niño pequeño	Llevar a un niño pequeño	672	504
Cazar, acechar animales	Entrenamiento interválico	619	464
Desenterrar tubérculos	Jardinería	605	454
Danzas (ceremonias)	Baile (aeróbic)	494	371
Transportar, recolocar piedras	Levantar pesos	422	317
Despiezar grandes animales	Cortar madera con un hacha	408	306
Caminar a paso normal (por campos y colinas)	Caminar a paso normal (por caminos, prados, etc.)	394	295
Recolectar alimentos vegetales	Cuidar el jardín	346	259
Construir cobijos	Carpintería	250	187
Construcción de útiles y herramientas	Trabajo doméstico vigoroso	216	162

Adaptado a partir de Cordain y Friel (2005).

2.3.3. La relación dosis-respuesta del entrenamiento físico

La relación dosis-respuesta existente entre los niveles de AF o ejercicio y la mejora de los parámetros saludables o de rendimiento viene caracterizada por: a) un umbral por debajo del cual no se producen adaptaciones o éstas son muy pequeñas, b) una zona donde los efectos incrementan hasta un punto óptimo y c) un límite por encima del cual no se obtendrán más mejoras y en el que se puede producir sobreentrenamiento (79) (Figura 4). Cobra importancia en esta relación el componente dosis, que implica diversas características del ejercicio incluyendo: el tipo (e.g., dinámico vs. estático o la cantidad de masa muscular implicada), la intensidad (absoluta y relativa respecto a la capacidad máxima individual), la duración de la sesión, la frecuencia y el número total de sesiones, así como el plazo de tiempo a lo largo del cual se desarrollan las mismas. Además, han de tenerse en cuenta otros factores antes de comenzar un plan regular de AF, tales como: los niveles de aptitud física y de ejercicio iniciales, los factores nutricionales, que pueden interactuar con el ejercicio (e.g., la toma de calcio o estrógenos pueden influir en los efectos del ejercicio sobre la masa ósea), y los determinantes genéticos de la respuesta (224).

La evidencia científica (35,41,82,214,225) muestra claramente que existe una relación dosis-respuesta entre los niveles de AF regular y la mejora de los parámetros saludables, incluyendo rangos de gasto energético semanales comprendidos entre las ~700 y las ~2000 kcal. De hecho, la cantidad de AF realizada se correlaciona inversamente con la mortalidad total (36,226) (Figura 5) y, concretamente, con la mortalidad debido a motivos cardiovasculares o respiratorios (227), así como con los factores de riesgo asociados (228). En este sentido, varios estudios epidemiológicos han establecido que el volumen de AF necesario para obtener beneficios específicos para la salud implica un gasto energético aproximado de 1000 kcal por semana mediante la realización de AF de intensidad moderada, lo cual implica la acumulación de, aproximadamente, 150 min semanales (82). Algunos autores (229) han sugerido que la realización de AF que conlleva dicho gasto energético semanal se asocia con una reducción del 20-30% de la mortalidad por cualquier causa. Esta idea queda avalada por el hecho de que el incremento en el gasto energético, derivado de la AF, de 1000 kcal por semana o el aumento de la aptitud física en 1 MET, se traduce en un incremento de la esperanza de

vida de entre un 12% a un 20% (94,95). Sin embargo, es preciso recordar que la literatura científica muestra que la cantidad de ejercicio necesario para reducir el riesgo de enfermedad de forma significativa es considerablemente menor que la necesaria para desarrollar y mantener altos niveles de condición física (230). Así, se ha demostrado que, incluso por debajo de estos niveles recomendados, parece que es posible obtener beneficios para la salud con gastos energéticos semanales que rondan las 500 kcal (82). Por tanto, hay que diferenciar bien entre poseer una buena aptitud o condición física (algo deseable pero que sólo consigue una minoría de la población) y alcanzar un nivel saludable de aptitud física (i.e., aquel nivel necesario para disfrutar de los beneficios que ofrece el ejercicio, con una inversión de tiempo y esfuerzo mínimos) (230). En cualquier caso, cuanto mayores sean los niveles de AF, mayores serán también los beneficios alcanzados y, por lo tanto, la dosis-respuesta (82).

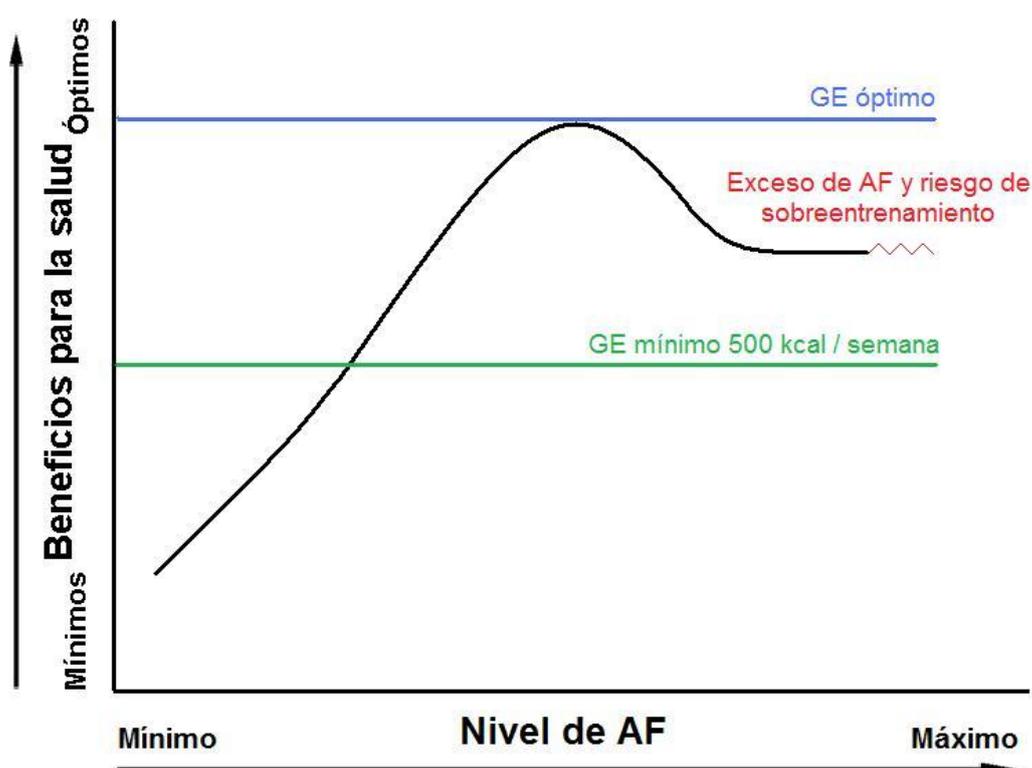


Figura 4. Relación entre los niveles de la AF y los beneficios para la salud.

GE: Gasto energético; AF: actividad física.

Llegados a este punto, surge aquí un problema. La falta de un *gold standard* o patrón de referencia para la medición en campo de la AF ha imposibilitado el desarrollo de un método universal para la evaluación de la AF y la determinación del gasto energético

(231). Es importante resaltar, en este sentido, la diferencia existente entre AF y gasto energético. Mientras que el primer término hace referencia a la acción o comportamiento, el segundo es el resultado del primero y se cuantifica normalmente en términos de frecuencia (i.e., número de series/repeticiones/sesiones) y duración (i.e., horas, minutos, segundos). Por tanto, el gasto energético representa el coste energético o la intensidad asociada a una AF determinada (231).

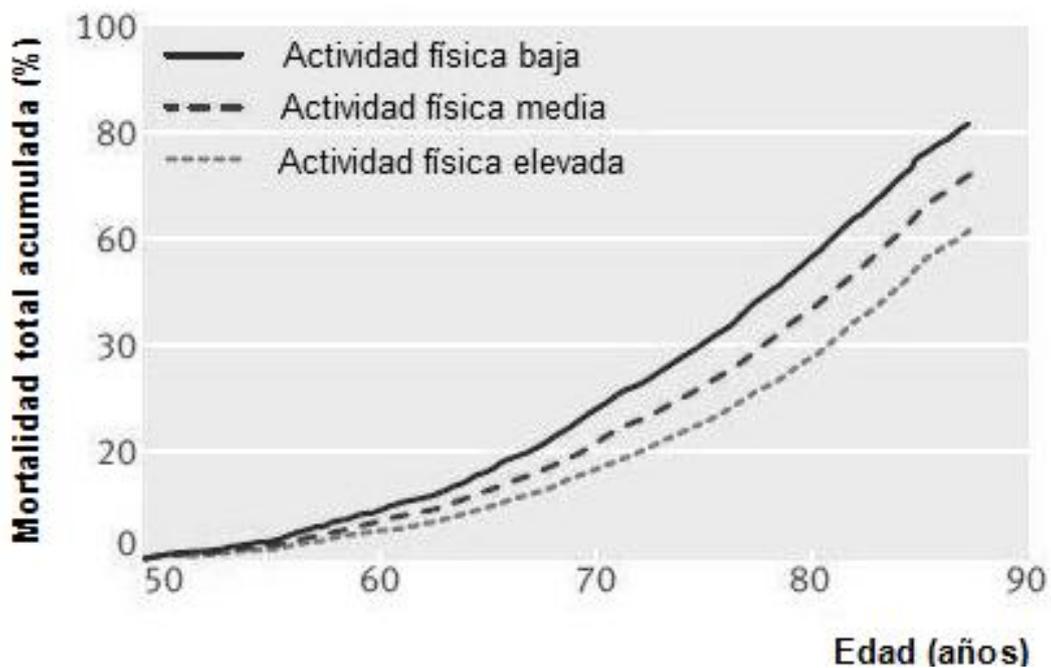


Figura 5. Relación existente entre la cantidad de AF realizada diariamente y la mortalidad a largo plazo en función de la edad.

Adaptado a partir de Byberg et al. (2009).

2.3.4. Los efectos de la AF sobre la aptitud física relacionada con la salud, las enfermedades crónicas no transmisibles y sus factores de riesgo asociados

2.3.4.1. El volumen de la AF

La prescripción de ejercicio se basa en la frecuencia, la intensidad y la duración del entrenamiento, el tipo de actividad y el nivel inicial de aptitud física del sujeto. Dentro de este marco, el volumen total de entrenamiento se convierte en una referencia importante para mejorar la aptitud física y la salud (82).

Así lo demuestran varios autores (229), que argumentan un incremento del riesgo de mortalidad, por cualquier causa (i.e., 2,74 veces) y debida a enfermedades cardiovasculares (i.e., 3,58 veces), en individuos sedentarios (e.g., aquellos cuyo gasto energético semanal estimado en AF realizada en tiempo libre es <800 kcal) respecto a los que son físicamente activos (e.g., aquellos cuyo gasto energético semanal estimado en AF de tiempo libre ≥ 2100 kcal). Por ejemplo, parece que el hecho de caminar una distancia mayor o igual a 9,7 km por semana se asocia con una disminución del 33% del riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (232). Otros autores sitúan el umbral en 13 km semanales, por encima del cual un programa de carrera conllevará mejoras en el perfil lipoprotéico plasmático (233). La evidencia científica corrobora esta afirmación, ya que parece que aquellos sujetos que realizan un mayor kilometraje semanal tienen valores más elevados de colesterol HDL (c-HDL) y disminuyen el índice de obesidad, las concentraciones de triglicéridos, el ratio colesterol total/c-HDL, los niveles de PA y el uso de medicación hipotensora e hipolipemiante, incluso en más de un 50% (234).

En esta línea, se ha demostrado que el control del peso corporal es clave de cara a la prevención, tratamiento y reversión de las ECNT y sus factores de riesgo asociados (235), siendo recomendado el entrenamiento de fuerza como medio para mejorar la composición corporal y disminuir dichos riesgos (236). En este sentido, se estima que un exceso de peso (e.g., $IMC \geq 25$ kg/m²) unido a la inactividad física (e.g., <3,5 h semanales de ejercicio), puede suponer un 31% de todas las muertes prematuras, un 59% de las muertes por enfermedad cardiovascular y un 21% de las muertes por cáncer

en mujeres no fumadoras. Por ejemplo, comparado con las mujeres con un IMC <25 kg/m² y activas, las mujeres con un IMC <25 kg/m² e inactivas tienen un riesgo relativo de muerte de 1,55 veces más, mientras que las obesas (e.g., IMC ≥ 30 kg/m²) activas e inactivas tienen un riesgo de 1,91 y 2,42 veces más, respectivamente (237). Similarmente, Jensen et al. (2008) argumentaron que los individuos obesos activos (e.g., 1-3,5 h semanales de AF) tienen un riesgo más bajo que los obesos sedentarios; de igual modo, los obesos no fumadores tienen un menor riesgo que los obesos fumadores (102). Está bien establecido que la AF regular previene la ganancia de masa corporal y la obesidad mediante la mejora de la composición corporal a través de la reducción de la masa grasa y el mantenimiento o incremento de la masa magra (235,236). De hecho, los adultos inactivos experimentan pérdidas de la masa muscular de entre el 3% y el 8% por década, acompañadas por una reducción del gasto energético en reposo y una acumulación de grasa. En este sentido, se ha sugerido que tan sólo 10 semanas de entrenamiento de fuerza pueden incrementar la masa magra en 1,4 kg, el gasto energético en reposo en un 7% y reducir la masa grasa en 1,8 kg (236). Por su parte, Jakicic et al. (2003), en un estudio longitudinal de un año de duración, compararon los efectos de varios programas de entrenamiento con diferentes duraciones e intensidades, unidos a una restricción en la ingesta, sobre el peso corporal en mujeres sedentarias con sobrepeso. Estos investigadores concluyeron que el peso corporal se redujo significativamente, acompañado de un incremento en la aptitud física cardiorrespiratoria, independientemente del programa de entrenamiento (238). Izquierdo et al. (2003) demostraron que un programa de fuerza para los principales grupos musculares, realizado durante 8 semanas con una frecuencia semanal de 2 días (e.g., 3-5 series al 50-70% 1 repetición máxima -RM-), produce mejoras significativas en el rendimiento en resistencia (6-11%), en 1 RM en media sentadilla (25%) y en la masa muscular (11-13%) (239). Okura et al. (2004) mostraron que una menor cantidad de grasa en ciertas áreas corporales (i.e., extremidades y tronco), debido a la pérdida de peso corporal, se asocia con menores niveles de PA y de glucosa plasmática en ayunas, mejoras en el perfil lipoprotéico plasmático y disminución del riesgo coronario (240). En estudios más recientes, Donnelly et al. (2013) consiguieron reducir el peso corporal en jóvenes con un IMC adverso (e.g., 25-40 kg/m²) al prescribir un programa de ejercicio, partiendo de un gasto energético deseado por sesión, de 10 meses de duración y 5 sesiones semanales (241). Incluso en personas de mediana edad obesas y previamente sedentarias, se ha demostrado que un entrenamiento aeróbico de menor

duración y frecuencia (i.e., 3 sesiones semanales durante 12 semanas) disminuye la masa corporal, el IMC, el perímetro de cintura y mejora la composición corporal (242). Las recomendaciones internacionales al respecto parecen sugerir que la AF de intensidad moderada que acumule volúmenes semanales de 150-250 min produce beneficios saludables y previene la ganancia de peso, si bien volúmenes superiores producirán beneficios adicionales (235).

Por otra parte, está claramente demostrado, en la evidencia científica reciente, que la AF regular tiene efectos antiinflamatorios (96,117,132,137,140,143–152), incluso en poblaciones que padecen ciertas patologías como diabetes mellitus tipo 2 (153–156), obesidad (157), síndrome metabólico (153,158), enfermedades cardíacas (159–163), esclerosis múltiple (164) o miopatías (165). Muchos investigadores argumentan que el ejercicio regular, y no aislado, reduce el perfil inflamatorio (156,161). En este sentido, en un interesante estudio de Reed et al. (2010) con mujeres sedentarias premenopáusicas, se demostró que un entrenamiento aeróbico (e.g., 40-90 min de tapiz rodante y elíptica al 79% FC_{max}) de 4 meses de duración, con una frecuencia semanal de 4 días, junto con una restricción calórica del 30%, es efectivo de cara a la reducción de los niveles de IL-6, IFN- γ , aunque la PCR y el TNF- α no se vieron alterados (149). A similares conclusiones llegaron de Gonzalo-Calvo et al. (2012), quienes demostraron que la práctica de ejercicio regular a largo plazo se asocia con niveles más bajos de IL-6, IL-10, IL-1ra y receptor-I de TNF- α en sujetos mayores (i.e., 65 años) que realizaron ejercicio regular desde la edad adulta (144).

Del mismo modo, parece que el ejercicio moderado a lo largo de la vida estimula el sistema inmune e incrementa la resistencia contra infecciones del tracto respiratorio, mientras que el ejercicio extenuante repetido en el tiempo suprime la función inmune (98,126,170,172). De ahí la importancia de la planificación del entrenamiento para permitir una correcta recuperación entre sesiones y evitar la inflamación sistémica crónica (126). Es interesante, en este punto, el estudio desarrollado por Shore et al. (1999), con adultos sanos sedentarios, en el cual investigaron los efectos de dos programas de entrenamiento de diferente volumen (bajo vs. moderado), desarrollados a lo largo de 12 semanas, sobre diferentes subpoblaciones linfocitarias, concluyendo que el entrenamiento de bajo volumen es mejor desde un punto de vista inmunitario, ya que

el entrenamiento de volumen moderado indujo una reducción en el conteo de diferentes células de la serie B (243).

En cualquier caso, ha de tenerse siempre presente que los programas que demandan altas intensidades y/o grandes frecuencias/duraciones proporcionarán beneficios adicionales (41,82). En este sentido, parece que, a pesar de que una frecuencia de ejercicio de 2 días por semana puede producir mejoras en individuos poco entrenados, cuando el $\text{VO}_{2\text{max}}$ es superior a los $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ son necesarias frecuencias de, como mínimo, 3 días por semana (244). Cabe destacar aquí que la mejora del $\text{VO}_{2\text{max}}$ aumenta con la frecuencia de entrenamiento, si bien es cierto que la magnitud de los cambios es más pequeña, y tiende a formar una meseta, cuando dicha frecuencia supera los 3 días por semana; no obstante, un programa de entrenamiento con una frecuencia inferior a 2 días por semana apenas produce incrementos significativos en el $\text{VO}_{2\text{max}}$ (244). Prueba de ello son los resultados obtenidos por Nakamura et al. (2007) en un estudio con mujeres mayores, en el cual concluyeron que aquellas mujeres que participan en un programa de ejercicio regular completo (e.g., sesiones que incluyen caminata, actividades recreativas y ejercicios de fuerza) 3 días por semana, alcanzan mayores beneficios en la capacidad funcional que las que se ejercitan con menor frecuencia (245).

2.3.4.2. La intensidad de la AF

Tanto la AF de intensidad moderada como la de intensidad alta pueden ser utilizadas para cumplir las recomendaciones de ejercicio internacionales (i.e., conseguir un gasto energético próximo a las 1000 kcal semanales). Sin embargo, todavía no hay acuerdo en la literatura respecto a si, para un mismo gasto energético, la alta intensidad implica mayores beneficios para la salud (82), si bien un trabajo reciente sugiere que una intensidad elevada de AF implica mayores beneficios respecto a una intensidad moderada sólo si el gasto energético es muy elevado (246), aunque este estudio únicamente evaluó los efectos de la intensidad sobre los niveles de PA y los síntomas de depresión. Tradicionalmente, se han clasificado las actividades físicas, en función de su intensidad, basándose en el gasto energético expresado en METS. En este sentido, el ACSM divide las actividades en: “muy suaves”, “suaves”, “moderadas”, “vigorosas” y

“máximas” o “casi máximas”, correspondiéndose a gastos energéticos absolutos de <2; entre 2 y 2,9; entre 3 y 5,9; entre 6 y 8,7 y $\geq 8,8$ METS, respectivamente (82).

Existen evidencias para pensar que la AF vigorosa se correlaciona directa e inversamente con la mortalidad y con las posibilidades de sufrir un evento cardíaco (229,247). Chomistek et al. (2011) han sugerido que el hecho de realizar AF vigorosa un total de 3 h semanales implica un descenso del riesgo de sufrir un infarto de miocardio del 22% (248). En este sentido, parece que esta intensidad de ejercicio muestra fuertes correlaciones inversas con el riesgo de padecer enfermedad coronaria, incluso en sujetos que tienen varios factores de riesgo cardiovascular (249,250). Similarmente, los resultados obtenidos en un estudio llevado a cabo por Albert et al. (2000) sugieren que la práctica de ejercicio vigoroso de forma habitual disminuye el riesgo de sufrir muerte súbita durante la realización del mismo (251). Sin embargo, parece que el ejercicio vigoroso incrementa el riesgo de sufrir un evento cardiovascular durante la práctica de ejercicio o justo después de la misma, tanto en sujetos jóvenes con enfermedad cardiovascular inherente como en adultos con enfermedad coronaria diagnosticada u oculta (218,252), así como de sufrir una lesión ortopédica (253). En cualquier caso, parece claro que los beneficios obtenidos a través de la práctica regular de AF de alta intensidad exceden con creces los riesgos (218,229,247,249,250,252), ya que mejora la expectativa de vida, a través del incremento del VO_{2max} (67,181,223,254–258), mejora la prevención y evolución de las ECNT (72,199,228,259–261) y de sus factores de riesgo asociados (240,260,262–271), siendo recomendada su práctica ya desde edades tempranas (272).

Por otro lado, son varios los autores que coinciden en que la intensidad de ejercicio desempeña un papel más importante que el volumen en cuanto a la mejora de los factores de riesgo se refiere. Ha de tenerse en cuenta en este punto que, en el desarrollo de la capacidad de resistencia, debido a la alta exigencia fisiológica y psicológica del ejercicio de alta intensidad, éste suele realizarse siguiendo el denominado método fraccionado, que consiste en alternar períodos de trabajo de alta intensidad y duración variable (i.e., intervalos o repeticiones, según sea entrenamiento en zona eminentemente aeróbica o anaeróbica, respectivamente) con períodos de recuperación activa o pasiva, completa o incompleta (273–275). La duración de los períodos de trabajo suele oscilar entre 1 y 4 min, si bien pueden ser menores, a una intensidad suficiente para alcanzar,

como mínimo, el 85-95% de la FC_{max} o del VO_{2max} (273). Por otra parte, Raymond et al. (2013), en un reciente estudio de revisión sobre el entrenamiento de fuerza, sugirieron que los programas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad mejoran más la fuerza muscular del miembro inferior que los de menor intensidad (e.g., baja y moderada), aunque éstos ya reportan beneficios funcionales para la salud, si bien argumentan que cuando el volumen entre los programas de entrenamiento se equipara, las diferencias entre las intensidades parecen no ser significativas (267).

Ya en 1984, Seals et al. llevaron a cabo un estudio longitudinal con personas de entre 60 y 69 años en el cual demostraron que los participantes mejoraban su VO_{2max} en un 12% a los seis meses, tras seguir un entrenamiento de baja intensidad caminando, y en un 18% más tras otros seis meses de entrenamiento de alta intensidad (i.e., *jogging*) (276). Otros investigadores (18,277,278) también han sugerido incrementos significativos en el VO_{2max} con entrenamientos de alta intensidad de 10-15 min. Acorde con esto, en un estudio llevado a cabo por Helgerud et al. (2007), se demostró que el entrenamiento interválico aeróbico de alta intensidad (e.g., 15 s de carrera al 90-95% FC_{max} con recuperación activa de 15 s al 70% FC_{max} ó 4×4 min de carrera al 90-95% FC_{max} con recuperación activa de 3 min al 70% FC_{max}) es más efectivo en la mejora del VO_{2max} que realizar el mismo trabajo total, de manera continua, a una intensidad de umbral anaeróbico (i.e., ~85% FC_{max}) o del 70% de la FC_{max} (257). Más recientemente, Boutcher et al. (2013) demostraron que un entrenamiento interválico mediante *sprints* (e.g., 20 min en cicloergómetro alternando 8 s *sprint* y 12 s de recuperación) de 12 semanas de duración y con una frecuencia semanal de 3 días, incrementa el VO_{2max} hasta un 19% en un grupo de jóvenes sanos (181). En esta línea, Koufaki et al. (2014) sugirieron que un entrenamiento interválico de alta intensidad es igual de eficaz que un entrenamiento aeróbico continuo en la mejora del VO_{2max} , a pesar de que el volumen total y el tiempo invertido en el entrenamiento interválico sea menor (192).

Resulta interesante, en este punto, la aportación hecha por Brockman et al. (1993), quienes concluyeron que el ejercicio de alta intensidad, ya sea de forma fraccionada (i.e., series de carrera de 2 min al 89,2% VO_{2max} alternadas con recuperaciones de 2 min a 93,8 m/min) o continua, (i.e., carrera de 10 min al 81,1% VO_{2max}) incrementa más el consumo de oxígeno (VO_2) durante un período de recuperación de 60 min que el ejercicio prolongado de baja intensidad (i.e., 2 h de caminata al 24,5% VO_{2max}), siendo

también dicho incremento significativamente superior en los individuos que realizaron el entrenamiento de alta intensidad de forma fraccionada comparado a aquellos que lo realizaron de forma continua. El hecho de tener un mayor VO_2 durante la recuperación implica un mayor gasto energético, lo cual es importante de cara a la prevención de la ganancia de peso corporal y, consecuentemente, del sobrepeso y la obesidad (279). En este sentido, parece que el nivel inicial de aptitud física del sujeto determina la intensidad de ejercicio mínima necesaria para producir mejoras en la salud (82).

Igualmente, son numerosos los estudios que demuestran que el ejercicio intenso mejora otros factores de riesgo como la PA (270,271), el IMC, las circunferencias de cintura, cadera y pecho y la composición corporal (242,264,270,280), los biomarcadores del sistema inmunológico (157,160,161,163,281) y la VFC (72,99,180,181,282).

Comparado con el efecto de la distancia corrida (i.e., volumen), la velocidad (i.e., intensidad) tiene un efecto 13,3 veces mayor sobre la PAS, 2,8 veces mayor sobre la PAD, y 4,7 veces mayor sobre el perímetro de cintura en hombres, mientras que el efecto en mujeres es de 5,7 veces mayor sobre la PAS (270). Varios estudios se han centrado en comparar los efectos de diferentes intensidades de entrenamiento sobre los niveles de PA, demostrando también la efectividad del entrenamiento interválico de cara a la reducción de la misma. Cornelissen et al. (2009) compararon los efectos de dos programas de entrenamiento de 10 semanas de duración, con una frecuencia de 3 días a la semana, de baja (e.g., 33% FC_R) y alta (e.g., 66% FC_R) intensidad sobre la PA, demostrando que ambos programas fueron efectivos en la reducción de la PAS sin existir diferencias significativas entre ellos (283). De modo similar, en un estudio llevado a cabo por Lamina (2011) con individuos hipertensos se investigaron los efectos de dos programas de entrenamiento de intensidad moderada (interválico vs. continuo), llevados a cabo a lo largo de 8 semanas, concluyendo que ambos programas reducen significativamente la PAS y la PAD, sin haber diferencias significativas entre ellos (284). Kessler et al. (2012), en un reciente estudio de revisión, han argumentado que el entrenamiento interválico es eficaz en la reducción de los niveles de PA cuando el programa de entrenamiento tiene una duración mayor o igual a 12 semanas (285). En esta misma línea, Heydari et al. (2013) demostraron una reducción significativa en la PAS y PAD tras seguir un entrenamiento intermitente de alta intensidad (e.g., 20 min en cicloergómetro alternando 8 s de sprint con 12 s de recuperación). Sin embargo, un

estudio llevado a cabo por Pavey et al. (2013), en el que compararon los efectos de diferentes intensidades de ejercicio sobre la PA, demostró que el riesgo de sufrir HTA disminuye significativamente al realizar AF de alta intensidad sólo cuando los niveles de ejercicio son muy elevados (i.e., gasto energético semanal superior).

Por otra parte, varias investigaciones han estudiado los efectos de la intensidad de ejercicio sobre la masa y la composición corporal. Grediagin et al. (1995) compararon los efectos de dos programas de entrenamiento de diferentes intensidades (e.g., 50% vs. 80% VO_{2max}), con un gasto energético similar, sobre la composición corporal en mujeres con sobrepeso, concluyendo que el entrenamiento produjo una reducción significativa del peso corporal en ambos grupos, sin existir diferencias significativas entre ellos, si bien el grupo de alta intensidad mostró un incremento en la masa magra que duplicó al grupo que entrenó a baja intensidad (286). Por su parte, Irving et al. (2008) demostraron, en un estudio llevado a cabo con mujeres obesas de mediana edad, que un programa de entrenamiento de alta intensidad ($>$ umbral anaeróbico -UAn-), llevado a cabo durante 12 semanas, reduce de forma significativa la grasa total abdominal, la grasa subcutánea abdominal y la grasa visceral, mientras que un programa de ejercicio desarrollado a una intensidad baja (e.g., $<$ UAn) no produce cambios significativos en las variables mencionadas anteriormente. En este sentido, es interesante el estudio llevado a cabo por Trapp et al. (2008) con mujeres jóvenes, en el que demostraron que el entrenamiento interválico de alta intensidad reduce más la grasa total corporal, la grasa subcutánea de piernas y tronco y la resistencia a la insulina que el entrenamiento continuo a intensidad constante. De este modo, la intensidad de ejercicio presenta una correlación inversa con la prevalencia de la HTA, hipercolesterolemia, diabetes mellitus y distribución de la grasa corporal, independientemente del volumen y de la aptitud física cardiorrespiratoria, sugiriendo que un ejercicio más vigoroso reportará mayores beneficios para la salud (260,262,264,280,286).

Otro de los factores de riesgo cuyo pronóstico puede ser mejorado a través de la AF es el estado inflamatorio. A pesar de que algunos estudios (141,167,287,288) no han encontrado mejoras significativas en los biomarcadores inflamatorios tras la realización de ejercicio, ni a corto ni a largo plazo, en la literatura también se ha sugerido que la realización de ejercicio intenso aislado suele conllevar un incremento inicial en los

niveles de los marcadores proinflamatorios seguido de una respuesta antiinflamatoria, lo cual a largo plazo puede producir beneficios (161,167). De hecho, son varias las investigaciones que han estudiado los efectos crónicos de la intensidad y la frecuencia del ejercicio sobre el perfil inflamatorio. Leggate et al. (2012) sugirieron que la realización de ejercicio de alta intensidad (i.e., 3 sesiones/semana en cicloergómetro durante 2 semanas: 10×4 min al 85% VO_{2pico} o al 89,5% FC_{max} ; r: 2 min) puede ser suficiente para inducir beneficios en el perfil inflamatorio en sujetos obesos. A similares conclusiones llegaron Munk et al. (2011), quienes defienden que el ejercicio regular interválico de alta intensidad puede atenuar el estado inflamatorio en pacientes postintervenidos de las arterias coronarias, mientras que Ribeiro et al. (2012) concluyeron lo mismo con pacientes postinfartados que realizaron un programa de AF aeróbica de 3 sesiones semanales.

Otras investigaciones, por el contrario, han defendido que la intensidad moderada produce cambios más beneficiosos en el perfil inflamatorio que la intensidad alta o baja. Thompson et al. (2010), tras una intervención de 6 meses de ejercicio, demostraron que los niveles de IL-6 descienden rápidamente (i.e., en las primeras semanas) al realizar AF de intensidad moderada, mientras que los niveles de alanina aminotransferasa (ALT), un marcador de daño hepático, renal, cardíaco o muscular, tardan más en descender y requieren de una intensidad de ejercicio más elevada. Además, durante un período de desentrenamiento de 2 semanas, los cambios en la ALT se mantuvieron, mientras que las mejoras en IL-6 se perdieron (152). En esta línea, en la literatura también se ha abogado por la realización de ejercicio regular a intensidad moderada como medio para mantener, o incluso mejorar, la función del sistema inmunológico (170,172). De hecho, se ha sugerido que la mejor forma para mejorar los efectos inmunosupresores provocados por el ejercicio agudo es realizar ejercicio regularmente. Tras una primera exposición a un ejercicio al que no se está acostumbrado, los individuos muestran evidencias de microtraumas. Sin embargo, tras una segunda exposición al mismo estímulo de ejercicio, los marcadores inflamatorios y el daño muscular se reducen significativamente. Este fenómeno es lo que se denomina el efecto de repetición, el cual explica el proceso de adaptación de un organismo al estrés producido por el ejercicio (126). En este sentido, son interesantes los estudios llevados a cabo por Unal et al. (2005), quienes estudiaron la respuesta del sistema inmune al entrenamiento crónico aeróbico (e.g., 30 min de cicloergómetro a una FC 10% $<UAn$, 3 días por semana) o

anaeróbico (e.g., 20 min de cicloergómetro a una FC 10% >UAN, 2 días por semana) llevado a cabo durante 8 semanas por universitarios sedentarios. Tras el período de entrenamiento, se incrementó el conteo total de leucocitos en el grupo aeróbico, mientras que en el grupo anaeróbico el incremento no fue significativo. Además, el grupo aeróbico experimentó una reducción en los niveles de CD3+ y CD4+ y un incremento en los niveles de CD56+, siendo estos cambios más pronunciados en el grupo anaeróbico. Sin embargo, los valores de CD8+ y CD19+ no se vieron afectados en ninguno de los grupos (281). Más recientemente, Rykova et al. (2007) desarrollaron un estudio en el que evaluaron el efecto de dos programas de entrenamiento de fuerza de 9 semanas de duración (e.g., fuerza 3 días semanales en máquinas guiadas vs. fuerza 2 días semanales en cicloergómetro) sobre el sistema inmune de hombres sanos, no hallando diferencias significativas en el conteo de los linfocitos T CD4+ y CD8+, aunque sí se registró una disminución en el conteo de linfocitos B CD19+ tras el período de entrenamiento.

En cuanto a los efectos de la AF sobre la VFC, de forma muy general, se podría afirmar que los niveles moderados o altos de ejercicio se relacionan directamente con valores más elevados de VFC en reposo (especialmente con los valores de HF del espectro de frecuencias) y, por tanto, con un predominio de la actividad del SNP respecto al SNS (99,176,196,282). Mientras que un período de entrenamiento correctamente planificado genera un incremento de recursos del SNA (i.e., aumento de la actividad del SNP y disminución de la del SNS), los estados de fatiga o sobreentrenamiento se relacionan con una disminución global de los parámetros de la VFC en reposo, indicando una mayor modulación del SNS y pudiendo desencadenar situaciones de estrés y de agotamiento (179,183). En este sentido, se ha sugerido que una mayor VFC en reposo predispone a soportar mejor el estrés físico y psicológico antes de una competición (289).

A pesar de que la mayoría de estudios transversales han demostrado que los sujetos entrenados en resistencia tienen una mayor VFC que sus mismas cohortes de individuos sedentarios, a largo plazo, estas mejoras en la VFC pueden estar afectadas por la duración del programa de entrenamiento, así como por la intensidad y el volumen del mismo, sugiriendo que los programas de mayor duración y volumen, junto con la alta intensidad, pueden ser claves en la mejora de la VFC (99,180,290).

Teniendo en cuenta que la falta de tiempo parece ser la causa más común por la cual no se realiza AF de forma regular (15,16), mientras que las lesiones son las razones que suelen detener un programa de AF regular (13), varios autores (15,18,291) han sugerido que el entrenamiento fraccionado de alta intensidad podría ser un buen método para, simultáneamente, obtener beneficios para la salud y ahorrar tiempo.

Atendiendo a la literatura disponible sobre el tema, el principal problema que se presenta en la gran mayoría de los estudios que comparan los efectos de diferentes intensidades de ejercicio, reside en la falta de control del volumen o del gasto energético (i.e., ausencia de equiparación entre los grupos experimentales), ya que los mayores beneficios a partir de una u otra intensidad (i.e., moderada vs. alta) pueden ser atribuibles al efecto de la interacción con el volumen y no sólo a los efectos de la intensidad *per se* (82).

2.3.4.2.1. La cuantificación de la intensidad de la AF

El coste energético se define como la energía requerida sobre el reposo para transportar el cuerpo del individuo sobre una unidad de distancia (292). Para que sea válido, el cálculo del coste energético recae en las mediciones obtenidas en condiciones metabólicas submáximas estables, donde el VO_2 es realmente representativo del gasto energético por unidad de tiempo (110). En este sentido, la calorimetría indirecta, que determina el gasto energético a partir de los valores de intercambio gaseoso previamente medidos (i.e., consumo de O_2 y producción de CO_2), es un método clínico preciso y factible para la medición del gasto energético (293).

Sin embargo, se ha demostrado que la medición de la FC medida minuto a minuto es un método útil para estimar el gasto energético diario y la energía empleada en AF por mujeres y hombres a diferentes intensidades, incluso en grupos de pocos sujetos, no difiriendo significativamente de aquellos valores obtenidos al realizar una calorimetría indirecta (294).

Teniendo en cuenta que la intensidad de ejercicio puede ser determinada mediante diversos métodos, tales como la FC y los ratios de percepción subjetiva del esfuerzo (RPE, del inglés *ratios of perceived exertion*) (295), así como a través de la medición

del VO_2 (296), varios autores (297–299) se han basado en la duración del ejercicio y en la FC para la cuantificación de la intensidad de una sesión de ejercicio. Para tal fin, Banister et al. (1991) introdujeron el concepto del *training impulse* (TRIMP), calculado como el producto de la duración de la sesión multiplicada por el cociente resultante de dividir la FC durante el ejercicio menos la FC en reposo entre la FC_{max} menos la FC en reposo. De cara a simplificar esta ecuación, Edwards (1993) propuso unos años después una serie de zonas o fases de intensidad, basadas en porcentajes sobre la FC_{max} , a las cuales asignó un coeficiente. Los TRIMPS se calculaban entonces como el sumatorio de los productos resultantes de multiplicar la duración en cada una de las fases o zonas por su respectivo coeficiente (298). De modo similar, Lucía et al. (2003) establecieron 3 zonas o fases divididas por los dos umbrales fisiológicos, siendo la fase I una fase de intensidad suave (i.e., por debajo del primer umbral ventilatorio o VT_1 , del inglés *first ventilatory threshold*), la fase II una fase de intensidad moderada (i.e., entre el VT_1 y el segundo umbral ventilatorio o VT_2 , en inglés *second ventilatory threshold*) y la fase III una fase de alta intensidad (i.e., por encima del VT_2). Nuevamente, asignaron un coeficiente a cada fase y los TRIMPS se calculan como el sumatorio de los productos resultantes de multiplicar la duración en cada fase por su respectivo coeficiente (299).

Por otro lado, cobra especial importancia, de cara a la cuantificación de la intensidad de ejercicio, la percepción subjetiva del esfuerzo que el sujeto tiene sobre una tarea determinada. Para evaluar dicha percepción, una de las herramientas más reconocidas y utilizadas son los RPE de Borg, que evalúan la percepción del esfuerzo a través de una escala de 0 a 10 puntos o de 6 a 20 puntos (300) (Figura 6). En este sentido, la utilización de los RPE se ha convertido en una herramienta útil en la monitorización de la intensidad del ejercicio en programas de entrenamiento de diferentes tipos de ejercicio e intensidad (301–303). De hecho, se ha demostrado una buena correlación entre este parámetro y la concentración de lactato sanguíneo [La^+], la FC, la ventilación pulmonar y las respuestas del VO_2 durante el ejercicio (301,302). Por tanto, los RPE son considerados como un añadido a la FC a la hora de monitorizar una intensidad relativa de ejercicio, pero una vez conocida la relación entre la FC y los RPE, éstos pueden usarse en lugar de la FC (301,302). Prueba de ello, es que Foster et al. (2001) propusieron un nuevo método de TRIMPS, para la cuantificación de la intensidad del ejercicio, basado en la duración de la sesión y los RPE. De este modo, la intensidad de

la sesión se calcula como el producto de la duración total de la sesión por los RPE (301).

Por su parte, otros autores (304) han sugerido que el ejercicio físico acompañado por las valoraciones de los RPE puede tener diferentes significados afectivos entre los sujetos, y han considerado importante añadir otras medidas subjetivas sobre las sensaciones que experimenta un individuo al realizar ejercicio. Rejeski et al. (1987) introdujeron la *Feeling Scale*, o Escala de Sensaciones, para evaluar las respuestas afectivas durante la realización de ejercicio, la cual valora las sensaciones como “buenas” o “malas” durante la ejecución de una determinada tarea en una escala de 11 puntos bipolares bueno/malo, con valores cuantitativos positivos y negativos asociados a aspectos cualitativos (305) (Figura 7).

Es importante tener en cuenta que estas consideraciones no se podrían aplicar en ciertas poblaciones, con determinadas patologías, en las cuales un conocimiento más preciso de la FC es necesario respecto a la seguridad del paciente. Así, otros autores como Gilman y Wells (1993) mantienen que la monitorización de la intensidad de entrenamiento a través de la FC proporciona información más precisa que la obtenida a partir de la percepción subjetiva del esfuerzo (306).

En la Tabla 5 se presenta un cuadro resumen, con las ecuaciones anteriormente mencionadas, para la cuantificación de la intensidad del ejercicio por el método de los TRIMPS.

Tabla 5. Método de los TRIMPS para la cuantificación de la carga interna de ejercicio.

Método	Autores	Cálculo
TRIMP	Banister et al., 1991	$W = D \times \frac{FC_{ej} - FC_{rep}}{FC_{max} - FC_{rep}}$ <p>W: carga de trabajo de la sesión; D: duración de la sesión en min; FC_{ej}: frecuencia cardíaca durante el ejercicio; FC_{max}: frecuencia cardíaca máxima; FC_{rep}: frecuencia cardíaca en reposo.</p>
TRIMP	Edwards, 1993	$\Sigma(\text{Duración (min)} \times \text{coeficiente fase})$ <p>Coefficientes de fase: 1 = 50-60% FC_{max}; 2 = 60-70% FC_{max}; 3 = 70-80% FC_{max}; 4 = 80-90% FC_{max}; y 5 = 90-100% FC_{max}.</p>
TRIMP	Foster et al., 2001	<p>RPE total de la sesión × min totales</p> <p>El RPE se mide 30 min después de haber acabado la sesión.</p>
TRIMP	Lucía et al., 2003	$\Sigma(\text{Duración (min)} \times \text{coeficiente fase})$ <p>Coefficientes de fase: 1 = fase I (“intensidad suave”, por debajo del VT₁); 2 = fase II (“intensidad moderada”, entre el VT₁ y el VT₂); y 3 = fase III (“alta intensidad”, por encima del VT₂).</p>

a) Escala de 0 a 10 puntos

0	Nada en absoluto
0,5	Muy, muy ligero
1	Muy ligero
2	Ligero
3	Moderado
4	Algo duro
5	Duro
6	
7	Muy duro
8	
9	
10	Muy, muy duro (casi máx.)

b) Escala de 6 a 20 puntos

6	
7	Muy, muy ligero
8	
9	Muy ligero
10	
11	Ligero
12	
13	Algo duro
14	
15	Duro
16	
17	Muy duro
18	
19	Muy, muy duro
20	

Figura 6. Escalas de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg.

Adaptado a partir de Borg (1982).

-5	Muy mal
-4	
-3	Mal
-2	
-1	Algo mal
0	Neutro
+1	Algo bien
+2	
+3	Bien
+4	
+5	Muy bien

Figura 7. Escala de Sensaciones.

Adaptado a partir de Hardy y Rejeski (1989).

2.3.4.3. *El tipo o modalidad de AF*

Las recomendaciones internacionales sugieren realizar ejercicio aeróbico que implique la movilización de los grandes grupos musculares durante períodos de tiempo prolongados (82). En este sentido, el hecho de realizar un entrenamiento múltiple (e.g., caminata, ciclismo y cicloergómetro de brazos) puede ser más efectivo que un entrenamiento de una única modalidad (e.g., caminata) en la elevación del consumo de oxígeno pico ($VO_{2\text{pico}}$), cuando la frecuencia semanal es la misma (307). Ya en 1975, Pollock et al. estudiaron y compararon los efectos que producía el entrenamiento aeróbico con diferentes tipos de actividad: carrera, caminata y ciclismo. Los grupos realizaron sesiones de 30 min al 85-90% de la FC_{max} , 3 días por semana durante 20 semanas. Todos los grupos mejoraron a nivel cardiovascular, así como la composición corporal, concluyendo que las mejoras obtenidas son independientes del tipo de actividad, siempre que la intensidad, la duración y la frecuencia se mantengan (308). Egaña y Donne (2004) obtuvieron resultados parecidos con mujeres moderadamente activas, al conseguir mejoras fisiológicas similares tras realizar un entrenamiento aeróbico (i.e., 30-40 min al 70-90% FC_{max} , 3 días por semana durante 12 semanas) en

diferentes tipos de ergómetro como tapiz rodante, elíptica y máquina de escaleras, siempre y cuando el volumen y la intensidad sean equivalentes (309). Sin embargo, una modalidad de ejercicio determinada tendrá un efecto específico sobre el grupo o grupos musculares que se estén utilizando (310).

2.3.5. Resumen del apartado

Los organismos internacionales como el ACSM, la AHA o la OMS elaboraron, desde la década de los 60 del pasado siglo, una serie de recomendaciones para el mantenimiento y la mejora de la salud a través de la realización regular de AF, como respuesta a los crecientes niveles de sedentarismo y prevalencia de ECNT característicos de las sociedades modernas. En este sentido, existe un acuerdo en la literatura de que el gasto energético semanal necesario para la mejora de los diferentes componentes de la salud ha de rondar las 1000 kcal, aunque para obtener mayores beneficios se requieren consumos energéticos superiores. De hecho, la evidencia científica demuestra claramente que existe una relación dosis-respuesta en la cual el volumen y la intensidad de ejercicio tienen roles principales. Sin embargo, también se ha sugerido que incluso un gasto energético de ~500 kcal semanales ya puede reportar ciertos beneficios para la salud. Además, los efectos fisiológicos derivados de la práctica de diferentes modos de ejercicio parecen no diferir demasiado siempre y cuando el volumen, la intensidad y la frecuencia estén equiparados.

Por otro lado, la AF ha estado ligada a los humanos desde el inicio de su existencia. Desde la aparición del género Homo, nuestros ancestros vivieron como cazadores-recolectores hasta la Revolución Agrícola. Para asegurar la supervivencia, los primeros humanos tuvieron que realizar una gran cantidad de AF diaria que conllevaba elevados gastos energéticos. Este patrón de AF paleolítico, que permitió el desarrollo filogenético de la especie humana, estaba conformado por una gran cantidad de actividades físicas con una distribución de la intensidad específica. A partir de estudios antropológicos y de los datos disponibles de tribus, que todavía viven en la actualidad como cazadores-recolectores, estimamos que este patrón de subsistencia estaba caracterizado por la alternancia de días de AF de alta intensidad o “dificiles” con una gran predominancia de días de AF de más baja intensidad o “fáciles”, siguiendo una distribución polarizada de la intensidad.

A pesar de que los avances tecnológicos han tenido lugar en un espacio breve de tiempo, la genética humana apenas ha evolucionado en los últimos 40.000 años. Estas circunstancias han propiciado que las sociedades industrializadas del mundo actual estén tecnológicamente muy desarrolladas y que la AF no sea un requisito indispensable para la supervivencia humana. En este sentido, son muchos los autores que defienden que la discrepancia existente entre nuestro código genético, programado para la realización de una gran cantidad de AF diaria, y el sedentarismo que caracteriza a la sociedad moderna son, junto con una ingesta excesiva, los motivos que han propiciado el desarrollo de las ECNT y de sus factores de riesgo asociados. Por ello, la evidencia científica ha sugerido tomar como base las actividades físicas desarrolladas en el Paleolítico para la prescripción de AF para la mejora de la salud.

2.4. EL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO Y LA SALUD

2.4.1. La periodización del entrenamiento deportivo

2.4.1.1. Concepto de planificación o periodización del entrenamiento deportivo

La planificación o periodización del entrenamiento deportivo es un procedimiento metódico y científico que ha sido utilizado por los entrenadores para ayudar a los deportistas a maximizar los niveles de aptitud física, de entrenamiento y de rendimiento (77,311).

A pesar de que el término periodización se utilizó originariamente para describir los programas que suponían la secuenciación predeterminada de períodos de entrenamiento, hoy en día se usa, de forma indiscriminada, para describir cualquier tipo de plan de entrenamiento, independientemente de su estructura (312).

Por definición, la periodización es la manipulación planificada de las variables de entrenamiento para maximizar las adaptaciones al entrenamiento a corto (i.e., semanas, meses) y largo plazo (i.e., años, vida deportiva), evitando el estancamiento en el rendimiento y el denominado síndrome de sobreentrenamiento (77,313). La periodización puede desarrollarse a partir de la manipulación de los diferentes elementos que componen el entrenamiento (e.g., series, intervalos o repeticiones, orden de los ejercicios y número, períodos de recuperación, tipo de contracciones, frecuencia de entrenamiento, intensidad, volumen, etc.), dando lugar a numerosos programas de entrenamiento periodizado (313).

2.4.1.2. Breve contextualización histórica y evolución de la planificación del entrenamiento deportivo

La planificación deportiva ha existido desde la aparición de los antiguos Juegos Olímpicos (311). Ya en la Antigua Grecia, los aspirantes al triunfo en diferentes torneos

y competiciones deportivas se sometían durante un largo período de tiempo (e.g., 10 meses) a un duro proceso de entrenamiento diario, que terminaba con una concentración en Elite durante un mes en el que se realizaba una preparación más intensa y específica (314). Prueba de ello, son las obras escritas por Flavio Filóstrato (170-245 d. C.) sobre la planificación y el entrenamiento de los antiguos Juegos Olímpicos, en las que proponía métodos de entrenamiento para afrontar las competiciones, incluyendo la importancia de la recuperación (311).

Desde un punto de vista metodológico, podemos distinguir tres fases o etapas en la evolución de los modelos de planificación deportiva (314):

- Desde los orígenes hasta 1950, donde comienza la sistematización. En esta etapa surgen los denominados modelos precursores de la planificación deportiva.
- Desde 1950 hasta la década de 1970, donde se cuestionan los modelos clásicos de periodización y se ofrecen nuevas alternativas. Surgen en esta etapa los modelos tradicionales de planificación deportiva.
- Desde la década de 1970 hasta la actualidad, donde surge una nueva evolución de los conocimientos. Aparecen en esta etapa los modelos contemporáneos de planificación deportiva.

2.4.1.3. Planificación del entrenamiento deportivo vs. no planificación

La evidencia científica señala, mayoritariamente, que las estructuras periodizadas de entrenamiento producen mayores mejoras en el rendimiento que aquellas que no son periodizadas (77,312). Sin embargo, muchos de los estudios han comparado intervenciones en las que se modificaban los parámetros de entrenamiento con otras en las que existían mínimas variaciones o ninguna. En este sentido, cabe destacar que la variación es un aspecto crítico de la efectividad del entrenamiento, lo cual no implica que las metodologías de periodización sean el medio óptimo para producir dichas variaciones en el entrenamiento. De hecho, la ausencia de variación en el entrenamiento puede incrementar las posibilidades de sobreentrenamiento, empeorar el rendimiento y/o contraer infecciones livianas (i.e., incapacidad de la respuesta inmune). De forma

simple, podría decirse que la aplicación de cargas unidireccionales (i.e., monotonía) en el entrenamiento es siempre “mala” y que la variación es siempre “buena” (312). Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que si el estímulo es excesivamente variado (e.g., muy disperso y con objetivos muy diferentes) el progreso será muy lento o inexistente. Por otro lado, si se lleva a cabo una reducción en la variación del entrenamiento, puede conseguirse un rápido desarrollo a través de la concentración en un número reducido de objetivos (i.e., especificidad), aunque si se lleva a cabo a largo plazo se caerá en la monotonía y sus efectos negativos asociados (312).

2.4.2. El entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza

2.4.2.1. La resistencia

2.4.2.1.1. Concepto de resistencia

En los años 70 del siglo pasado, Cooper introdujo la palabra *aerobics* para referirse a los ejercicios de resistencia cardiorrespiratoria que englobaban actividades como correr, nadar, montar en bicicleta, hacer *jogging*, etc., y que servían para estimular los sistemas cardíaco y pulmonar durante un período de tiempo suficiente para producir cambios beneficiosos en el organismo (230).

Son muchas las definiciones que en la literatura se pueden encontrar del término resistencia. Una de las más completas y comúnmente aceptadas fue acuñada por Zintl (1991), que la definió como “la capacidad de mantener física y psíquicamente un esfuerzo durante el mayor tiempo posible, sin que disminuya la intensidad de trabajo, o bien, recuperarse rápidamente después de un esfuerzo físico o psíquico” (315). Esta perspectiva de la resistencia aúna, dentro de una misma definición, las dimensiones de duración e intensidad del esfuerzo y recuperación del mismo, desde un punto de vista psicofísico. En este sentido, Marcora et al. (2009) destacan la importancia del componente psicológico en relación a la tolerancia del ejercicio, ya que cuanto mayor sea la fatiga mental del sujeto tanto mayor será su percepción del esfuerzo sobre una tarea con una duración y una intensidad determinadas (316). Estos autores (316) definen la fatiga mental como “un estado psicobiológico causado por períodos prolongados de

demanda de actividad cognitiva y caracterizado por sentimientos subjetivos de cansancio y falta de energía”. Parece pues que el componente psicológico y, en concreto, la percepción subjetiva del esfuerzo es un claro factor limitante del rendimiento en deportes de resistencia debiendo considerarse, por tanto, a la par de aquellos factores de índole fisiológica.

2.4.2.1.2. Métodos de evaluación de la resistencia

Los fisiólogos del ejercicio consideran que el mejor parámetro para evaluar la aptitud física cardiorrespiratoria es el VO_{2max} (106), convirtiéndose en uno de los principales indicadores de salud y aptitud física (317).

Los test utilizados para la evaluación del VO_{2max} implican la activación de grandes grupos musculares, con una duración e intensidad suficientes para que la transferencia de energía por vía aeróbica sea máxima. En estas condiciones, se habla de prueba de esfuerzo o ergometría. El VO_{2max} puede determinarse de forma precisa midiendo la composición del aire expirado y el volumen respiratorio durante el esfuerzo máximo (i.e., tests directos). No obstante, y dado que este proceso requiere un equipamiento costoso, se puede estimar a partir del rendimiento obtenido en diversos test (i.e., test indirectos) consistentes en caminar o correr una determinada distancia o durante un tiempo específico, o bien soportar la máxima cantidad de estadíos (i.e., carga de trabajo) de un protocolo incremental (41). En cualquier caso, la prueba de esfuerzo ha de ser progresiva, con varios estadíos, lo cual conlleva el incremento gradual de cargas submáximas (106).

Existe otro parámetro estrechamente unido al VO_{2max} y circunscrito al ámbito de la carrera de resistencia que es la velocidad aeróbica máxima (VAM). La definición comúnmente aceptada de este parámetro fue propuesta por Billat et al. (1994), que la definieron como “la velocidad mínima necesaria para alcanzar el VO_{2max} ” (318). La VAM se puede obtener de forma directa, en laboratorio, o de forma indirecta, a través de pruebas de campo validadas, obteniéndose mediante estas últimas un elevado nivel de correlación ($r > 0,90$) en comparación con la determinación directa en diferentes grupos de sujetos (319,320). En este sentido, se considera como uno de los protocolos más válidos y fiables el aportado por Léger y Boucher (1980). Dicho protocolo se denomina prueba de

carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal (UMTT, del término original en francés *Université de Montréal Track Test*) y presenta la gran ventaja de que se puede llevar a cabo en el campo deportivo, aplicándolo de manera simultánea a varios corredores y pudiendo incluirlo fácilmente en el programa de entrenamiento (320). El UMTT es un test de campo continuo, máximo y con múltiples estadios. Originalmente, el UMTT se lleva a cabo en una pista de atletismo homologada y comienza a una velocidad de caminata que suponga un gasto energético de ~5 METS, lo cual corresponde a 7 u 8 km·h⁻¹. Posteriormente, se va incrementando gradualmente la velocidad en 1 MET (i.e., 1 km·h⁻¹) cada 2 min. El participante debe correr el máximo tiempo posible, hasta la máxima extenuación voluntaria, recorriendo una distancia determinada en cada estadio y alcanzando unas marcas colocadas en la pista en un tiempo determinado, que será indicado por una señal acústica (i.e., magnetófono) en función de la velocidad. La VAM corresponderá a la velocidad del último estadio completado, oscilando la duración de la prueba entre los 10 y los 25 min, en función del nivel del participante (321,322). De cara a un ajuste más preciso, en los casos en los que los individuos sólo soporten 1 minuto del estadio en el que finalicen, se ha propuesto asumir como VAM la velocidad del estadio anterior más 0,5 km·h⁻¹ (323).

Por otro lado, se han llevado a cabo diferentes adaptaciones del protocolo original con la intención de determinar la VAM con mayor exactitud a partir de fracciones de incremento de la velocidad inferiores a 1 km·h⁻¹. Es el caso de la aportación de Brue (1985) que, además, propuso marcar la velocidad de cada estadio mediante una bicicleta. Sin embargo, parece que existe un común acuerdo en la literatura de que el protocolo original de Léger y Boucher (1980) es el más fiable, ya que se comprobó que otras modificaciones en la cadencia pueden sobreestimar la VAM. No obstante, es interesante contemplar también otro parámetro de rendimiento como es el tiempo final en el UMTT (tUMTT) (324). Boullosa y Tuimil (2004) demostraron que el tUMTT tiene una mayor correlación con el rendimiento de carrera en 1.000 m que la propia VAM, argumentando que este parámetro (i.e., tUMTT) aúna, simultáneamente, la potencia aeróbica y la capacidad anaeróbica.

Por último, numerosos autores coinciden en la gran aplicabilidad que tiene la VAM obtenida a partir del UMTT o variantes ya que, por un lado, sirve para predecir el rendimiento en carreras que van desde los 800 m hasta la maratón (324–329) y, por otro, es un parámetro muy útil a la hora de prescribir entrenamientos individualizados (330–

332), que integra en un mismo concepto el VO_{2max} y la economía de carrera (333). Además, puede estimarse el VO_{2max} del individuo a partir de la VAM mediante las siguientes ecuaciones:

$$VO_{2max} \text{ (mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 22,859 + (1,91 \cdot V) - (0,8664 \cdot E) + (0,0667 \cdot V \cdot E)$$

Donde: V = VAM ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) y E = edad en años; (322).

$$VO_{2max} \text{ (mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 3,5 \cdot \text{VAM (km}\cdot\text{h}^{-1}); \text{ (334).}$$

2.4.2.2. La fuerza

2.4.2.2.1. Concepto de fuerza

En mecánica, la fuerza es la medida del resultado de la interacción de dos cuerpos y viene definida como el producto de la masa por la aceleración ($F = m \cdot a$) (335). La fuerza es otra de las capacidades físicas que se ha definido minuciosamente en la literatura. Para ello, este término, aplicado al sistema neuromuscular, se ha enfocado desde dos perspectivas diferentes. Desde una perspectiva mecánica, la fuerza muscular se define como la capacidad de la musculatura para inducir cambios en el estado de un cuerpo (335,336). De este modo, la fuerza puede deformar un cuerpo (si éste está fijo) o modificar su aceleración, deteniéndolo o alterando su desplazamiento (i.e., aumentando o reduciendo su velocidad o cambiando su dirección), si está en movimiento, o desplazándolo si está quieto (335,336). Por otro lado, desde una perspectiva fisiológica, la fuerza se entiende como la capacidad que tiene el músculo al activarse para generar tensión (335) como consecuencia de la acción conjunta del sistema nervioso y muscular (336). Cabe destacar, en este sentido, que la fuerza puede ser interna (i.e., músculo) o externa (i.e., resistencia de los cuerpos a modificar su inercia -estado de reposo o movimiento-) y que la interacción de ambas da lugar a la fuerza aplicada, definida como el resultado de la acción muscular (i.e., fuerzas internas) sobre las resistencias externas, que pueden ser el propio peso corporal o cualquier otra resistencia o artefacto ajeno al sujeto (335).

Dentro del ámbito del deporte cobra gran importancia el efecto de la fuerza interna sobre las resistencias externas; es decir, saber en qué medida la fuerza generada por los músculos se traduce en fuerza aplicada sobre las resistencias externas, ya que de ella depende la potencia que se puede generar, factor determinante del rendimiento deportivo. En este sentido, la fuerza aplicada se mide a través de los cambios de aceleración de las resistencias externas y por la deformación que se produce en los dinamómetros aunque, si no se dispone de estos instrumentos de medida, puede estimarse tomando como referencia el peso que se puede levantar o lanzar en unas condiciones determinadas, o la distancia que se puede desplazar el centro de gravedad (cdg) del propio cuerpo (e.g., durante un salto) (335).

Por tanto, y simplificando, la definición de fuerza, aplicada al rendimiento deportivo, podría concretarse como la manifestación externa (i.e., fuerza aplicada) que se hace de la tensión interna generada en el músculo o grupo de músculos en un tiempo y a una velocidad determinados (335). En este sentido, la fuerza máxima se produce cuando el miembro no desarrolla rotación (i.e., velocidad nula). Por tanto, a medida que la velocidad de la rotación articular aumenta, la fuerza muscular disminuye (106).

2.4.2.2.2. Métodos de evaluación de la fuerza

Es posible evaluar la fuerza y la resistencia musculares durante la contracción muscular estática y dinámica. Estas medidas se utilizan para establecer valores basales antes del entrenamiento, controlar el progreso durante su transcurso y evaluar la efectividad general del mismo. Mientras que la fuerza y la resistencia estática se miden a través de dinamómetros, la fuerza y la resistencia dinámica se evalúan a través de pesos libres (e.g., mancuernas o barras y discos) y máquinas de ejercicios con resistencia constante, variable o isocinéticas (106).

Aunque se puede emplear un modo de ejercicio con resistencia constante o variable para evaluar la fuerza y la resistencia muscular dinámica (i.e., concéntrica y excéntrica), resulta más útil el empleo de pesos libres o máquinas de ejercicio con resistencia constante. Comúnmente, la fuerza dinámica se mide como 1 RM, que se define como “la máxima cantidad de peso que puede ser desplazada una vez a lo largo de todo el

rango articular con una técnica correcta” (337), estando próxima a la acción isométrica, por lo que su relación con el movimiento a alta velocidad es pequeña (338).

El valor de la fuerza en 1 RM se obtiene a través de ensayo y error (106), implicando la ejecución de uno o más esfuerzos máximos (339). Aunque las pruebas de fuerza para la determinación de la 1 RM se pueden realizar sin inconvenientes en personas de todas las edades, se deben tomar precauciones para disminuir el riesgo de lesiones al intentar levantar cargas máximas (106). Por eso, a pesar de que no se ha demostrado que la realización de este protocolo sea una causa directa de lesión, se recomienda aplicar los tests de repeticiones hasta el fallo (RHF) con pesos submáximos en poblaciones que no están acostumbradas a manejar pesos máximos o casi máximos en sus entrenamientos habituales (e.g., jóvenes, sedentarios, personas mayores, etc.) (317). En este sentido, para la estimación de 1 RM a partir de tests de RHF, los sujetos deben realizar una serie de calentamiento con un peso ligero para, posteriormente, elegir un peso cercano a las 10 RM y ejecutar con dicha carga el máximo número de repeticiones posible. Si las RHF son más de 20, el test deberá repetirse con un peso mayor tras 5 min de recuperación. Generalmente, las RHF que rondan las 10 RM o menos parecen ser las más precisas para estimar el valor real de 1 RM mediante diversas ecuaciones validadas (340) (Tabla 6).

En cuanto a los ejercicios seleccionados para la evaluación de la fuerza en los miembros superior e inferior, tradicionalmente se ha recomendado utilizar los ejercicios multiarticulares, concretamente el *press banca* y la media sentadilla, respectivamente, por ser los que mejor reflejan la fuerza global corporal, ya que requieren respuestas neurales complejas y permiten trabajar con pesos elevados (340). En este sentido, parece que las ecuaciones propuestas por Mayhew et al. (341) y por Wathan (342) son las más apropiadas para la estimación de 1 RM en *press banca* (343), ya que no difieren significativamente de la 1 RM real (344). Además, la ecuación de Wathan (1994) parece ser la que más se aproxima a la 1 RM real en el ejercicio de media sentadilla (344).

Tabla 6. Estimación de la 1 RM a partir de tests de repeticiones hasta el fallo con pesos submáximos.

Autores	Fórmula	Correlación	Rango de rep. recomendado
Brzycki (1993)	$1 \text{ RM} = \text{peso} \cdot 100 / (102,78 - 2,78 \cdot \text{rep})$	Alta m. sup. Moderada m. inf.	<10
Epley (1985)	$1 \text{ RM} = (1 + 0,033 \cdot \text{rep}) \cdot \text{peso}$	Alta m. sup. Alta m. inf.	<15
Lander (1985)	$1 \text{ RM} = 100 \cdot \text{peso} / (101,3 - 2,67123 \cdot \text{rep})$	Alta m. sup. Moderada m. inf.	<15
Lombardi (1989)	$1 \text{ RM} = \text{peso} \cdot (\text{rep})^{0,1}$	Alta	<10
Mayhew et al. (1992)	$1 \text{ RM} = 100 \cdot \text{peso} / (52,2 + 41,9 \cdot \exp^{-0,055 \cdot \text{rep}})$	Alta m. sup. Alta m. inf.	6 a 20
O'Conner et al. (1989)	$1 \text{ RM} = \text{peso} \cdot (1 + 0,025 \cdot \text{rep})$	Alta m. sup. Alta m. inf.	<10
Wathan (1994)	$1 \text{ RM} = 100 \cdot \text{peso} / (48,8 + 53,8 \cdot \exp^{-0,075 \cdot \text{rep}})$	Alta m. sup. Alta m. inf.	<10

1RM: 1 repetición máxima; peso: peso en kg desplazado durante las repeticiones; rep: repeticiones realizadas; exp: símbolo matemático para el número 2,7181; m. sup.: miembro superior; m. inf.: miembro inferior.

Adaptado a partir de LeSuer et al. (1997) y Casas (2007).

2.4.2.2.2.1. El salto vertical con contramovimiento

El salto vertical es un movimiento complejo que requiere la coordinación de múltiples miembros para mover el cuerpo verticalmente contra la fuerza de la gravedad (345). La altura de salto, que es el desplazamiento vertical del cdg durante la fase de vuelo, viene condicionada por la velocidad del cdg del saltador en el momento del despegue. Dicha velocidad depende del peso del saltador y del componente vertical de la fuerza de reacción contra el suelo (345). En este sentido, cuanto mayor sea la velocidad vertical del cdg en el momento del despegue, mayor será la altura del salto (345).

El salto vertical con contramovimiento (CMJ, del inglés *countermovement jump*) puede definirse como una rápida flexión de rodillas durante la cual el cdg del cuerpo desciende ligeramente antes de ser propulsado hacia arriba (346). Durante la realización de un CMJ se utiliza el denominado ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA), en el cual durante la fase excéntrica se almacena energía elástica en los músculos, tendones y ligamentos (i.e., fase de estiramiento, cuando el cdg desciende ligeramente) para ser inmediatamente restituida durante la fase concéntrica (i.e., fase de acortamiento, cuando el cdg es propulsado hacia arriba) (347,348). En este sentido, se ha sugerido que la mejora del rendimiento en un CMJ, comparado a un salto vertical sin

contramovimiento, es debida a que la contracción concéntrica en la fase de restitución de energía elástica, que se produce justo después de la fase excéntrica de almacenamiento de dicha energía, puede producir más fuerza gracias a la tensión muscular generada previamente en la fase de estiramiento, pudiendo alcanzarse una altura de hasta 3,4 cm más que en un salto sin contramovimiento (349). Cabe destacar aquí la importancia que tiene el movimiento a modo de resorte o muelle de los miembros inferiores durante la carrera o el salto, el cual viene determinado por la rigidez activa y pasiva del sistema músculoesquelético, incluyendo músculos, tendones y ligamentos (347,350). De hecho, es necesario un cierto grado de rigidez muscular para maximizar el almacenamiento de energía elástica y su retorno en el tronco y piernas (351).

Por otra parte, se ha sugerido que el CMJ puede utilizarse para la evaluación del desarrollo motor, la capacidad funcional y la capacidad motriz en los jóvenes, los mayores y los atletas (352). De hecho, en la literatura está comúnmente aceptada la utilización del CMJ como una herramienta válida para la evaluación de la fuerza explosiva del miembro inferior. En este sentido, la altura de salto, medida a través de plataformas de fuerzas, se ha considerado como el test más preciso y adecuado para la medición de la fuerza explosiva de las piernas (353).

2.4.2.3. El entrenamiento concurrente

El entrenamiento concurrente es el nombre que recibe el entrenamiento simultáneo de varias capacidades físicas. Clásicamente, el modelo de estudio del entrenamiento concurrente ha sido el de resistencia y fuerza, ya que se consideran dos capacidades antagónicas cuyo entrenamiento simultáneo puede producir interferencias en el desarrollo de ambas capacidades, lo cual se ha denominado efecto de interferencia (354–356). Algunas de las hipótesis que han tratado de explicar este fenómeno de interferencia hacen referencia a una mayor fatiga, un mayor catabolismo, patrones de reclutamiento de unidades motrices diferentes y cambios en el tipo de fibra muscular (354). Sin embargo, los resultados encontrados en la literatura son ambiguos. Mientras unos muestran que la combinación de ambos tipos de entrenamiento compromete la ganancia de fuerza, otros sugieren lo contrario e, incluso, se ha demostrado que tanto las

ganancias en la potencia muscular como en la potencia aeróbica no se ven comprometidas por este tipo de entrenamiento (354). Es por esto que interesa determinar qué dosis y con qué organización de las cargas se debe entrenar para paliar esa sinergia negativa del entrenamiento concurrente. En este sentido, es interesante la aportación del modelo propuesto por Docherty y Sporer (2000) acerca del efecto de interferencia del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia, el cual propone que la interferencia será máxima cuando se realice entrenamiento de alta intensidad para la mejora de la potencia aeróbica máxima (e.g., 95-100% VO_{2max}) y se combine con entrenamiento de fuerza orientado a la hipertrofia (e.g., 8-12 RM), mientras que si el entrenamiento aeróbico se combina con entrenamiento de fuerza de alta intensidad (e.g., <5 RM), se produciría menos interferencia porque el estímulo de entrenamiento para el incremento de la fuerza tendría un componente neural y no metabólico. Por otro lado, el entrenamiento aeróbico continuo (i.e., <UAN) parece ser el que menos interferencia crea cuando se utilizan cargas de trabajo medias o altas para el desarrollo de la fuerza (354).

2.4.2.3.1. Efectos del entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza sobre la aptitud física relacionada con el rendimiento

Una buena prueba de lo comentado en el apartado anterior la encontramos en la literatura en deportes de resistencia (e.g., carreras de fondo, ciclismo, remo, esquí de fondo, triatlón, etc.), que sistemáticamente ha sugerido mejoras en el rendimiento con la realización del entrenamiento concurrente (71,357–362). Sin embargo, otros investigadores (363,364) concluyeron que la combinación del entrenamiento de fuerza con el de resistencia puede suprimir algunas de las adaptaciones específicas del entrenamiento de fuerza, así como aumentar algunos aspectos de la capilarización del músculo esquelético.

Por otro lado, también se ha sugerido la consideración del orden de ejecución de los contenidos en las sesiones de entrenamiento concurrente (365,366). Varios autores (367,368) han argumentado recientemente que los ejercicios situados al comienzo de una rutina de fuerza serán los que más mejoras experimenten con el entrenamiento, probablemente debido a una ausencia de fatiga previa y la posibilidad de realizar más RM o unas RM determinadas con una carga (i.e., kg) más elevada, independientemente

de la masa muscular que implique el ejercicio. En esta línea, es interesante también la aportación que hicieron Chtara et al. (2005) en un estudio en el que se demostró que la realización del trabajo de fuerza justo después de la realización de un entrenamiento de resistencia, dentro de la misma sesión, produce mejoras superiores que realizar el mismo trabajo en orden inverso (369). A este respecto, es importante mencionar el reciente artículo de revisión publicado por Kang y Ratamess (2014) quienes concluyen que el orden de la realización del entrenamiento concurrente (i.e., resistencia y fuerza) debe escogerse en función de los objetivos que se persigan. De este modo, parece que realizar primero el trabajo de resistencia y seguidamente el de fuerza es preferible para maximizar la mejora de la potencia aeróbica máxima e incrementar el gasto energético postejercicio, si bien puede comprometer el desarrollo de ciertos aspectos de la fuerza como consecuencia de la fatiga muscular acumulada. Por otro lado, si se lleva a cabo el trabajo de fuerza antes que el de resistencia, se maximiza la mejora de la fuerza, la potencia y la hipertrofia muscular, lo cual puede favorecer una mayor utilización de grasas como sustrato energético durante la sesión de resistencia (366).

2.4.2.3.2. Efectos del entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza sobre los factores de riesgo asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles

Recientemente, en el ámbito de la AF saludable, varios estudios han demostrado la eficacia del trabajo concurrente de fuerza y resistencia, incluso en el pronóstico y evolución de individuos que padecen ECNT o factores de riesgo asociados.

La evidencia científica sugiere que en personas poco entrenadas, o incluso con afecciones severas como los cardiópatas, este tipo de entrenamiento puede ser muy beneficioso, contrariamente a lo que pudiera parecer (216,370). Así lo demuestran Beckers et al. (2008) al sugerir que en pacientes con afección cardíaca crónica, el entrenamiento combinado de fuerza y resistencia tiene un efecto mayor en la capacidad de ejercicio submáxima, en la fuerza muscular y en la calidad de vida que la realización del entrenamiento de resistencia únicamente (371).

Boullousa et al. (2013) demostraron una mejora del rendimiento y de parámetros relacionados con la salud en un estudio de caso de una paciente con cáncer que padecía

mieloma múltiple quiescente. Estos autores mostraron la efectividad de un entrenamiento concurrente, enfocado sobre todo al desarrollo de la potencia, la velocidad y la resistencia, con una distribución de las cargas que produjese el mínimo efecto de interferencia posible (e.g., trabajo de fuerza con altas y bajas cargas combinado con trabajo de resistencia por debajo del UAn o del 70% FC_{max}) (72).

En esta línea, Stensvold et al. (2010) demostraron que un programa de entrenamiento interválico aeróbico, un programa de entrenamiento de fuerza o la combinación de ambos, tienen efectos beneficiosos sobre las anormalidades fisiológicas asociadas al síndrome metabólico, aumentando además la capacidad funcional y la fuerza muscular (199). De igual modo, este tipo de entrenamiento concurrente (i.e., entrenamiento interválico aeróbico + programa de fuerza) puede llevarse a cabo con pacientes desentrenados que padecen diabetes mellitus tipo 2 para la mejora de la función muscular y la PA (372).

Al igual que el pronóstico y evolución de las ECNT puede verse mejorado con el entrenamiento concurrente, los factores de riesgo asociados también se pueden mejorar con este tipo de entrenamiento. Ho et al. (2012) demostraron que un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 12 semanas, a intensidad moderada (i.e., resistencia: carrera continua al 60% FC_R; fuerza: 4×10 RM), produce mejoras más grandes en el perfil de riesgo cardiovascular (e.g., masa corporal, composición corporal, nivel de aptitud física cardiorrespiratoria) que cualquiera de los dos tipos de entrenamiento realizados de forma aislada en adultos con sobrepeso y obesos (373). Mann et al. (2014), por su parte, sugirieron, en un reciente estudio de revisión, que el perfil lipoprotéico plasmático puede verse mejorado en mayor medida gracias a la combinación de ambos tipos de entrenamiento en comparación con llevarlos a cabo por separado (70). Por otro lado, Balducci et al. (2010) han propuesto que la AF aeróbica de alta intensidad o el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia son más efectivos que la AF de intensidad moderada en la reducción de los niveles de PCR, IL-1B, IL-6 y TNF- α , así como en el incremento de las citocinas antiinflamatorias IL-4 e IL-10, sugiriendo que la combinación del entrenamiento de fuerza y de resistencia y el entrenamiento de alta intensidad pueden ser idóneos para prescribir a poblaciones con perfiles inflamatorios adversos (153). De modo similar, Golzari et al. (2010) demostraron que un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia llevado a cabo

durante 8 semanas, 3 días por semana, disminuye los niveles de IL-17 e IFN- γ en mujeres con esclerosis múltiple, indicando un efecto antiinflamatorio (164). Hopps et al. (2011) argumentaron que el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia tiene un efecto positivo mayor sobre los niveles de citocinas que la realización de cualquiera de las modalidades de forma aislada (154). Más recientemente, también se demostró que un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia desarrollado a lo largo de 12 semanas, con una frecuencia semanal de 3 sesiones, reduce los niveles de TNF- γ e IL-6 en individuos de mediana edad desentrenados (145). Incluso, se ha llegado a sugerir que existe una sinergia entre el entrenamiento aeróbico y el de fuerza de cara a la prevención o reducción de los efectos nocivos del tabaco en comparación con la realización de cada entrenamiento aisladamente (374).

Por su parte, Asikainen et al. (2006) concluyeron que un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia mejora la fuerza muscular, el equilibrio y el rendimiento en un test de 2 km caminando (375). A similares conclusiones llegaron Sillanpää et al. (2009) al obtener efectos beneficiosos con mujeres de entre 39 y 64 años que siguieron un entrenamiento concurrente. Tanto el entrenamiento de fuerza como el de resistencia y su combinación mejoraron su aptitud física sin que se produjese ningún efecto de interferencia entre la mejora de la condición física cardiorrespiratoria y el desarrollo de la masa muscular, si bien es cierto que las mayores mejoras en el VO_{2max} tuvieron lugar en el grupo que entrenó sólo resistencia, mientras que la fuerza incrementó en mayor medida en el grupo de entrenamiento concurrente (75). De igual modo, Valkeinen et al. (2008) consiguieron mejorar diferentes parámetros saludables (e.g., fuerza muscular, carga de trabajo máxima, tiempo límite, rendimiento funcional y fatiga y síntomas percibidos) en mujeres postmenopáusicas con fibromialgia al desarrollar un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia (376).

Por otro lado, Izquierdo et al. (2005) concluyeron que el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia de baja frecuencia (i.e., 2 días/semana), llevado a cabo con sujetos desentrenados de mediana edad (40-46 años), no produce ningún efecto de interferencia, y que las mejoras obtenidas a corto plazo (<8 semanas) en ambas capacidades son comparables a las logradas trabajando cada una de las mismas de forma individual (74). Previamente, estos autores habían confirmado la efectividad del entrenamiento concurrente realizado con individuos mayores (65-74 años), mostrando beneficios

también a largo plazo (377). Sin embargo, Mikkola et al. (2012) han sugerido que, a pesar de que los beneficios alcanzados al llevar a cabo un programa de entrenamiento concurrente son mayores que el desarrollo de cada una de las capacidades de forma individual, el desarrollo de la fuerza explosiva puede verse mermado en comparación con el entrenamiento de fuerza o resistencia realizado de forma aislada (73). En este sentido, es de vital importancia tener en cuenta las características de la población en las que se aplique este tipo de entrenamiento, ya que determinarán los objetivos a alcanzar.

2.4.3. Resumen de los apartados 2.4.1. y 2.4.2.

La periodización del entrenamiento deportivo existe ya desde la aparición de los antiguos Juegos Olímpicos, con el objetivo de ayudar a los deportistas a maximizar su aptitud física, su entrenamiento y su rendimiento. Este concepto hace referencia a la manipulación planificada de las variables de entrenamiento para maximizar las adaptaciones al entrenamiento a corto y largo plazo, evitando el estancamiento en el rendimiento y el denominado síndrome de sobreentrenamiento.

La literatura científica sugiere que la periodización produce mayores mejoras en el rendimiento que la no periodización, girando su éxito alrededor de la variación de la carga, aunque sin descuidar el principio de especificidad.

Por otra parte, la resistencia y la fuerza son dos capacidades físicas cuyo desarrollo se ha considerado, tradicionalmente, antagónico. En este sentido, el entrenamiento concurrente hace referencia al desarrollo simultáneo de varias capacidades físicas.

A pesar de que algunos estudios han sugerido que el desarrollo de la fuerza y la potencia pueden verse limitados por el desarrollo simultáneo de la resistencia, lo cual se ha denominado efecto de interferencia, son muchas las investigaciones que han demostrado una mejora de la aptitud física relacionada con el rendimiento o con la salud gracias a este tipo de entrenamiento.

Además de la mejora de la aptitud física, está claramente probado que el pronóstico y evolución de muchas ECNT y de sus factores de riesgo asociados mejoran más con el entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza que con cualquiera de los entrenamientos realizados de forma aislada.

Por otro lado, son muchos los métodos disponibles para la evaluación de la resistencia y de la fuerza. Uno de los parámetros comúnmente utilizados para la evaluación y prescripción del ejercicio de resistencia (e.g., carrera a pie) es la VAM, a partir de la cual se puede estimar el VO_{2max} , parámetro para la evaluación de la aptitud física cardiorrespiratoria por excelencia. En cuanto a la fuerza, uno de los métodos más empleados para su evaluación es la determinación de la 1 RM o, en su defecto, la realización de un test de RHF con pesos submáximos para su estimación.

2.4.4. Las zonas de intensidad del ejercicio

Basándose en el modelo trifásico propuesto por Skinner y McLellan (378), que describe cambios ventilatorios relacionados con los niveles de lactato, pueden diferenciarse tres fases o zonas de intensidad del ejercicio:

- Fase/zona I: Es una fase/zona en la que predomina el metabolismo aeróbico. Esta primera fase se extiende hasta, aproximadamente, los $2 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de lactato, lo cual corresponde al 50-60% del $\text{VO}_{2\text{max}}$ o al 65-70% de la FC_{max} . Este primer umbral fisiológico, denominado comúnmente umbral aeróbico (U_a), adquirió otras denominaciones en función de su determinación. De este modo, cuando dicha determinación se realiza mediante el análisis del intercambio gaseoso se denomina VT_1 , mientras que si su determinación se realiza a partir de la concentración de lactato sanguínea, se denomina primer umbral láctico (LT_1).
- Fase/zona II: Es una fase/zona en la que ambos metabolismos, tanto el aeróbico como el anaeróbico, tienen una predominancia similar. Esta segunda zona se extiende hasta, aproximadamente, los $4 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de lactato, lo cual se corresponde con el 70-90% del $\text{VO}_{2\text{max}}$ o el 85-90% de la FC_{max} . Este segundo umbral fisiológico se ha denominado, comúnmente, U_{An} . En función de su determinación, se denominará VT_2 , si se determina mediante el análisis del intercambio gaseoso, o segundo umbral láctico (LT_2) o máximo estado estable del lactato (MLSS), si se determina a partir de la concentración de lactato sanguínea.
- Fase/zona III: Por último, esta fase/zona tiene un predominio del metabolismo anaeróbico (i.e., vía glucolítica anaeróbica) y corresponde a valores superiores al 90% del $\text{VO}_{2\text{max}}$ o al 85-90% de la FC_{max} .

Cabe destacar en este punto que, en términos bioenergéticos, cada una de las zonas o fases de intensidad no son compartimentos estanco. A pesar de que las vías bioenergéticas predominantes en cada una de ellas varían en protagonismo, todas las vías están presentes en las tres zonas (378). En la Figura 8 se muestra un esquema con cada una de las fases/zonas de intensidad del ejercicio y sus umbrales.

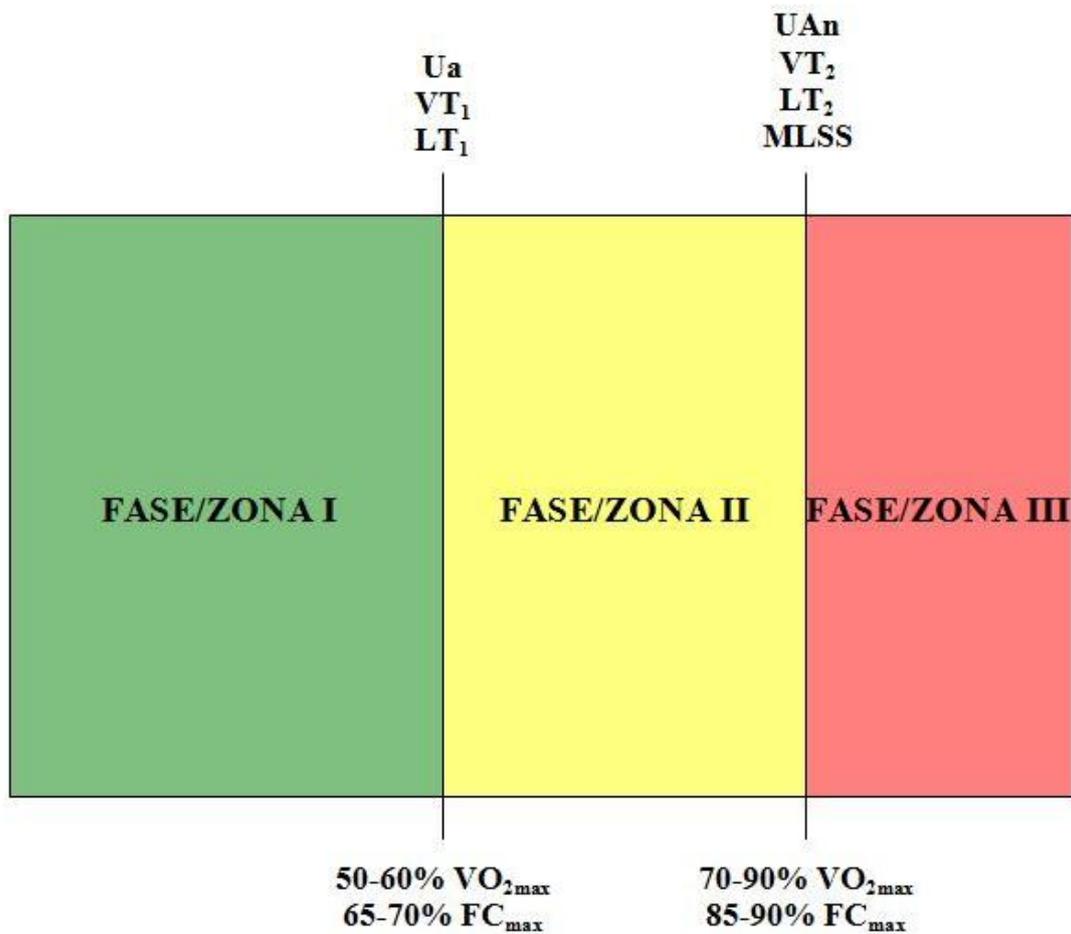


Figura 8. Fases/zonas de intensidad del ejercicio y sus umbrales.

Ua: Umbral aeróbico; VT_1 : Primer umbral ventilatorio; LT_1 : Primer umbral láctico; UAn: Umbral anaeróbico; VT_2 : Segundo umbral ventilatorio; LT_2 : Segundo umbral láctico; MLSS: Máximo estado estable del lactato; VO_{2max} : Consumo máximo de oxígeno; FC_{max} : Frecuencia cardíaca máxima.

2.4.5. Modelos de distribución de la intensidad de las cargas de entrenamiento

Existen dos tendencias claramente diferenciadas en la literatura en cuanto a la distribución de las cargas de entrenamiento se refiere en función de la intensidad. Por un lado está la distribución clásica de las cargas de entrenamiento y por otro las nuevas tendencias. La distribución clásica de las cargas de entrenamiento está representada por el denominado modelo del umbral láctico, en referencia al segundo umbral fisiológico, en el cual la mayor parte de las cargas de entrenamiento se estructuran a intensidades muy próximas a dicho umbral (i.e., fase/zona II). Por su parte, las nuevas tendencias del entrenamiento proponen organizar la distribución de las cargas de entrenamiento, en función de su intensidad, de forma completamente distinta. Su propuesta es limitar significativamente el entrenamiento en la fase/zona II (i.e., característico del modelo del umbral láctico) para trasladar la mayor parte de la carga de entrenamiento a la fase/zona I, y otra parte menor a la fase/zona III. Este modelo se ha denominado entrenamiento polarizado, ya que se entrena en los extremos o polos de las intensidades (Figura 9) (48,58,59,63,65).

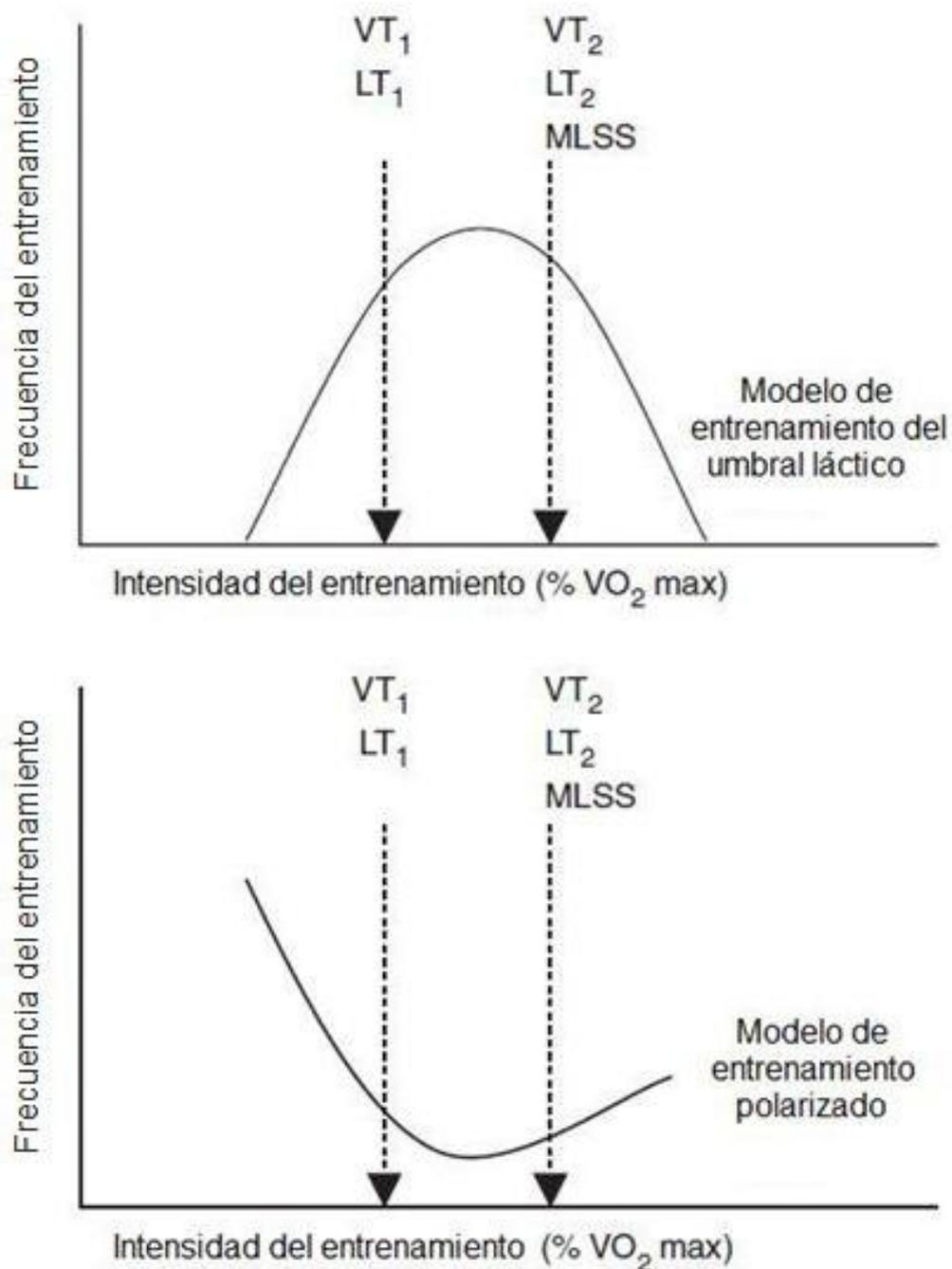


Figura 9. Distribución de la intensidad de entrenamiento del modelo del umbral láctico y del modelo polarizado.

VT₁: Primer umbral ventilatorio; LT₁: Primer umbral láctico; VT₂: Segundo umbral ventilatorio; LT₂: Segundo umbral láctico; MLSS: Máximo estado estable del lactato; VO_{2max}: Consumo máximo de oxígeno.

Adaptado a partir de Seiler y Kjerland (2006).

2.4.5.1. La distribución clásica de las cargas de entrenamiento

2.4.5.1.1. Efectos de la distribución clásica de las cargas de entrenamiento sobre la aptitud física relacionada con el rendimiento

Clásicamente, se ha considerado que para la mejora de la resistencia aeróbica el entrenamiento debía estructurarse, mayoritariamente, a intensidades cercanas al UAn (i.e., zona/fase II), denominándose esta distribución de las cargas de entrenamiento modelo del umbral láctico (216) (en inglés, el término *lactate threshold* suele hacer referencia al UAn). En este modelo, la mayoría del tiempo de entrenamiento se realiza en la fase/zona II de intensidad, llevando a cabo muy poco o ningún trabajo de alta intensidad (i.e., fase/zona de intensidad III) (379). Por tanto, la dedicación de tiempo a las fases/zonas de intensidad I/II/III puede oscilar entre el 30%/60%/10%, respectivamente (216), aunque otros autores (379) sitúan estos porcentajes en 57%/43%/0%, respectivamente.

Por su parte, Enoksen et al. (2011) compararon dos tipos de entrenamiento de diferente intensidad y volumen en mediofondistas entrenados que se llevaron a cabo durante 10 semanas, concluyendo que el entrenamiento de mayor intensidad y menor volumen (i.e., 50 km semanales con una distribución de la intensidad del 33%/67% al 82-92% FC_{max} y al 65-82% FC_{max} , respectivamente) mejora más la velocidad en el VO_{2max} (i.e., VAM), así como la velocidad en el UAn, comparado con entrenar a menor intensidad con un mayor volumen (i.e., 70 km semanales con una distribución de la intensidad del 13%/87% al 82-92% FC_{max} y al 65-82% FC_{max} , respectivamente) (380). En otras palabras, el entrenamiento con un mayor protagonismo a intensidades que rondan el UAn parece que mejora más ciertos parámetros del rendimiento que un entrenamiento de mayor volumen semanal y menor intensidad. En esta misma línea, Mejuto et al. (2012) demostraron recientemente la eficacia de un entrenamiento a intensidad del UAn individual, en remeros entrenados, sobre la capacidad de amortiguación de lactato y la eficiencia cardiovascular. Sin embargo, estos autores recomiendan que el trabajo a estas intensidades no debe superar el 10% del volumen total de entrenamiento (381).

Por otro lado, algunos estudios realizados con individuos previamente sedentarios también han demostrado la efectividad del modelo del umbral láctico en la mejora de

ciertos parámetros fisiológicos (382–384), incluso en personas obesas o con sobrepeso (242,385) y con factores de riesgo de padecer patología cardiovascular (386).

Sin embargo, se ha sugerido en la literatura que los deportistas de resistencia de diferentes disciplinas no mejoran todo lo que podrían su rendimiento, o sus adaptaciones fisiológicas al entrenamiento, cuando realizan gran parte del entrenamiento en la zona/fase II (57–60,325,379,387) En este sentido, Billat et al. (2001) demostraron que los maratonianos de élite mundial casi no realizan entrenamientos a velocidad de competición de maratón (i.e., fase/zona de intensidad II), reservando esta intensidad para la propia competición o para los últimos km de un entrenamiento de carrera continua de larga duración (57). De hecho, varios autores han sugerido la importancia de la acumulación de gran volumen de entrenamiento en la fase/zona de intensidad I para la mejora del rendimiento en deportes de resistencia (57–60,63,379,388).

En conclusión, parece que el modelo del umbral láctico puede ser adecuado para la mejora de diversos parámetros fisiológicos en sujetos previamente sedentarios o que realizan niveles bajos de actividad física mientras que, para deportistas de resistencia entrenados, el modelo polarizado parece ser más adecuado para la optimización del rendimiento, sobre todo cuando la disponibilidad de tiempo y la frecuencia semanal de entrenamiento es elevada (216).

2.4.5.1.2. Efectos de la distribución clásica de las cargas de entrenamiento sobre los factores de riesgo asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles

Ya desde la década de los 60 del siglo pasado, en la que surgieron las primeras recomendaciones internacionales para la práctica de AF saludable basadas en la evidencia científica (13), hasta la actualidad (82), se ha recomendado la realización de un trabajo de resistencia de larga duración e intensidad suave o moderada, o bien realizar una AF de menor duración pero a una intensidad superior. En cualquier caso, estas intensidades diana recomendadas se han situado tradicionalmente entre los dos umbrales fisiológicos (i.e., ~60-90% FC_{max}); es decir, en la fase/zona de intensidad II. Dicho de otro modo, las recomendaciones internacionales han sugerido que el modelo

del umbral láctico es el más apropiado para la mejora y mantenimiento de la aptitud física cardiorrespiratoria y, consecuentemente, de un estado saludable.

Por otro lado, son muchos los estudios recientes (258,273,386,389–392) que abogan por la importancia de la realización de trabajo interválico de alta intensidad como medio para el desarrollo y mantenimiento de una salud óptima. De hecho, el entrenamiento interválico consistente en la realización de esfuerzos de alta intensidad de 30 s al 100% VO_{2max} , alternados con períodos de recuperación de igual duración, parece ser un método efectivo para la mejora del VO_{2max} , incluso en personas desentrenadas (393). Similares conclusiones fueron alcanzadas por Helgerud et al. (2007) al afirmar que un entrenamiento interválico de 4×4 min al 90-95% FC_{max} es más efectivo, para la mejora del VO_{2max} , que el entrenamiento a intensidad de UAn (i.e., modelo del umbral láctico) o a intensidades inferiores. De igual forma, estos autores sugirieron que dicho entrenamiento interválico es más efectivo, incluso, que un entrenamiento interválico similar al propuesto por Gorostiaga et al. (1991) (e.g., intervalos de 15 s al 90-95% FC_{max} con recuperaciones activas de 15 s al 70% FC_{max}) (257). En este sentido, Billat et al. (2000) han demostrado que el entrenamiento interválico a una intensidad próxima a la VAM permite permanecer más tiempo con un consumo máximo de oxígeno que un entrenamiento continuo a intensidad submáxima (i.e., intensidad de UAn + 50% de la diferencia entre el UAn y el VO_{2max}) (394).

En cuanto a los efectos del entrenamiento interválico, éste parece ser un método óptimo para la mejora de las adaptaciones musculares periféricas y cardiovasculares centrales, produciendo así una mejora funcional, incluso en sujetos previamente sedentarios (254,255), y permitiendo pasar más tiempo en una zona cardíaca óptima (395). Por su parte, el entrenamiento continuo se asocia, sobre todo, a una mayor extracción de oxígeno (254), siendo más efectivo en el incremento de la capacidad oxidativa del músculo (393). Sin embargo, otros autores también demostraron que el entrenamiento interválico de alta intensidad (e.g., 10×4 min al 90% VO_{2pico} con recuperación de 2 min) incrementa la capacidad corporal total y del músculo esquelético para oxidar grasas y carbohidratos en sujetos desentrenados (396), así como en mujeres activas (397). Resultados similares fueron obtenidos en otras investigaciones (17–20,256,390), sugiriendo que este tipo de entrenamiento incrementa la capacidad oxidativa del músculo esquelético induciendo adaptaciones metabólicas específicas durante el

ejercicio (e.g., menor utilización de glucógeno y de PC, incremento del ratio de oxidación de los lípidos y disminución del de los carbohidratos, aumento del sistema de tamponamiento y del contenido de glucógeno) que son comparables al entrenamiento tradicional de resistencia, a pesar de que el volumen total de ejercicio sea menor. En esta línea, Hood et al. (2011) demostraron recientemente que los sujetos de mediana edad (e.g., 45 años) pueden mejorar la capacidad oxidativa muscular y la sensibilidad a la insulina hasta un 35% con tan solo 6 sesiones de entrenamiento interválico de alta intensidad, bajo volumen y a carga constante (i.e., 10×1 min en cicloergómetro al 60% de la potencia pico con recuperación de 1 min) (390). Incluso en sujetos con ECNT, como es el caso del síndrome metabólico (392) y la diabetes mellitus tipo 2 (391), se ha demostrado que el entrenamiento interválico es más efectivo que el entrenamiento continuo en la elevación del VO_{2max} (392) y en la reducción de factores de riesgo asociados a dichas enfermedades (391,392).

Por otro lado, se ha recomendado tradicionalmente, para el desarrollo de la condición física neuromuscular en adultos sanos, la realización de ejercicios de fuerza de baja intensidad y alto volumen (i.e., fuerza destinada a la mejora de la resistencia muscular), o de intensidad media y volumen medio (i.e., fuerza destinada a la hipertrofia) (82,212). En este punto, resulta pertinente recordar que las actividades físicas que nuestros ancestros del Paleolítico llevaron a cabo, y que aseguraron la supervivencia y el éxito reproductivo, estaban compuestas por ejercicios de fuerza y de resistencia aeróbica de larga duración y baja intensidad, intercalados con breves esfuerzos de muy alta intensidad (e.g., *sprints*, levantamiento de piedras muy pesadas para la construcción de cobijo) (8,47,48). Este patrón de AF paleolítico, para el cual todavía seguimos genéticamente diseñados (48), dista mucho de parecerse al modelo del umbral láctico. De hecho, algunos autores (7) han defendido tomar como modelo las actividades físicas características de nuestros ancestros para la prescripción de ejercicio para la mejora de la salud. Por estos motivos, argumentamos que la distribución polarizada de las cargas de entrenamiento, trabajando varias capacidades físicas de forma concurrente (i.e., resistencia y fuerza), puede tener mayores efectos beneficiosos sobre la salud en comparación con el modelo tradicionalmente recomendado para el mantenimiento o la mejora de la aptitud física cardiorrespiratoria y neuromuscular. Como ya se hizo mención con anterioridad en este documento, debemos especificar que, en la literatura científica, los modelos de distribución de la intensidad del entrenamiento (i.e., modelo

del umbral láctico y modelo polarizado) se han referido únicamente al trabajo de resistencia. La alternancia de cargas bajas de alto volumen con cargas elevadas de bajo volumen, para el desarrollo de la aptitud física neuromuscular, se identificaría más con el denominado modelo de periodización no lineal u ondulante de la fuerza, caracterizado por la variación significativa de la intensidad y volumen de entrenamiento de una sesión a otra, dentro de un mismo microciclo (76,77). En cualquier caso, a lo largo del documento, se utiliza el término “polarizado” para referirse a la alternancia de cargas de baja y alta intensidad, tanto para el entrenamiento de la resistencia como para el de la fuerza.

2.4.5.2. La distribución polarizada de las cargas de entrenamiento

2.4.5.2.1. Efectos de la distribución polarizada de las cargas de entrenamiento sobre la aptitud física relacionada con el rendimiento

Teniendo en cuenta que la óptima distribución de las cargas de entrenamiento ha de basarse en las características del individuo, así como en su nivel particular de aptitud física (69), las nuevas tendencias del entrenamiento de resistencia se oponen a lo propuesto clásicamente. El entrenamiento polarizado se basa en la premisa de acumular la mayor parte del trabajo en la fase/zona I (i.e., sesiones de regeneración/baja intensidad) y otra parte importante, aunque menor, en la fase/zona III (i.e., sesiones de calidad de alta intensidad), limitando significativamente el trabajo en la fase/zona II (i.e., entre umbrales). De este modo, la distribución polarizada de la intensidad de entrenamiento se aproxima a los porcentajes de 75%/5%/20%, según el tiempo invertido en las fases I/II/III, respectivamente (216). En este sentido, está demostrada la gran importancia del entrenamiento de alta intensidad (e.g., 95-100% de la velocidad a VO_{2max}) en atletas de alto nivel (398), ya que la realización de intervalos/repeticiones o series de intervalos/repeticiones a intensidades cercanas o por encima del VO_{2max} , alternadas con recuperaciones activas o pasivas, puede mejorar el rendimiento hasta un 2-4% en atletas bien entrenados en un período corto de tiempo (e.g., 6-8 sesiones a lo largo de 2-4 semanas) (64), aunque no se debería obviar el hecho de que no es posible acumular un número grande de sesiones de este tipo de forma frecuente sin caer en el sobreentrenamiento. Por eso, las bases del método de entrenamiento polarizado se

construyen sobre la idea de que el organismo tiene un límite de tolerancia para soportar esfuerzos de alta intensidad (i.e., fase/zona III), necesitando sesiones de regeneración a baja intensidad para poder asimilar los efectos del entrenamiento y afrontar con totales garantías el siguiente entrenamiento de calidad. Por el contrario, si normalmente se entrena a intensidad moderada (i.e., en fase/zona II, entre umbrales), el estímulo al que se somete el organismo es siempre similar y llega un momento en que, debido al síndrome general de adaptación (SGA) descrito por Selye, dicho estímulo deja de ser suficiente para producir una mejora en el rendimiento, pudiendo derivar incluso en sobreentrenamiento (58,216). Esta es la razón principal de por qué el modelo polarizado trata de limitar el entrenamiento a intensidad moderada. En este sentido, es importante destacar la interesante aportación realizada por Seiler et al. (2007), quienes concluyeron que el tiempo de recuperación tras un entrenamiento de alta intensidad (i.e., zona/fase III) no es mayor que tras la realización de un esfuerzo a intensidad moderada (i.e., zona/fase II), siendo el tiempo de recuperación más corto el correspondiente a esfuerzos de baja intensidad (i.e., zona/fase I) (399). Estos datos, sugieren que el entrenamiento polarizado induce mejores estrategias de recuperación en comparación con el modelo del umbral láctico (379), sabiendo que cuanto mayor sea el nivel de entrenamiento del atleta, mejor será su recuperación (399).

No es casualidad que los deportistas de élite de mayor éxito mundial, de las diferentes disciplinas de resistencia, hayan conseguido sus mayores logros a partir de este modelo de entrenamiento. En este sentido, son muchos los estudios (57,60–66,379,400) que sistemáticamente avalan la eficacia y el éxito del modelo de entrenamiento polarizado.

Hace ya más de una década, Lucía et al. (1999) habían demostrado que ciclistas de nivel mundial, que competían en las grandes carreras internacionales (e.g., *Giro d'Italia*, *Tour de France* o *Vuelta a España*), mostraban un patrón muy próximo al modelo polarizado a lo largo de dichas competiciones, acumulando un tiempo en las fases/zonas I/II/III del 70%/23%/7%, respectivamente (61). Poco después, Billat et al. (2001), en un estudio realizado con maratonianos de élite mundial, demostraron que los atletas entrenaban claramente de forma polarizada, invirtiendo un porcentaje de tiempo de 78%/4%/18% en las fases/zonas I/II/III, respectivamente. A similares conclusiones llegaron Fiskerstrand y Seiler (2004) y Guellich et al. (2009) con remeros olímpicos y júnior de categoría mundial, respectivamente. Por su parte, Seiler y Kjerland (2006) comprobaron

que esquiadores de fondo júnior de nivel mundial también seguían un patrón de entrenamiento polarizado. Más recientemente, Yu et al. (2012) llevaron a cabo un estudio con patinadores de velocidad de nivel internacional en el cual compararon dos temporadas consecutivas en las que, los mismos patinadores, entrenaron la primera de ellas siguiendo un modelo de umbral láctico y la segunda un modelo polarizado. Tras el cambio en la distribución de las cargas de entrenamiento de una temporada a otra, los patinadores mejoraron su rendimiento entre un 2-4%, mostrando la mayor efectividad del modelo de entrenamiento polarizado (66). De forma muy similar, en un estudio de caso desarrollado por Ingham et al. (2012) con un mediofondista de nivel internacional, el cambio en el modelo de entrenamiento hacia un entrenamiento polarizado mejoró significativamente el rendimiento del atleta (60). En esta línea, Neal et al. (2013) llegaron a las mismas conclusiones que estos estudios al comparar ambos modelos de entrenamiento (i.e., modelo de umbral láctico y modelo polarizado) con ciclistas entrenados (379).

Los éxitos cosechados a partir del modelo de entrenamiento polarizado no se limitan tan sólo a deportistas de nivel mundial, sino que también puede ser un modelo efectivo con atletas entrenados de menor nivel. Así lo han demostrado Esteve-Lanao et al. (2005, 2007) en unos interesantes estudios llevados a cabo con corredores subélite. Estos autores concluyeron que el entrenamiento polarizado produce mejoras más importantes en el rendimiento que el entrenamiento a partir del modelo de umbral láctico (58), mostrando además una correlación directa entre el tiempo invertido en la fase/zona I y el rendimiento en competición y sugiriendo, por tanto, que el volumen acumulado a bajas intensidades juega un papel importante a la hora de lograr mejoras en el rendimiento (58,59). Más recientemente, Muñoz et al. llegaron a similares conclusiones en un par de investigaciones realizadas con atletas recreativos (387) y con triatletas que siguieron un programa de entrenamiento para preparar un *Ironman* (388), mostrando en ambos casos la mayor efectividad del entrenamiento polarizado. También Stöggl & Sperlich (2014) realizaron un interesante estudio con deportistas de resistencia entrenados (e.g., corredores, ciclistas, triatletas y esquiadores de fondo) para evaluar la efectividad de diferentes tipos de entrenamiento basados en la distribución de la intensidad de la carga de cara a la mejora de los factores más importantes que determinan el rendimiento en las pruebas de resistencia (e.g., VO_{2max} , economía de

movimiento, tiempo hasta la extenuación), concluyendo que el entrenamiento polarizado es el que más mejoras produce en dichos parámetros (400).

La conclusión general que se puede extraer de todos estos estudios, que compararon el modelo de entrenamiento polarizado con el modelo del umbral láctico, es que para la mejora óptima de las adaptaciones al entrenamiento y del rendimiento, ha de incorporarse trabajo de calidad o de alta intensidad (i.e., fase/zona III) y reducir la cantidad de entrenamiento a intensidad moderada (i.e., fase/zona II), manteniendo a su vez un volumen adecuado a bajas intensidades (i.e., fase/zona I), ya que el tiempo de entrenamiento en fase/zona I se relaciona también con un mayor rendimiento. Cabe destacar en este punto que, en el deporte de élite mundial, las mejoras que se producen en el rendimiento son “modestas” (e.g., 2-4%) (60,63,64,66); sin embargo, dichas mejoras son vitales para el éxito deportivo, siendo determinantes en la posibilidad de lograr una medalla en un gran campeonato.

2.4.5.2.2. Efectos de la distribución polarizada de las cargas de entrenamiento sobre los factores de riesgo asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles

Durante la Era Paleolítica, la alternancia de cargas de baja intensidad y alto volumen con cargas de menor volumen y alta intensidad, expresadas en diferentes formatos de AF, ha sido clave para permitir la supervivencia de la especie humana. De hecho, nuestra regulación genética podría favorecer las adaptaciones a partir de este patrón polarizado (48). En este sentido, se sabe que el genoma humano prácticamente no ha evolucionado y todavía hoy en día seguimos genéticamente programados para llevar un estilo de vida físicamente tan activo como el de nuestros ancestros. Así, O’Keefe et al. (2010) han sugerido el estudio de las actividades características de los humanos del Paleolítico como base esencial para la prescripción y diseño de programas de entrenamiento para la mejora de la salud y de la calidad de vida (7).

Como se mostró en el apartado anterior, parece que el entrenamiento polarizado es la clave del éxito en deportistas de resistencia de nivel mundial de varias especialidades. A pesar de que casi ningún estudio ha aplicado un modelo de entrenamiento puramente polarizado para la mejora de los parámetros saludables de poblaciones no deportistas,

Duscha et al. (2005) demostraron que en poblaciones sedentarias, e incluso con factores de riesgo, también es importante, de cara a la mejora de la aptitud física, la distribución de las cargas de entrenamiento en cuanto a volumen e intensidad se refiere. Estos autores, compararon los efectos sobre diferentes parámetros de salud de tres tipos de entrenamiento con sujetos obesos y con dislipidemias, sugiriendo que la combinación de una elevada intensidad con un alto volumen (i.e., 32 km semanales al 65-80% $VO_{2\text{pico}}$) mejora en mayor medida la aptitud física aeróbica que un menor volumen, manteniendo la misma intensidad (i.e., 19 km semanales al 65-80% $VO_{2\text{pico}}$), o que un menor volumen y una menor intensidad (i.e., 19 km semanales al 40-55% $VO_{2\text{pico}}$) (386). De forma similar, Duncan et al. (2005) demostraron que la elevada intensidad o la alta frecuencia de entrenamiento, o la combinación de ambas, producen mayores mejoras a largo plazo en la aptitud física cardiorrespiratoria que entrenamientos de menor intensidad y baja frecuencia. En un estudio más reciente, Nybo et al. (2010) compararon los efectos de tres tipos de entrenamiento diferentes sobre la salud: entrenamiento interválico de alta intensidad, entrenamiento aeróbico continuo de larga duración y entrenamiento de fuerza. Estos autores concluyeron que el entrenamiento interválico es más efectivo de cara a la mejora de parámetros cardiorrespiratorios y de tolerancia a la glucosa. Por su parte, el entrenamiento aeróbico de larga duración parece ser la mejor opción de cara al tratamiento de la hiperlipidemia, mientras que para la mejora de la composición corporal lo más efectivo es el entrenamiento de fuerza (258).

Quizá las únicas investigaciones que han aplicado un modelo eminentemente polarizado de las cargas de entrenamiento en el ámbito de la salud fueron las llevadas a cabo por Boullosa et al. (2010, 2013). Estos autores demostraron, en un interesante y completo estudio de caso con una persona que padecía mieloma múltiple quiescente (i.e., un tipo de cáncer), que la polarización de un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia mejora la capacidad funcional, la función hematológica y el control cardíaco autónomo, lo cual podría mejorar el pronóstico de la enfermedad a largo plazo (72,259).

Basándose en el patrón de AF paleolítico, en los resultados derivados de la eficacia del entrenamiento polarizado en deportistas de resistencia de élite mundial y, más concretamente, en los resultados derivados de los trabajos de Boullosa et al. (2010, 2013), todo indica que la aplicación del modelo de entrenamiento polarizado a los programas centrados en la mejora de los parámetros saludables puede ser una

herramienta muy útil de cara al futuro. En cualquier caso, esta hipótesis ha de ser todavía contrastada y, más concretamente, si consideramos el entrenamiento simultáneo de varias capacidades (72,259).

2.4.6. Resumen de los apartados 2.4.4. y 2.4.5.

Basándose en el modelo trifásico propuesto por Skinner y McLellan, pueden diferenciarse tres fases o zonas de ejercicio en función de la intensidad, las cuales están divididas por el U_a y por el U_{An} .

Partiendo de esta idea, en la literatura se han propuesto dos modelos de entrenamiento basados en la distribución de la intensidad, en cuanto a la resistencia se refiere. Por un lado, el modelo clásico o del umbral láctico se caracteriza por la realización de la mayor parte del volumen de entrenamiento a una intensidad cercana al U_{An} . Por tanto, la distribución de la intensidad de entrenamiento viene condicionada por un gran protagonismo de intensidades moderadas, correspondiendo los porcentajes de dedicación de tiempo a las fases/zonas de intensidad I/II/III al 30%/60%/10%, respectivamente. Por su parte, las nuevas tendencias del entrenamiento de resistencia, representadas por el modelo polarizado, basan su propuesta en la acumulación de la mayor parte del volumen de entrenamiento en la fase/zona I (i.e. sesiones de regeneración/baja intensidad) y otra parte importante en la fase/zona III (i.e. sesiones de calidad de alta intensidad), limitando el trabajo en la fase/zona II (i.e. entre umbrales) de manera significativa. De este modo, los porcentajes de tiempo invertido en las fases I/II/III rondan el 75%/5%/20%, respectivamente.

A pesar de que varios estudios han demostrado la eficacia del modelo del umbral láctico en la mejora del rendimiento en disciplinas de resistencia, bien es cierto que muchos autores han defendido una limitación del volumen de entrenamiento a intensidades próximas al U_{An} . De hecho, la evidencia científica ha demostrado claramente que el modelo de entrenamiento polarizado es el responsable del éxito de los deportistas de nivel mundial de diferentes disciplinas de resistencia.

Por otro lado, los organismos internacionales han recomendado tradicionalmente, desde una perspectiva saludable, la realización de AF a intensidad moderada de cara a la mejora de la aptitud física, tanto cardiorrespiratoria como neuromuscular. Teniendo en cuenta que el genoma humano prácticamente no ha evolucionado desde la Era Paleolítica y las similitudes existentes entre el modelo polarizado y el patrón de AF paleolítico, caracterizado por la predominancia de grandes volúmenes de trabajo a baja intensidad intercalados eventualmente con actividades de alta intensidad y bajo volumen, todo hace pensar que la distribución polarizada de las cargas podría ser la idónea para el mantenimiento y la mejora de la salud. De hecho, son varios los autores que proponen tomar como referencia las actividades físicas del Paleolítico para la prescripción de AF saludable. En este sentido, algunos estudios ya han demostrado la eficacia del modelo polarizado concurrente en individuos que padecían algún tipo de ECNT.

**3. ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LOS EFECTOS Y
COMPARACIÓN DEL ENTRENAMIENTO
CONCURRENTE POLARIZADO Y TRADICIONAL
SOBRE LA APTITUD FÍSICA, EL SISTEMA INMUNE Y
LAS VARIABLES PERCEPTIVAS DEL ESFUERZO EN
INDIVIDUOS JÓVENES, SANOS Y MODERADAMENTE
ACTIVOS**

3.1. JUSTIFICACIÓN

La AF ha estado presente en la vida del hombre desde el inicio de su existencia. Tanto es así, que la supervivencia y la evolución de la especie humana han estado condicionadas por la realización de una elevada cantidad de AF diaria (43). Sin embargo, las ECNT presentes en las sociedades modernas, así como sus factores de riesgo asociados, tienen gran parte de su origen en la inactividad física que caracteriza a las sociedades industrializadas (8,9) ya que, debido al desarrollo tecnológico actual, que tuvo su origen en la Revolución Industrial, no existe la necesidad de realizar mucha AF para sobrevivir (8). En este sentido, se ha sugerido (8) que la gran mayoría de problemas actuales relacionados con la salud son debidos a que los patrones actuales de AF difieren mucho de aquellos desarrollados por nuestros ancestros del Paleolítico y para los cuales seguimos genéticamente dotados.

Llegados a este punto, está claramente demostrado que el estilo de vida sedentario es uno de los factores de riesgo principales y que, además, es susceptible de ser modificado (12). De hecho, se ha sugerido recientemente que el ejercicio es la intervención en el estilo de vida que produce mayores efectos sobre los diferentes genes implicados en el mantenimiento de la homeostasis del organismo (37). Por estos motivos, se hace necesario estudiar cuál es la cantidad óptima de AF y cómo han de distribuirse las cargas de entrenamiento para lograr la máxima eficacia en la búsqueda de la salud y de la calidad de vida. Para tal fin, los organismos internacionales, como el ACSM, la AHA o la OMS, han elaborado, ya desde de la década de los 60 del siglo pasado, varios informes y posicionamientos para la realización de AF orientada a la mejora y mantenimiento de la salud.

Por otro lado, autores como Cordain y Friel (2005) han propuesto tomar como referencia las actividades físicas que los cazadores-recolectores desarrollaron en el Paleolítico y adaptarlas a actividades modernas para la prescripción individualizada de AF para la salud. El patrón de AF paleolítico viene caracterizado por la realización de una gran cantidad de actividades físicas, de forma concurrente, que desarrollan diferentes capacidades físicas tales como la fuerza, la resistencia, la velocidad, etc. Estas actividades se realizaban a diferentes intensidades, alternando días de alta intensidad con días de baja intensidad, siguiendo un patrón polarizado (8,47). Bien es cierto que lo

que más primaba eran las actividades aeróbicas de baja intensidad propiciadas, en gran medida, por la mayor utilización de grasas como fuente energética (47) y, eventualmente, se realizaban actividades de muy alta intensidad, como cuando se perseguía a una presa durante una cacería o cuando se escapaba de un peligro (47,51).

Curiosamente, si nos fijamos en la distribución de la intensidad del entrenamiento en deportistas de resistencia de élite mundial de diferentes disciplinas, todos siguen un patrón de entrenamiento polarizado, que vendría a evocar esa distribución de las cargas de entrenamiento característica del patrón físico paleolítico, en la que los grandes volúmenes desarrollados a baja intensidad se intercalan con bajos volúmenes a muy alta intensidad, no habiendo prácticamente entrenamiento en la zona de intensidad moderada (i.e., entre umbrales) (48).

A pesar de esta evidencia científica, las recomendaciones internacionales para la realización de AF saludable siguen prescribiendo, tanto para el desarrollo de la fuerza como de la resistencia, una distribución de las cargas que nada tiene que ver con el modelo polarizado característico del Paleolítico y de los deportistas de resistencia de mayor éxito internacional. Por la contra, si atendemos a la prescripción de ejercicio aeróbico, la propuesta que hacen estos organismos se identifica claramente con el denominado modelo del umbral láctico, en el cual gran parte del volumen de entrenamiento se desarrolla a intensidades moderadas, entre los dos umbrales fisiológicos. De modo similar, la prescripción de entrenamiento de fuerza, recomendada por estos organismos, se centra fundamentalmente en el trabajo con cargas bajas o moderadas y con un volumen medio. Parece, por tanto, que existe un error en el enfoque de paradigma epistemológico propuesto por los organismos internacionales en cuanto a la prescripción de AF saludable se refiere.

Dada la situación actual de la evidencia científica, se podría intuir que el entrenamiento concurrente, con una distribución polarizada de las cargas, podría ser la mejor opción para obtener los máximos beneficios para la salud. Por estas razones, creemos necesario estudiar en profundidad qué modelo de entrenamiento es más efectivo para la mejora y mantenimiento de los principales parámetros saludables y de rendimiento que se relacionan con la mejora del pronóstico de ECNT o con la reducción de las posibilidades de padecerlas o de padecer sus factores de riesgo asociados.

Para nuestra propuesta, hemos evaluado un gran número de variables tradicionalmente compartidas por el ámbito de la salud y del rendimiento deportivo, tales como la aptitud física cardiorrespiratoria y neuromuscular, medidas antropométricas y diversos biomarcadores del sistema inmunológico. Además, también hemos evaluado diferentes variables relacionadas con la percepción subjetiva del esfuerzo, así como con las sensaciones experimentadas por los participantes, a lo largo del período de entrenamiento.

Los dos programas de entrenamiento implementados estuvieron basados en las recomendaciones actuales del ACSM para la realización de AF saludable (i.e., entrenamiento concurrente tradicional) y en la distribución polarizada de las cargas de entrenamiento (i.e., entrenamiento concurrente polarizado), equiparando la carga externa de ambos programas. Las evaluaciones se llevaron a cabo antes y después de un período de entrenamiento de 8 semanas, en el que se realizaron 3 sesiones semanales en días alternos acumulando un total de, aproximadamente, 6 h de entrenamiento a la semana.

3.2. HIPÓTESIS

- Un programa de entrenamiento concurrente, de resistencia y fuerza, de 8 semanas de duración y con una frecuencia de 3 sesiones semanales produce mejoras en la aptitud física cardiorrespiratoria y neuromuscular, en las medidas antropométricas y mejora diversos biomarcadores del sistema inmune.
- La distribución polarizada de las cargas de entrenamiento concurrente es tanto o más efectiva que la distribución tradicional en la mejora de la aptitud física cardiorrespiratoria y neuromuscular, de las medidas antropométricas y de diversos biomarcadores del sistema inmune.
- La distribución polarizada de las cargas de entrenamiento concurrente es más tolerable que la distribución tradicional en lo referente a las variables perceptivas del esfuerzo y a las sensaciones experimentadas.

3.3. OBJETIVOS

3.3.1. Objetivo general

Evaluar y comparar la efectividad de dos programas de entrenamiento de 8 semanas de duración, y 3 sesiones semanales, de trabajo concurrente de resistencia y fuerza, con equiparación externa de las cargas en ambas capacidades, sobre la aptitud física, el sistema inmune y las variables perceptivas, siguiendo un modelo de entrenamiento polarizado o un modelo de entrenamiento tradicional con individuos jóvenes, sanos y moderadamente activos.

3.3.1.1. *Objetivo específico 1*

Evaluar y comparar la efectividad de dos programas de entrenamiento de trabajo concurrente de resistencia y fuerza, con equiparación externa de las cargas en ambas capacidades, sobre la aptitud física cardiorrespiratoria y neuromuscular y sobre diversas medidas antropométricas, siguiendo un modelo de entrenamiento polarizado o un modelo de entrenamiento tradicional con individuos jóvenes, sanos y moderadamente activos.

3.3.1.2. *Objetivo específico 2*

Evaluar y comparar la efectividad de dos programas de entrenamiento de trabajo concurrente de resistencia y fuerza, con equiparación externa de las cargas en ambas capacidades, sobre el perfil inflamatorio y las subpoblaciones linfocitarias, siguiendo un modelo de entrenamiento polarizado o un modelo de entrenamiento tradicional con individuos jóvenes, sanos y moderadamente activos.

3.3.1.3. *Objetivo específico 3*

Evaluar y comparar los efectos de dos programas de entrenamiento de trabajo concurrente de resistencia y fuerza, con equiparación externa de las cargas en ambas capacidades, sobre la percepción subjetiva del esfuerzo de las cargas de entrenamiento y

las sensaciones a lo largo del período de entrenamiento, siguiendo un modelo de entrenamiento polarizado o un modelo de entrenamiento tradicional con individuos jóvenes, sanos y moderadamente activos.

3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1. Aproximación experimental al problema

Teniendo en cuenta la evidencia científica disponible todo apunta a que, tanto para el ámbito de la salud como para el rendimiento deportivo, la distribución óptima de las cargas de entrenamiento, en lo que a su intensidad se refiere, es el entrenamiento polarizado. Además, parece que el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia produce mayores beneficios que cualquiera de las dos modalidades realizada de forma aislada, si bien es cierto que, desde un punto de vista del rendimiento, podría no ser lo idóneo para ciertas especialidades deportivas en las que el desarrollo de la fuerza sea el parámetro principal que determine el rendimiento.

Varios autores han sugerido tomar como referencia el patrón de AF paleolítico, que ha permitido el desarrollo filogenético y la supervivencia de la especie humana hasta nuestros días, adaptado a las sociedades modernas, para la prescripción de ejercicio para la población general de cara a la mejora de la salud y de la calidad de vida. Genéticamente todavía estamos dotados para desarrollar una gran cantidad de AF muy variada a lo largo del día; sin embargo, las sociedades industrializadas tienden a ser cada vez más sedentarias y la supervivencia se consigue con un gasto energético muy bajo en comparación con nuestro diseño genético.

Desde nuestro punto de vista, las líneas de actuación para la mejora de la salud han de inspirarse en la polarización de la intensidad de las cargas de entrenamiento desarrollando, simultáneamente, varias capacidades físicas (i.e., entrenamiento concurrente) y replicando así una pequeña parte del patrón de AF paleolítico. Para tal fin, proponemos llevar a cabo un entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza con una distribución polarizada de las cargas de entrenamiento en ambas capacidades,

evitando el efecto de interferencia según el modelo de Docherty y Sporer (2000). Creemos que de este modo se mejorarán los parámetros saludables y de rendimiento, así como la calidad de vida.

3.4.2. Participantes

Antes de llevar a cabo las pruebas, se explicó con detalle el procedimiento de la investigación y todos los participantes fueron informados de los riesgos que las evaluaciones y la intervención conllevaban. Seguidamente, se les pidió que firmasen un informe de consentimiento antes de la realización de las pruebas, el cual estuvo basado en las recomendaciones del Comité de Ética local (Universidade da Coruña, La Coruña, España). El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidade da Coruña (CE 014/2012) y cumplió los requisitos de la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos. La muestra estuvo compuesta inicialmente por 35 estudiantes universitarios de la Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física de la Universidade da Coruña (30 hombres y 5 mujeres), todos ellos moderadamente activos. Los criterios de inclusión/exclusión fueron los siguientes: a) ser físicamente activo/a (e.g., realizar la AF desarrollada en la propia titulación y realizar AF voluntaria un máximo de 2 días por semana), b) no padecer ningún tipo de lesión o enfermedad al inicio del estudio y c) no entrenar regularmente (i.e., 3 o más días por semana) ni practicar deportes con fines competitivos. El estudio fue completado en su totalidad por 31 participantes (26 hombres y 5 mujeres) que se incluyeron de cara al análisis de los datos, habiendo 4 abandonos respecto al número de participantes que inicialmente comenzaron el estudio. Debido a que los participantes se podían retirar del estudio en cualquier momento, 2 de ellos abandonaron la investigación por voluntad propia, 1 abandonó por lesión (ajena a la participación en el estudio) y el restante no se incluyó en el análisis de datos por no cumplir el mínimo de sesiones presenciales estipuladas (i.e., $\geq 80\%$) debido a la incompatibilidad horaria con su jornada laboral. Las características de todos los participantes, al inicio del estudio, se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de las características de la muestra al inicio de la investigación.

N = 31				
Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Edad (años)	18	27	21,87	2,58
Peso corporal (kg)	54,6	89,4	72,02	8,69
Estatura (cm)	156	190	175,94	7,78
IMC (kg/m ²)	19,65	28,86	23,24	2,22
Σ4 Pliegues (mm)	20,6	61	36,29	10,42
Perím. cintura (cm)	66,5	92,4	80,09	5,78

IMC: Índice de masa corporal; Σ4 Pliegues: sumatorio de 4 pliegues cutáneos (tricipital, bicipital, subescapular e ileocrestal/suprailíaco); Perím. cintura: perímetro de cintura.

3.4.3. Protección de los datos

Se garantizó en todo momento la confidencialidad de los datos de cada uno de los participantes, según la Ley orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal, y Real Decreto 1720/2007, de 21 de diciembre, por el que se aprueba el reglamento de desarrollo de la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de protección de datos de carácter personal.

Siempre que el participante dio su consentimiento expreso, los datos se utilizaron con fines divulgativos en el ámbito científico, garantizando en todo momento el anonimato de la persona.

3.4.4. Materiales

Para llevar a cabo las evaluaciones a lo largo de esta investigación se utilizaron los materiales descritos a continuación.

- Para la evaluación de la VFC:
 - Un monitor de FC (RS 800, Polar Electro, Kempele OY, Finlandia).
 - Gel conductor (Wavelength HV, National Therapy Products Inc., Canadá).
 - Programa informático del monitor de frecuencia cardiaca (Polar Pro Trainer 5, Kempele OY, Finlandia).
 - Programa informático para el análisis de la VFC (Kubios HRV 2.1, Kuopio, Finlandia).
- Para la evaluación de la PA:
 - Un tensiómetro digital (BM44, Beurer, Alemania).
- Para la extracción de muestras sanguíneas:
 - Equipo de adaptación para extracción de sangre al vacío (i.e., agujas y palometas esterilizadas) (Quick Fit, Terumo Europe, Leuven, Bélgica).
 - Tubos heparinizados (Venosafe, Terumo Europe, Leuven, Bélgica).
 - Guantes de latex hipoalergénicos (Corysan, Barcelona, España).
- Para el análisis de los marcadores del sistema inmunológico:
 - Centrifugadoras (Allegra X-22R y Microfuge 22R; ambas fabricadas por Beckman Coulter Inc., California, EE.UU.).
 - Separación de células mononucleares de sangre periférica (i.e., subpoblaciones linfocitarias) mediante gradiente de densidad de Ficoll (Histopaque, Sigma-Aldrich Co., Missouri, EE.UU.).

- Cámara de congelación (Neubauer, Assistent, Alemania).
- Citómetro de flujo (FACSCalibur, BD Biosciences, Nueva Jersey, EE.UU.).
- Vial para la determinación de marcadores pro y antiinflamatorios por citometría de flujo (CBA Human Th1/Th2/Th17 Cytokine Kit, BD CYTOME, Becton Dickinson S.A., Madrid, España).
- Anticuerpos monoclonales para la determinación de subpoblaciones linfocitarias por citometría de flujo (1 vial MO A-HU CD4, MT310/APC, 1 ml; 1 vial MO A-HU CD8, DK25/APC, 1 ml; 1 vial MO A-HU CD19, HD37/APC, 1 ml; 1 vial MO A-HU CD56, MOC-1/RPE, 1ml; todos ellos fabricados por la empresa Palex Medical S.A., Barcelona, España).
- Programa informático para el análisis de los biomarcadores inflamatorios (FCAP Array Software version 3.0, Soft Flow Ltd., Hungría).
- Para la evaluación de la composición corporal:
 - Una báscula con precisión de 0,1 kg.
 - Un tallímetro (Añó, Sayol, España) con precisión de 1 mm.
 - Un plicómetro (Holtain, Crymych, Reino Unido) con precisión de 0,2 mm.
- Para la evaluación del perímetro de cintura:
 - Una cinta antropométrica (Prym, Alemania) con precisión de 0,2 mm.
- Para la evaluación del CMJ máximo:
 - Una plataforma de fuerzas piezoeléctrica portátil (Quattro Jump, Kistler, Suiza) con una frecuencia de muestreo de 500 Hz.
 - Programa informático de la plataforma de fuerzas (Quattro Jump, v. 1.0.9.1., Kistler, Suiza).
- Para la evaluación de la fuerza en los miembros superior e inferior:
 - Barra olímpica.

- Discos de diferente peso.
- Banco.
- Para la evaluación del UMTT:
 - Pista de atletismo homologada, sintética de tartán, de 8 calles y 400 m de cuerda (Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidade da Coruña).
 - Una bicicleta de montaña (Dakar, Orbea, España) con ruedas de 26 pulgadas de diámetro.
 - Un silbato.
 - Un velocímetro (Wireless BC 1200+, Sigma Elektro, Alemania).
 - Un reloj cronómetro con cuenta vueltas (Triax 20-Regular, Nike Inc., EE.UU.).
 - Un monitor de FC (Polar Electro, Kempele OY, Finlandia) para cada participante.

3.4.5. Variables de estudio

En la Tabla 8 se muestran las variables sometidas a estudio en esta investigación y sus niveles.

Tabla 8. Clasificación de las variables de estudio.

Variable de agrupación	Variable independiente	Niveles de la variable independiente	Variables dependientes		Niveles de las variables dependientes
Estudiantes de Ciencias de la AF y del Deporte físicamente activos	Programa de entrenamiento	Programa de entrenamiento concurrente tradicional	Variables de aptitud física	Aptitud física cardiorrespiratoria	VAM tUMTT FC _{max} VO _{2max} estimado VFC PA
				Aptitud física neuromuscular	1 RM estimada en <i>press banca</i> 1 RM estimada en media sentadilla CMJ _{max}
				Variables antropométricas	Peso Σ4 Pliegues IMC Perímetro cintura
		Variables del sistema inmunológico		Marc. pro- y anti-Subpob. linfocit.	
		Variables perceptivas del esfuerzo y sensaciones		RPE _{UMTT} RPE _{ENT} FS _{ENT} TRIMPS	
		No programa de entrenamiento (i.e., control)			

AF: actividad física; VAM : velocidad aeróbica máxima; tUMTT: tiempo final en el test de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal; FC_{max}: frecuencia cardiaca máxima; VO_{2max} estimado: consumo máximo de oxígeno estimado; VFC: variabilidad de la frecuencia cardiaca; PA: presión arterial ; 1 RM: 1 repetición máxima; CMJ_{max}: salto máximo con contramovimiento; Σ4 Pliegues: sumatorio de cuatro pliegues cutáneos (i.e., tricipital, bicipital, subescapular e ileocrestal/suprailíaco); IMC: índice de masa corporal; Marc. pro- y anti-: marcadores pro y antiinflamatorios del sistema inmunológico; Subpob. linfocit.: subpoblaciones linfocitarias del sistema inmunológico; RPE_{UMTT}: ratios de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg al finalizar el test de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal; RPE_{ENT}: ratios de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg durante el período de entrenamiento; FS_{ENT}: *Feeling Scale* o Escala de Sensaciones durante el período de entrenamiento; TRIMPS: *training impulses* durante el período de entrenamiento.

Seguidamente, se presentarán las variables sometidas a estudio de forma más detallada, reflejando las unidades de medición en función de los niveles.

Tabla 9. Variables de aptitud física.

Variables de aptitud física cardiorrespiratoria	Unidad
VAM	km·h ⁻¹
tUMTT	s
FC _{max}	ppm
VO _{2max} estimado	ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
Variabilidad de la frecuencia cardíaca	
<u>Fase de decúbito supino (5 min)</u>	
<i>FC reposo</i>	ppm
<i>Media R-R</i>	ms
<i>SDNN</i>	ms
<i>RMSSD</i>	ms
<i>LF</i>	ms ²
<i>HF</i>	ms ²
<i>LF/HF</i>	ms
<u>Fase de bipedestación estática (3 min)</u>	
<i>FC reposo</i>	ppm
<i>Media R-R</i>	ms
<i>SDNN</i>	ms
<i>RMSSD</i>	ms
<i>LF</i>	ms ²
<i>HF</i>	ms ²
<i>LF/HF</i>	ms
Presión arterial	
<i>PAS</i>	mm Hg
<i>PAD</i>	mm Hg

Tabla 9. (Continuación).

Variables de aptitud física neuromuscular	Unidad
1 RM estimado en <i>press banca</i>	kg
1 RM estimado en media sentadilla	kg
Parámetros del CMJ _{max}	
<i>Altura del CMJ_{max}</i>	cm
<i>Potencia máxima normalizada del CMJ_{max}</i>	W·kg ⁻¹
<i>Desplazamiento vertical del centro de gravedad</i>	cm
<i>Fuerza máxima del CMJ_{max}</i>	Peso corporal
<i>Stiffness o rigidez vertical normalizada</i>	N·m ⁻¹ ·kg ⁻¹
Variables antropométricas	Unidad
Peso corporal	kg
Σ4 Pliegues	mm
IMC	kg/m ²
Perímetro de cintura	cm

VAM: velocidad aeróbica máxima en km·h⁻¹; tUMTT: tiempo final en el test de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal en s; FC_{max}: frecuencia cardíaca máxima en pulsaciones por minuto; VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno en ml·kg⁻¹·min⁻¹; FC reposo: frecuencia cardíaca en reposo en pulsaciones por minuto; media R-R: duración media de los intervalos R-R en ms; SDNN: desviación estándar de los intervalos normales N-N sucesivos en ms; RMSSD: raíz cuadrada de la media de los cuadrados de las diferencias de intervalos normales adyacentes en ms; LF: baja frecuencia en la Transformada de Fourier en ms²; HF: alta frecuencia en la Transformada de Fourier en ms²; LF/HF: proporción de baja frecuencia/alta frecuencia en la Transformada de Fourier en ms; PAS: presión arterial sistólica medida en mm Hg; PAD: presión arterial diastólica medida en mm Hg; 1 RM: 1 repetición máxima expresada en kg; CMJ: salto con contramovimiento; Σ4 Pliegues: sumatorio de cuatro pliegues cutáneos expresado en mm (i.e., tricipital, bicipital, subescapular e ileocrestal/suprailíaco); IMC: índice de masa corporal expresado en kg/m².

Tabla 10. Variables del sistema inmunológico.

Variables del sistema inmune	Unidad
Marcadores pro y antiinflamatorios	
<i>IL-2</i>	ng·mL ⁻¹
<i>IL-4</i>	ng·mL ⁻¹
<i>IL-6</i>	ng·mL ⁻¹
<i>IL-10</i>	ng·mL ⁻¹
<i>IL-17</i>	ng·mL ⁻¹
<i>TNF- α</i>	ng·mL ⁻¹
<i>IFN-γ</i>	ng·mL ⁻¹
Subpoblaciones linfocitarias	
<i>Linfocitos T</i>	
CD4+	%
CD8+	%
<i>Linfocitos B</i>	
CD19+	%
<i>Células natural killer</i>	
CD56+	%

IL-2: interleucina 2 expresada en ng·mL⁻¹; IL-4: interleucina 4 expresada en ng·mL⁻¹; IL-6: interleucina 6 expresada en ng·mL⁻¹; IL-10: interleucina 10 expresada en ng·mL⁻¹; IL-17: interleucina 17 expresada en ng·mL⁻¹; TNF-α: factor de necrosis tumoral α expresado en ng·mL⁻¹; IFN-γ: interferón gamma expresado en ng·mL⁻¹; CD4+: linfocitos T-CD4 expresados en porcentaje; CD8+: linfocitos T-CD8 expresados en porcentaje; CD19+: linfocitos B-CD19 expresados en porcentaje; CD56+: células asesinas naturales -NK- CD56 expresadas en porcentaje.

Tabla 11. Variables perceptivas del esfuerzo y sensaciones al final del UMTT y a lo largo del período de entrenamiento.

Variables perceptivas del esfuerzo y sensaciones	Escala
RPE _{UMTT}	0 a 10
RPE _{ENT}	0 a 10
FS _{ENT}	-5 a +5
TRIMPS	Unidades arbitrarias

RPE_{UMTT}: ratios de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg al final del test de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal; RPE_{ENT}: ratios de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg durante el período de entrenamiento; FS_{ENT}: *Feeling Scale* o Escala de Sensaciones durante el período de entrenamiento; TRIMPS: *training impulses* durante el período de entrenamiento.

3.4.6. Diseño experimental

En la Figura 10 se presenta un cronograma con las fechas y las acciones que se llevaron a cabo a lo largo de la investigación.

En la Figura 11 se detalla la secuenciación de las acciones durante las evaluaciones preintervención y postintervención.

3.4.7. Reunión informativa e informe de consentimiento

Tras haber anunciado la realización de la investigación en la Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física de la Universidade da Coruña, los interesados en participar fueron convocados a una reunión informativa sobre el estudio. En ella se les entregó documentación acerca de la investigación, se les explicó detalladamente en qué consistía y se aclararon todas sus dudas. Aquellos individuos que se mostraron interesados en participar se inscribieron en el estudio, incluido dentro del seminario oficial universitario titulado “*Estudo dos parámetros de avaliación e control da carga interna e externa no deporte*”, y rellenaron el informe de consentimiento (ANEXO I).

Los sujetos que no reuniendo los criterios de inclusión/exclusión estuvieron interesados en participar, llevaron a cabo tareas de colaboración con el grupo de investigación durante el transcurso del estudio (i.e., etapa de familiarización, toma de datos o evaluación y monitorización del entrenamiento).

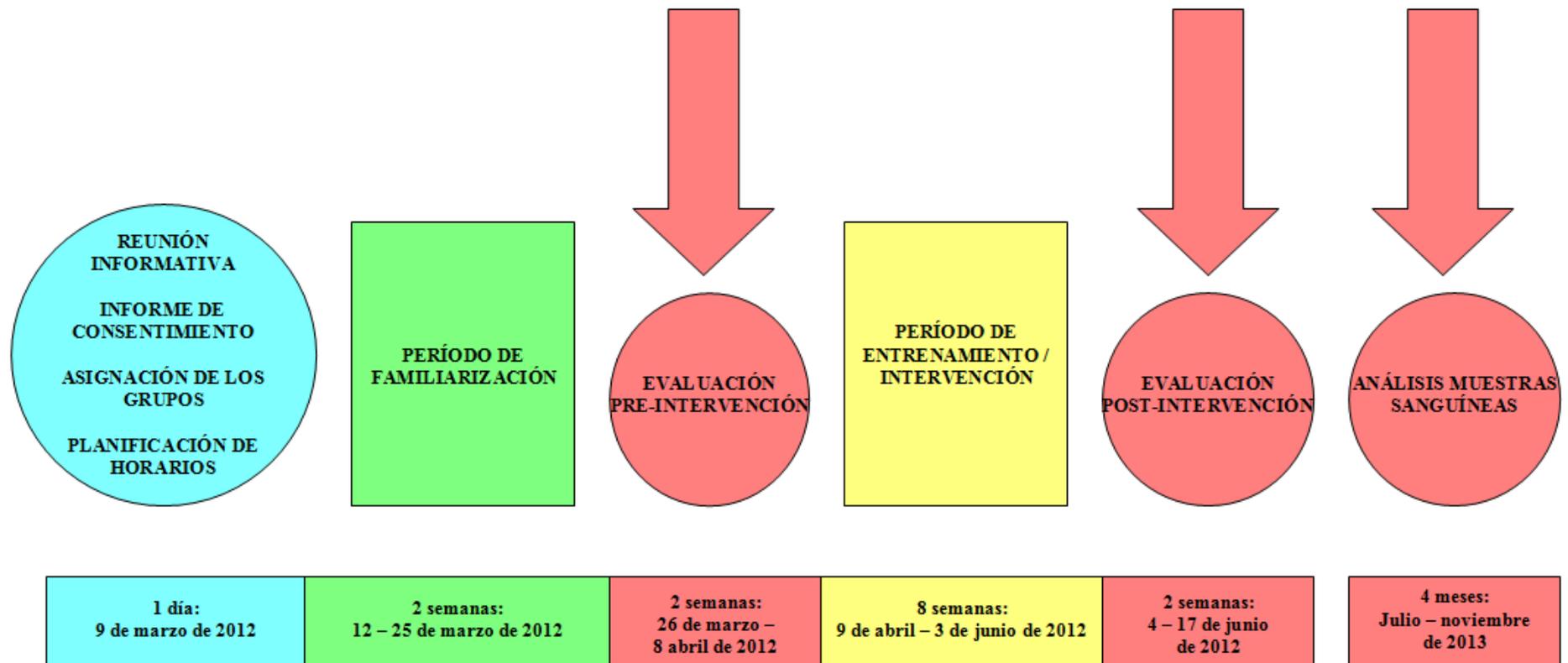


Figura 10. Cronograma de acciones durante el desarrollo de la investigación.

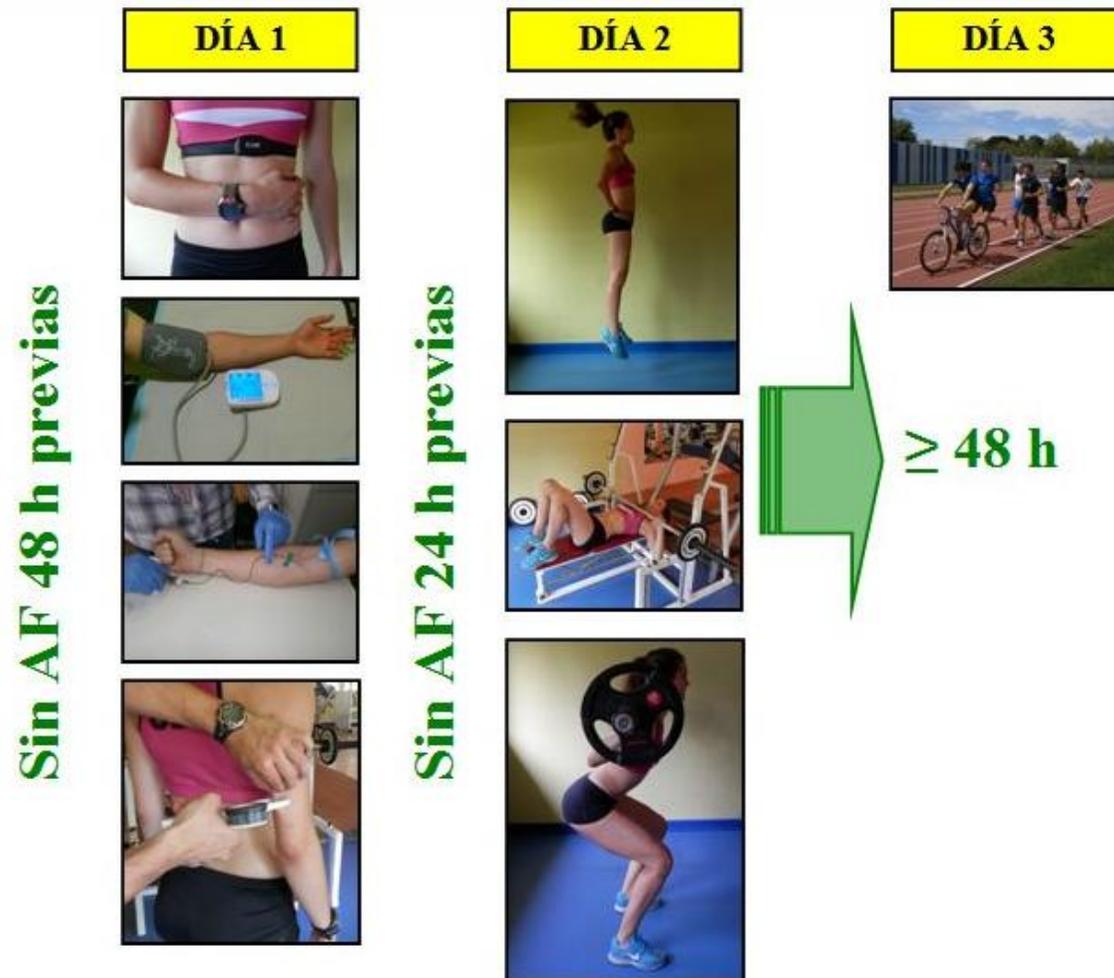


Figura 11. Secuenciación de las evaluaciones durante la toma de datos en la preintervención y en la postintervención.

3.4.8. Asignación de los grupos y planificación de horarios

Los participantes se asignaron de forma aleatoria a uno de los tres grupos posibles: entrenamiento concurrente polarizado (EPOL), consistente en 3 sesiones semanales de caminata, dos de ellas combinadas con trabajo de fuerza (i.e., una sesión orientada al desarrollo de la fuerza máxima y otra al desarrollo de la fuerza resistencia), y la restante con entrenamiento intermitente mediante *sprints*; entrenamiento concurrente tradicional (ETRAD), consistente en 3 sesiones de carrera continua a intensidad moderada (i.e., en la fase/zona de intensidad II, entre el Ua y el UAn), dos de ellas combinadas con trabajo de fuerza con cargas medias; o grupo control (CON), que siguió con su vida cotidiana.

Para la asignación aleatoria, los sujetos introdujeron la mano en una bolsa negra y, sin mirar, retiraron una papeleta que les asignó a uno de los grupos. Hubo el mismo número de papeletas para cada uno de los grupos (i.e., 12 para cada grupo). Además, se realizó un bloqueo para repartir equitativamente a las 5 mujeres que conformaban parte de la muestra en los tres grupos, también de forma aleatoria. Para ello, del total de papeletas, se reservaron en una bolsa diferente 2 papeletas para cada uno de los grupos que fueron extraídas por las mujeres.

De esta forma, los grupos quedaron conformados como sigue:

- EPOL: $n = 12$, de los cuales 2 fueron mujeres y 10 fueron hombres.
- ETRAD: $n = 12$, de los cuales 2 fueron mujeres y 10 fueron hombres.
- CON: $n = 11$, de los cuales 1 fue mujer y 10 fueron hombres.

En función de la disponibilidad de los participantes, se ajustaron los horarios para el período de familiarización, las pruebas de evaluación y el período de intervención, procurándose mantener, dentro de lo posible, los mismos horarios para cada participante a lo largo del período de entrenamiento, para evitar la influencia de los ritmos circadianos sobre las variables fisiológicas, tal y como se ha sugerido previamente (401,402). Los entrenamientos se llevaron a cabo en 3 sesiones semanales a lo largo de un período de 8 semanas y en días alternos: lunes, miércoles y viernes.

A continuación, se fijaron reuniones periódicas con los colaboradores para explicarles los procedimientos durante la investigación y en qué consistirían sus actividades.

Como ya se indicó anteriormente, de los 35 participantes iniciales completaron el estudio 31 de ellos, incluyéndose en el análisis de datos únicamente a los que finalizaron el estudio. Los grupos de cara al análisis de datos quedaron conformados de la siguiente manera:

- EPOL: $n = 10$, de los cuales 2 fueron mujeres y 8 fueron hombres.
- ETRAD: $n = 11$, de los cuales 2 fueron mujeres y 9 fueron hombres.
- CON: $n = 10$, de los cuales 1 fue mujer y 9 fueron hombres.

3.4.9. Período de familiarización

La etapa de familiarización se llevó a cabo en un gimnasio interior (Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidade da Coruña). Todos los grupos realizaron 6 sesiones de familiarización, previo a la realización de las evaluaciones preintervención, en un período de 2 semanas, realizando 3 sesiones cada semana y en días alternos: lunes, miércoles y viernes.

Cada sesión de familiarización consistió en la realización de un calentamiento general y homogéneo para todos los participantes mediante movilidad articular y 5 min de ejercicio aeróbico a una intensidad aproximada del 60% FC_{max} teórica, calculada según Tanaka et al. (403). Además, los participantes realizaron una familiarización con el CMJ de cara a su futura evaluación, realizando 4 saltos submáximos al final del calentamiento, separados por, como mínimo, 30 s de recuperación. Se emitió *feedback* constante durante las ejecuciones para ayudar al sujeto a ejecutar el salto de forma correcta, señalando al participante que mantuviese las manos en la cadera en todo momento y que procurase aterrizar en el mismo punto de despegue, para que la proyección del cdg fuese lo más vertical posible. El grado y la velocidad de flexión de las piernas se dejaron a elección del participante (404).

La parte principal de cada sesión estuvo compuesta por ejercicios de fuerza con bajas cargas (i.e., percepción del esfuerzo entre 2 y 4 en la OMNI-SCALE desarrollada por Robertson et al., 2003; Figura 12) destinados a grandes grupos musculares, para aprender la técnica básica de cada uno de ellos, siendo los ejercicios: *crunch* abdominal, *press banca* con barra libre, media sentadilla con barra libre tras nuca, dorsal en máquina con barra al pecho, *curl* de piernas en máquina en tendido prono, *curl* de bíceps con barra libre en bipedestación y extensiones de piernas en máquina. Los ejercicios de fuerza se llevaron a cabo en este orden y se organizaron en un circuito circular, realizando 3 series de 15, 10 y 8 repeticiones, respectivamente (percepciones de esfuerzo en la OMNI-SCALE de 2, 3 y 3-4, respectivamente), y utilizando la transición de un ejercicio a otro a modo de recuperación (i.e., aproximadamente 30 s), ya que se alternaron grupos musculares pertenecientes a los miembros superiores e inferiores (Figura 13). En este sentido, la organización circular del circuito se diseñó estableciendo primero aquellos ejercicios multiarticulares que implicaban más masa muscular y una mayor demanda en la ejecución técnica (e.g., pesos libres), pasando luego a ejercicios más localizados y de menor complejidad en su ejecución (e.g., máquinas guiadas, poleas, etc.). Dado que los ejercicios a desarrollar en la parte principal del entrenamiento de fuerza durante el período de intervención/entrenamiento, y utilizados durante la evaluación pre y postintervención, fueron el *press banca* y la media sentadilla, se decidió situarlos al inicio del circuito de fuerza para evitar que la posible fatiga muscular pudiese interferir con la correcta ejecución técnica de ambos ejercicios, en base a los trabajos de Simão et al. (367).

Previamente, se realizaron 3 series de 25 repeticiones de *crunch* abdominal (i.e., 1 antes de cada “vuelta” al circuito) con el objetivo de preparar y activar la faja abdomino-lumbar de cara al mantenimiento de una actitud postural óptima y un desarrollo técnico correcto en los ejercicios sucesivos. Tras la realización de una serie completa de cada uno de los ejercicios del circuito, y antes de comenzar la siguiente serie, se estableció un período de recuperación de entre 1 y 2 min. Por último, se realizó una vuelta a la calma consistente en ejercicios de flexibilidad destinados a los grupos musculares trabajados durante la sesión.

Al final de la sesión, y para familiarizar a los participantes con las escalas que se utilizarían posteriormente en la etapa de evaluación e intervención, se evaluó la

percepción subjetiva del esfuerzo del sujeto a lo largo de la sesión mediante la escala de percepción subjetiva del esfuerzo de Borg de 0 a 10 puntos (300). Del mismo modo, se evaluaron las sensaciones del participante, el “cómo se encontró”, durante la sesión a nivel físico y psíquico, a través de la *Feeling Scale* o Escala de Sensaciones propuesta por Hardy y Rejeski (304).

Los participantes pudieron hidratarse *ad libitum* a lo largo de todas las sesiones de familiarización. Para tal fin, se contactó con la empresa distribuidora de la marca Coca-Cola® en La Coruña (Begano S.L., La Coruña, España), que colaboró en la investigación proporcionando bebidas isotónicas (Aquarius, Begano S.L., La Coruña, España) y agua (Aquabona, Begano S.L., La Coruña, España) para todos los participantes a lo largo de todas las sesiones de entrenamiento y evaluación que conformaron el estudio.

En el ANEXO II se muestra una ficha de control individualizada, a modo de ejemplo, para la monitorización del entrenamiento de cada uno de los participantes durante la etapa de familiarización.

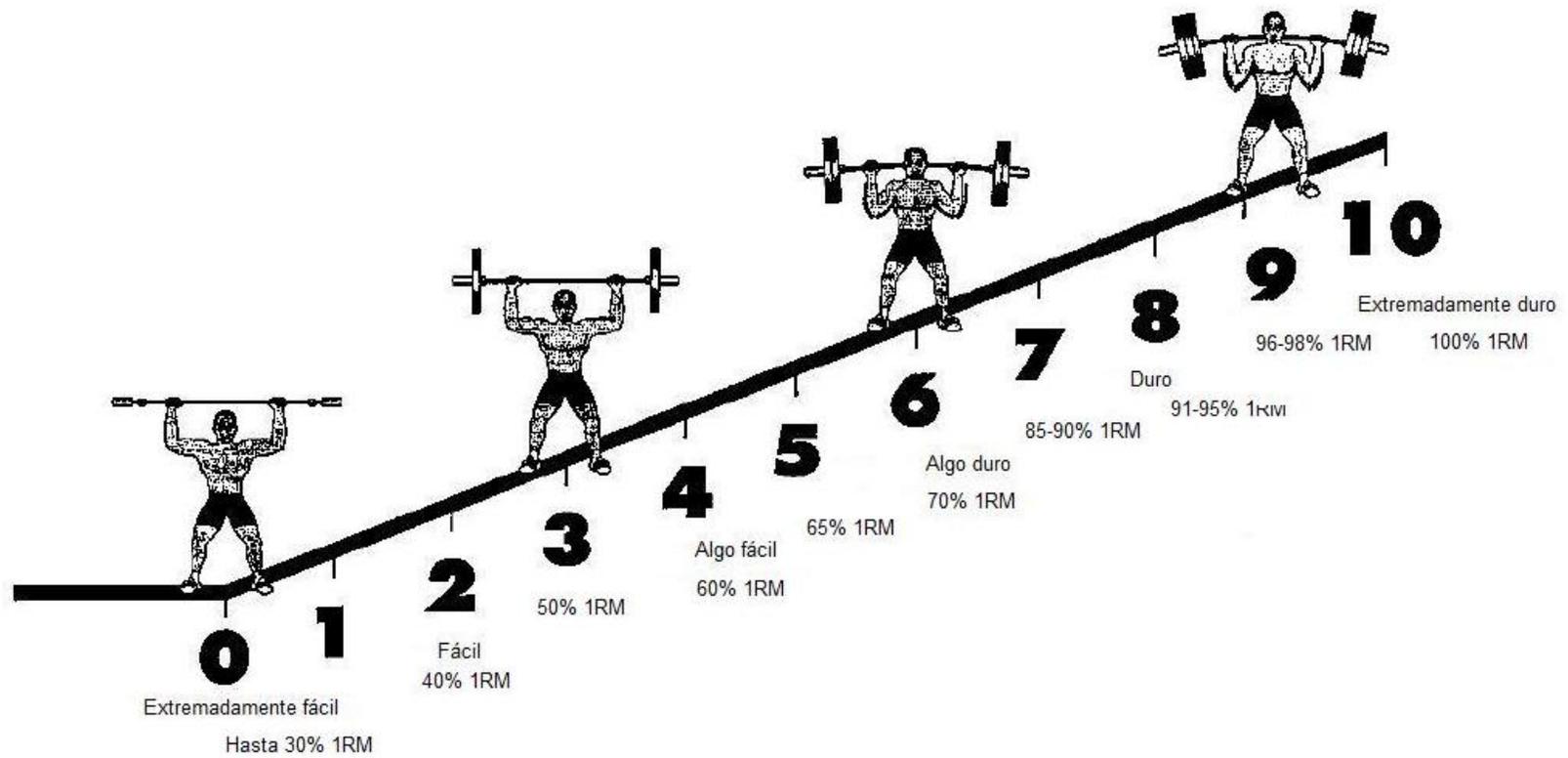


Figura 12. OMNI-Scale. Escala de percepción del esfuerzo de 0 a 10 puntos para el entrenamiento de fuerza y relación con los % de 1 RM.

Adaptado a partir de Robertson et al. (2003).



Figura 13. Circuito de fuerza a desarrollar durante la etapa de familiarización por todos los grupos, y durante el calentamiento específico para el entrenamiento de fuerza por los grupos experimentales.

3.4.10. Evaluaciones preintervención

Durante la etapa de preintervención, todas las pruebas de evaluación (Figura 11) se desarrollaron en un período no superior a 2 semanas y con una temperatura y humedad media exterior de $13,32 \pm 2,95^\circ \text{C}$ y del $64,14 \pm 11,9\%$, respectivamente (consulta de históricos en la *web* de MeteoGalicia -www.meteogalicia.es- para la ciudad de La Coruña).

3.4.10.1. Día 1

Todas las evaluaciones realizadas a lo largo de este día se llevaron a cabo en el Laboratorio de Fisiología (Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidade da Coruña).

3.4.10.1.1. Evaluación de la variabilidad de la frecuencia cardíaca

Los participantes acudieron al laboratorio a primera hora de la mañana y en ayunas, sin haber realizado AF, como mínimo, durante las 48 h previas a la evaluación. Además, se recomendó dormir un mínimo de 8 h la noche anterior.

Una vez explicado al participante el protocolo y la secuenciación de las evaluaciones a lo largo de este día, se procedió con la medición de la VFC en reposo. De cara a esta evaluación, se solicitó a los participantes que no ingiriesen ningún tipo de bebida energética o con cafeína, teína o similares en las 24 h previas a la realización de esta prueba, para evitar que interfiriese en la evaluación. Para dicha evaluación, se llevó a cabo el test ortoestático de VFC siguiendo las sugerencias de Hynynen et al. (2011). Para el registro del intervalo R-R, se utilizó un monitor de FC (RS800, Polar Electro, Kempele OY, Finlandia). Tras colocar al participante la banda de registro del monitor de FC, impregnada en gel conductor (Wavelength HV, National Therapy Products Inc., Canadá) para una mejor conducción de la señal entre los electrodos y la piel, el test comenzó con el participante en posición de decúbito supino, posición que mantuvo

durante 5 min, procurando relajarse, no moverse y con un patrón de respiración normal. Tras esos 5 min, el sujeto se incorporó lentamente y adoptó una posición de bipedestación estática, la cual mantuvo durante otros 3 min. Se procuró en todo momento que el ambiente fuese tranquilo, sin ruidos, con iluminación tenue y con una temperatura y humedad estables.

Posteriormente, se volcaron los datos al ordenador a través del programa informático del monitor de frecuencia cardíaca (Polar Pro Trainer 5, Kempele OY, Finlandia) y se aplicaron filtros medios para eliminar los valores extremos. De cara al análisis de la VFC durante el test ortoestático, se analizó un período continuo de 4 min durante la fase de 5 min en posición de decúbito supino, contabilizando desde el minuto 00:30 hasta el 04:30. Los primeros y últimos 30 s de esta fase se eliminaron para evitar los diferentes disturbios relacionados con el comienzo y finalización de la fase. En la fase de bipedestación estática se analizaron los últimos 2 min del período total de 3 min, desechando el primer minuto para eliminar las respuestas cardíacas producidas justo después del cambio de posición, tal y como se recomienda en el protocolo original (197).

Después, se introdujeron los archivos filtrados y los intervalos seleccionados de cada una de las posiciones (i.e., decúbito supino y bipedestación estática) en un programa de análisis de VFC (Kubios HRV 2.1, Kuopio, Finlandia) para el cálculo automático de diversos parámetros del dominio tiempo y del dominio frecuencia. Para el primero de ellos, se determinó la FC en reposo, la media de los intervalos N-N o R-R (Media R-R), la SDNN, y la RMSSD. En cuanto a la evaluación del dominio frecuencia se determinaron, a partir de la FFT (i.e., transformada de Fourier), los componentes espectrales LF, HF y la proporción LF/HF.

Todos los parámetros de ambos dominios fueron determinados tanto para la fase en posición de decúbito supino como para la fase en posición de bipedestación estática, tal y como sugiere el protocolo original (197).

3.4.10.1.2. Determinación de la presión arterial sistólica y diastólica en reposo

A continuación de la medición de la VFC se determinó la PAS y la PAD en reposo de los participantes mediante un tensiómetro digital (Beurer BM44, Beurer, Alemania) que se colocó según las instrucciones del fabricante. Esta evaluación se realizó tras el test de VFC con el objetivo de permitir al participante estar en estado de reposo y tranquilidad antes de la medición.

3.4.10.1.3. Evaluación de los biomarcadores del sistema inmunológico

Para la evaluación de los marcadores del sistema inmunológico un profesional sanitario realizó dos extracciones sanguíneas por participante, una antes de comenzar el período de intervención y otra al finalizar el mismo, cumpliendo el requisito de que los participantes acudiesen en ayunas y no realizasen AF, como mínimo, durante las 48 h previas a la extracción para no alterar los niveles de los marcadores a evaluar. El profesional sanitario realizó las extracciones sanguíneas con guantes hipoalergénicos de latex (Corysan, Barcelona, España), utilizando un equipo de adaptación para la extracción de sangre al vacío (i.e., agujas y palometas esterilizadas; Quick Fit, Terumo Europe, Leuven, Bélgica) y tubos heparinizados (Venosafe, Terumo Europe, Leuven, Bélgica). Las extracciones constaron de, aproximadamente, 10 mL de sangre extraídos de la vena antecubital para su posterior congelación (i.e., -20° C), almacenamiento y análisis.

De cara a la preparación de las muestras sanguíneas para su posterior análisis, en primer lugar, se centrifugaron las muestras a 3.000 revoluciones por minuto (rpm) durante 15 min para la obtención del suero necesario para el análisis de los marcadores pro y antiinflamatorios (i.e., citocinas), a través de dos máquinas centrífugas (Allegra X-22R y Microfuge 22R, Beckman Coulter Inc., California, EE.UU.). Seguidamente, se procedió con la separación de células mononucleares de sangre periférica (i.e., subpoblaciones linfocitarias) mediante gradiente de densidad de Ficoll (Histopaque, Sigma-Aldrich Co., Missouri, EE.UU.). Por último, las muestras se congelaron a -20 °C

en una cámara (Neubauer, Assistant, Alemania). Al día siguiente se congelaron a -80° C y al tercer día a nitrógeno líquido en criobiología.

Para evaluar los efectos de los programas de entrenamiento sobre el sistema inmunológico se determinaron, mediante un citómetro de flujo (FACSCalibur, BD Biosciences, Nueva Jersey, EE.UU.), diversos marcadores pro y antiinflamatorios: IL-2, IL-4, IL-6, IL-10, IL-17, TNF- α , IFN- γ (CBA Human Th1/Th2/Th17 Cytokine Kit, BD CYTOME, Becton Dickinson S.A., Madrid, España). Del mismo modo, también se determinaron las concentraciones de diversas subpoblaciones linfocitarias, mediante citometría de flujo (FACSCalibur, Becton Dickinson Biosciences, EE.UU.), a través de anticuerpos monoclonales (MO A-HU, Palex Medical S.A., Barcelona, España) específicos para cada una de las subpoblaciones linfocitarias: linfocitos T: CD4 (MO A-HU CD4, MT310/APC), CD8 (MO A-HU CD8, DK25/APC); linfocitos B: CD19 (MO A-HU CD19, HD37/APC); células NK: CD56 (MO A-HU CD56, MOC-1/RPE).

Los valores obtenidos en la determinación de los marcadores pro y antiinflamatorios fueron analizados a través de un software específico (FCAP Array Software version 3.0, Soft Flow Ltd., Hungría).

De cara a estas evaluaciones, se aseguró el cumplimiento de la Ley de Investigación Biomédica (Ley 14/2007, del 3 de julio) referente al tratamiento de muestras biológicas.

3.4.10.1.4. Determinación de las variables antropométricas

Después de haber realizado la extracción sanguínea, se procedió con la determinación de las variables antropométricas.

3.4.10.1.4.1. Peso, estatura e índice de masa corporal

El peso y la estatura se determinaron con una báscula y con un tallímetro (Añó, Sayol, España), previamente calibrados, siguiendo los protocolos recomendados por el Grupo Español de Cineantropometría (405). Además, se calculó el IMC a través de la ecuación de Quetelet (406).

3.4.10.1.4.2. *Perímetro de cintura*

El perímetro de cintura se midió con una cinta antropométrica con precisión de 0,2 mm (Prym, Alemania) en el punto medio situado entre el borde inferior de la caja torácica y la cresta ilíaca, de acuerdo con Lean et al. (1995).

3.4.10.1.4.3. *Pliegues cutáneos*

La medición de pliegues cutáneos se llevó a cabo mediante un plicómetro con precisión de 0,2 mm (Holtain Crymych, Reino Unido), de acuerdo con los protocolos recomendados por el Grupo Español de Cineantropometría (405). Además, se calculó el sumatorio de 4 pliegues cutáneos ($\Sigma 4$ pliegues): tricipital, bicipital, subescapular e ileocrestal/suprailíaco.

Todas las mediciones se realizaron en el lado derecho del cuerpo. Se llevaron a cabo tres mediciones de cada uno de los pliegues cutáneos y se calculó la media aritmética de cara al análisis de los datos.

Se midieron un total de 6 pliegues cutáneos:

- Tricipital
- Bicipital
- Subescapular
- Ileocrestal/suprailíaco
- Muslo anterior
- Pierna medial

3.4.10.2. Día 2

Las pruebas del segundo día de evaluación se desarrollaron en un gimnasio interior (Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidade da Coruña).

3.4.10.2.1. Evaluación de la capacidad de salto vertical

Los participantes acudieron a nuestro laboratorio sin haber realizado AF durante las 24 h previas al test. Además, para asegurar un estado óptimo de cara al rendimiento, se les sugirió que la noche anterior durmieran un mínimo de 8 h y que viniesen bien hidratados a la prueba, evitando tomar bebidas energéticas o con cafeína, teína o similares en las 2 h previas a la ejecución de la prueba. Del mismo modo, se les indicó que realizasen la última ingesta (i.e., desayuno o comida), como mínimo, 3 h antes de la realización de la prueba y que dicha ingesta tuviese un alto contenido en hidratos de carbono de asimilación lenta (e.g., pasta, arroz, patatas hervidas, cereales, etc.).

Tras la realización de un calentamiento homogéneo, consistente en ejercicios de movilidad articular, 5 min de ejercicio aeróbico de carrera continua a una intensidad aproximada del 60% de la FC_{max} teórica calculada según Tanaka et al. (2001) y 4 CMJ submáximos a modo de recordatorio de la técnica de ejecución con, como mínimo, 30 s de recuperación entre cada uno de ellos, se procedió con la evaluación de la capacidad de salto vertical, medida a través del ejercicio de CMJ máximo (CMJ_{max}). Entre el último CMJ submáximo y el test de evaluación del CMJ_{max} se estableció una recuperación de 3 min.

Para la evaluación del CMJ_{max} se utilizó una plataforma de fuerzas piezoeléctrica portátil (Quattro Jump, Kistler, Suiza). El participante realizó dos CMJ_{max} separados por, como mínimo, 30 s. En caso de error en el registro o de mala ejecución del salto, el participante realizó otro intento adicional hasta conseguir los dos saltos válidos. El investigador le indicó al participante cuándo podía subir a la plataforma. Una vez subido, debía permanecer estático, y con las manos en la cintura, hasta que el investigador le diese la señal para comenzar el salto (Figura 14). Tanto el grado de flexión de las piernas como la velocidad de ejecución se dejaron a voluntad del sujeto

(404). En ningún momento los participantes podían ayudarse de los brazos (e.g., despegar las manos de la cintura) para alcanzar más altura. Los investigadores animaron en todo momento a que se saltase verticalmente lo máximo posible, intentando despegar y caer en el mismo punto de la plataforma para asegurar un desplazamiento lo más verticalizado posible del cdg. Una vez que se aterriza sobre la plataforma, el participante debía mantener la posición inicial estática durante unos segundos, hasta aviso del investigador, para que el software (Quattro Jump, v. 1.0.9.1., Kistler, Suiza) registrara el salto correctamente.

De cara al análisis de los datos, se tomó como CMJ_{max} el salto de mayor altura. Posteriormente, se analizó la altura del salto, la potencia máxima normalizada para el peso corporal, la fuerza máxima, el desplazamiento vertical del cdg y el *stiffness* o rigidez vertical (K_{vert}) normalizada para el peso corporal.



Figura 14. Preparación de uno de los participantes en los instantes previos a la realización del CMJ_{max} sobre la plataforma de fuerzas.

3.4.10.2.2. Estimación de 1 repetición máxima en *press banca* y media sentadilla

A continuación, tras el test de salto vertical máximo, se llevó a cabo un test submáximo de fuerza para estimar la 1 RM en los ejercicios de *press banca* y media sentadilla.

Antes de la realización de la prueba, se explicó detenidamente el procedimiento a los participantes. El test dio comienzo con el ejercicio de *press banca*, siguiendo con el de media sentadilla. En primer lugar, se llevó a cabo un calentamiento específico en el ejercicio de *press banca* consistente en realizar una serie de 15 repeticiones con una percepción del esfuerzo de 2 en la OMNI-Scale (Figura 12). Seguidamente, y tras 3 min de recuperación, se realizó una segunda serie de 10 repeticiones con una percepción del esfuerzo de 3 en la OMNI-Scale (Figura 12). Pasados 5 min de recuperación, el participante realizó el test de fuerza de RHF con el mayor peso posible que pudiese movilizar a lo largo de, aproximadamente, 7-10 RM. En función de las sesiones de fuerza realizadas durante la etapa de familiarización, se estimó el peso que se podría mover a lo largo de todo el rango de movilidad articular, y con una técnica correcta, no más de 10 repeticiones, tal y como se recomienda para una mayor fiabilidad de las ecuaciones que estimarían, posteriormente, el valor real de la 1 RM (340). En los casos en que el número de repeticiones realizadas con el peso seleccionado se aproximó a 15, se estableció un período de recuperación de 5 min y se realizó un nuevo intento incrementando el peso a movilizar. El número de repeticiones y los kg movidos durante esas repeticiones se utilizaron para estimar la 1 RM a partir de las ecuaciones presentadas en la Tabla 6 (i.e., ecuaciones de Mayhew y Wathan para *press banca* y media sentadilla, respectivamente).

Tras el test de *press banca* se permitió un período de recuperación de 5 min antes de repetir todo el proceso con el ejercicio de media sentadilla, calentamiento específico incluido.

En todo momento se maximizaron las medidas de seguridad en la evaluación de la fuerza en ambos ejercicios. Para la prueba de *press banca*, el investigador principal estuvo siempre supervisando el ejercicio y atento para ayudar al participante a depositar la barra al finalizar la última repetición del test (Figura 15). Para la evaluación de la fuerza del miembro inferior mediante el ejercicio de media sentadilla, dos colaboradores

del equipo de investigación se colocaron a ambos lados de la barra cargada de discos y ayudaron al participante a situarse en posición de inicio del test. Además, el investigador principal se situó detrás del participante para mayor seguridad. Tanto los colaboradores como el investigador principal, acompañaron el movimiento del participante a lo largo de las repeticiones para cuando se produjese el fallo muscular. Posteriormente, lo ayudaron a depositar la barra. Para lograr una mayor estabilidad y mejor posición corporal durante este ejercicio, se colocaron un par de discos en el suelo a modo de cuñas para que el participante colocase los talones sobre ellos. Además, los participantes llevaron un cinturón de halterofilia para una mayor protección de la zona lumbar (Figura 16).

Los participantes pudieron hidratarse *ad libitum*, antes y después de cada una de las pruebas, con agua (Aquabona, Begano S.A., La Coruña, España) o con una bebida isotónica (Aquarius, Begano S.A., La Coruña, España), previamente proporcionadas por el equipo de investigación.

Una vez realizada la evaluación de la fuerza pasaron, como mínimo, 48 h antes de la realización de la siguiente prueba.



Figura 15. Evaluación de la fuerza del miembro superior mediante el ejercicio de *press banca*.



Figura 16. Evaluación de la fuerza del miembro inferior mediante el ejercicio de media sentadilla.

3.4.10.3. Día 3

3.4.10.3.1. Determinación de la velocidad aeróbica máxima y de la frecuencia cardíaca máxima y estimación del consumo máximo de oxígeno

Para la determinación de la VAM y de la FC_{max} , se llevó a cabo el UMTT (322) en una pista de atletismo homologada de 400 m y al aire libre (Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidade da Coruña).

En nuestro estudio, el protocolo original se modificó y se redujo la velocidad de inicio en el primer estadio, manteniendo los incrementos temporales de la velocidad tal y como se propone en el protocolo original de Léger y Boucher (1980). El objeto de esta

modificación fue incluir en los primeros escalones bajas velocidades (i.e., caminando) similares a las que, previsiblemente, los participantes del grupo EPOL desarrollarían posteriormente en su programa de entrenamiento. Además, la velocidad fue marcada en todo momento por un ciclista experimentado, tal y como propuso Brue (1985).

En los días previos a la realización del test, se consultaron con asiduidad las previsiones meteorológicas en diferentes páginas *web* (e.g., WindGURU, MeteoGalicia) para asegurar que las condiciones fueran adecuadas. Todas las pruebas se desarrollaron sin precipitaciones y con una temperatura y humedad media de $13,32 \pm 2,95^{\circ} \text{C}$ y del $64,14 \pm 11,9\%$, respectivamente (consulta de históricos en la *web* de MeteoGalicia - www.meteogalicia.es- para la ciudad de La Coruña).

Se pidió a los participantes que no realizasen AF en las 24 h previas a la realización del test, que durmiesen un mínimo de 8 h la noche anterior y que la última ingesta se realizase, como mínimo, 3 h antes de la prueba y que fuese rica en hidratos de carbono de asimilación lenta (e.g., pasta, arroz, patatas hervidas, cereales, etc.) para asegurar la disponibilidad de sustrato energético. De igual modo, se recomendó a los participantes que se hidratasen correctamente durante las horas previas, evitando bebidas con cafeína, teína o similares. Además, se respetó el criterio de que pasaran, como mínimo, 48 h desde la realización del test de evaluación de la fuerza para asegurar una correcta recuperación.

El día de la prueba, se citó a los participantes para que acudiesen en grupos de entre 5 y 6 personas. Antes de comenzar el test, se explicó detalladamente el protocolo, tanto a los participantes como al ciclista, así como la escala de percepción subjetiva del esfuerzo que se pasaría al finalizar la prueba. Se les indicó a los participantes que se colocasen siempre detrás de la bicicleta y nunca paralelos a la misma. La bicicleta fue conducida por un ciclista experimentado, al cual se le solicitó que mantuviese la velocidad lo más constante posible en cada uno de los estadios y que fuese pegado a la cuerda de la calle 1 de la pista de atletismo. Se intentó colocar a los participantes, dentro de la medida de lo posible, en el orden en el que se estimó que finalizarían la prueba, yendo más adelante los que, previsiblemente, se ejercitarían durante más tiempo (Figura 17). En cualquier caso, se les indicó que adelantasen al compañero precedente si intuían que éste se iba a detener o a alejar de la bicicleta o de su correspondiente compañero precedente.



Figura 17. Participantes durante la realización del UMTT.

De cara al calentamiento y a la realización de la prueba se le proporcionó a cada participante un monitor de FC (Polar Electro, Kempele OY, Finlandia) para la monitorización de la FC. Tras un calentamiento homogéneo para todos los grupos consistente en ejercicios de movilidad articular y 5 min de ejercicio aeróbico (i.e., marcha rápida/carrera continua) sin sobrepasar el 60% de la FC_{max} teórica del sujeto, calculada según Tanaka et al. (2001), los participantes se situaron detrás de una bicicleta (Orbea Dakar, España), la cual marcaría la velocidad a seguir durante la prueba con ayuda de un velocímetro (Sigma wireless BC 1200+, Sigma Elektro, Alemania) previamente calibrado según las especificaciones del fabricante. Se les permitió a los participantes hidratarse *ad libitum* antes y después de la prueba, tanto con agua (Aquabona, Begano S.A., La Coruña, España) como con una bebida isotónica (Aquarius, Begano S.A., La Coruña, España), previamente proporcionadas por el equipo de investigación.

El test comenzó a una velocidad de $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con incrementos de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 2 min, que fueron indicados por los investigadores con ayuda de un silbato a la vez que comunicaban la velocidad correspondiente al estadio siguiente, hasta la máxima

extenuación del sujeto. Los participantes fueron animados por los investigadores en todo momento para alentarlos a que se esforzaran al máximo. La prueba se consideró finalizada en los siguientes casos: a) cuando el participante se detuvo de forma voluntaria, o b) cuando el participante se alejó de la bicicleta o del compañero precedente más de 2-3 m durante 5-8 s; en este caso, se avisó al participante para que se detuviese. En ese preciso instante, se acudió inmediatamente al lugar donde se había detenido el participante y se evaluó su percepción subjetiva del esfuerzo a través de la escala de percepción del esfuerzo de Borg de 0 a 10 puntos (RPE_{UMTT}) (300).

Se asumió la VAM como la velocidad alcanzada en el último estadio completado de 2 min. De cara a un ajuste más preciso de la VAM, para la prescripción y control de los entrenamientos, en los casos en los que los sujetos soportaron tan sólo 1 minuto del último estadio se asumió como VAM la velocidad del estadio anterior, al cual se le sumaron $0,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (323). Asimismo, se determinó el t_{UMTT} .

El VO_{2max} de cada participante se estimó a partir de la ecuación propuesta por Léger y Mercier (1983):

$$VO_{2max} (\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) = 3,5 \cdot \text{VAM} (\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$$

Para que la prueba se considerase máxima, se tuvo que cumplir, como mínimo, uno de los siguientes criterios asociados a la extenuación (407):

- Manifestar una percepción subjetiva del esfuerzo, en la escala de Borg, justo al finalizar la prueba ≥ 8 (408).
- Alcanzar una $FC_{max} > 95\%$ de la FC_{max} teórica (59) calculada según Tanaka et al. (2001).

3.4.11. Período de entrenamiento

Tras el período de familiarización y las evaluaciones preintervención, los grupos experimentales (i.e., EPOL y ETRAD) llevaron a cabo un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 8 semanas de duración, 3 sesiones semanales, con equiparación de la carga externa entre ambos programas. Desde un principio, tal y como se había acordado en la reunión informativa, se exigió que los participantes realizasen, como mínimo, el 80% de las sesiones de modo presencial y monitorizado, dejando un pequeño margen para imprevistos (e.g., indisponibilidad eventual, festivos, vacaciones, etc.). En cualquier caso, todos los participantes se comprometieron a realizar el 100% de las sesiones de entrenamiento, aunque fuese por su cuenta, si bien se intentó, siempre que fue posible, recuperar las sesiones perdidas de forma presencial en días no establecidos para el desarrollo de las sesiones de entrenamiento.

Además, se les solicitó a los participantes que no modificasen, en la medida de lo posible, su rutina de vida en cuestiones nutricionales, AF realizada (aparte de la del estudio) u horas de sueño.

A lo largo de todas las sesiones de entrenamiento, los sujetos pudieron hidratarse *ad libitum* con bebidas isotónicas (Aquarius, Begano S.L., La Coruña, España) y/o agua (Aquabona, Begano S.L., La Coruña, España), que fueron suministradas por el equipo de investigación antes de cada una de las sesiones. Las bebidas isotónicas fueron suministradas únicamente el día en el que ambos grupos realizaron solamente trabajo de resistencia (i.e., miércoles), ya que la intensidad del mismo fue mayor que los otros días. Por el contrario, en los días de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza (i.e., lunes y viernes) se suministró únicamente agua.

Durante de la etapa de intervención o entrenamiento, las condiciones meteorológicas presentaron una temperatura y humedad media de $14,32 \pm 3,02^\circ \text{C}$ y del $73,77 \pm 6,44\%$, respectivamente (consulta de históricos en la *web* de MeteoGalicia - www.meteogalicia.es- para la ciudad de La Coruña).

A continuación se describe con detalle en qué consistió cada uno de los programas de entrenamiento de los grupos experimentales.

3.4.11.1. Programa de entrenamiento del grupo EPOL

El grupo EPOL realizó un entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza con una distribución polarizada de las cargas en ambas capacidades. Se programaron 2 mesociclos compuestos por 4 microciclos cada uno, con una relación de carga 3:1 (i.e., 3 microciclos de carga creciente y 1 de ajuste o descarga). Se realizaron 3 sesiones semanales en días alternos: lunes, miércoles y viernes, con una duración media por sesión de ~120 min (i.e., aproximadamente 6 h semanales).

Antes de llevar a cabo la parte principal de la sesión (i.e., entrenamiento de resistencia + entrenamiento de fuerza) se realizó un calentamiento homogéneo consistente en movilidad articular seguida de 5 min al 30% de la VAM.

El programa de entrenamiento de resistencia del grupo EPOL se llevó a cabo sobre un circuito de hierba natural, completamente llano, de 500 m de longitud (Estadio de atletismo, Facultad de Ciencias de la AF y del Deporte, Universidade da Coruña). El entrenamiento de resistencia incluyó 3 sesiones semanales de caminata rápida a una intensidad del 35-40% de la VAM con duraciones comprendidas entre 35 y 65 min. Una de las sesiones de caminata (i.e., miércoles) se combinó con entrenamiento intermitente mediante *sprints* consistente en realizar 2×10-12×15 s a intensidad alta (aproximadamente 120% de la VAM) con recuperación pasiva de 15 s entre intervalos (i.e., densidad trabajo:recuperación = 1:1) y de 2 min entre series, mientras que las otras dos sesiones (i.e., lunes y viernes) se combinaron con trabajo de fuerza enfocado al desarrollo de la fuerza máxima o de la fuerza resistencia (Tabla 12).

Se programaron entrenamientos individualizados para cada participante del grupo EPOL y se calculó el ritmo de caminata que debía mantener al completar cada una de las vueltas al circuito de hierba de 500 m. Para tal fin, se diseñó una hoja de control para la monitorización individualizada del entrenamiento (ANEXO III).

Al finalizar la parte de entrenamiento de resistencia de cada sesión, se le pidió a cada participante que evaluase su percepción subjetiva del esfuerzo mediante la escala de Borg de 0 a 10 puntos (300), así como sus sensaciones, a través de la Escala de Sensaciones propuesta por Hardy y Rejeski (1989).

En la sesión en la que se combinó el entrenamiento de resistencia con entrenamiento intermitente, se calculó la distancia que debía recorrer cada participante en cada intervalo (i.e., *sprint*) durante el tiempo establecido para cada uno de ellos. Para tal objeto, se colocaron en la recta de 100 m de la pista de atletismo tantos conos como participantes entrenasen en ese momento a la distancia individual correspondiente medida hasta la línea de meta. Con la ayuda de un silbato, se dio la salida a los participantes y se les ayudó a controlar el ritmo realizando una cuenta atrás en voz alta de los segundos restantes que faltaban para agotar el tiempo establecido por repetición. Se les pidió que trataran de llevar un ritmo homogéneo y que hicieran coincidir el segundo “0” de la cuenta atrás con el punto de llegada (Figura 18). Tras el período de recuperación pertinente, se procedió a dar la salida de la siguiente repetición, y así sucesivamente hasta finalizar el entrenamiento.

Nuevamente, tras el entrenamiento intermitente, se le pidió a cada participante que evaluase su percepción subjetiva del esfuerzo mediante la escala de Borg de 0 a 10 puntos (300), así como sus sensaciones, a través de la Escala de Sensaciones propuesta por Hardy y Rejeski (1989).

El entrenamiento de fuerza se llevó a cabo en un gimnasio interior (Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidade da Coruña) e incluyó 2 sesiones semanales, una destinada al trabajo de fuerza máxima y otra al de fuerza resistencia, en las cuales se llevaron a cabo los ejercicios de *press banca* y media sentadilla. Antes de llevar a cabo los entrenamientos de la parte de fuerza, se realizaron 2 series de 8 repeticiones, a modo de calentamiento específico de esta parte de la sesión (i.e., percepción del esfuerzo 2-3 en la OMNI-Scale), en el circuito de fuerza utilizado durante el período de familiarización (Figura 13), el cual estuvo dirigido a grandes grupos musculares siguiendo una organización circular. Además, se incluyeron 2 series de 25 repeticiones de *crunch* de abdomen (i.e., 1 antes de cada “vuelta” al circuito) para activar la faja abdomino-lumbar y favorecer la correcta actitud postural de cara al desarrollo posterior del trabajo de fuerza principal.

El orden de los ejercicios a desarrollar en la parte principal del entrenamiento de fuerza (i.e., *press banca* y media sentadilla) se alternó a lo largo de las semanas para equilibrar los posibles efectos asociados a la fatiga muscular previa como consecuencia del entrenamiento de resistencia y desarrollar la fuerza en condiciones similares para ambos

ejercicios, basándose en las conclusiones aportadas por Simão et al. (2012). Se realizaron todas las series seguidas de un mismo ejercicio, con recuperaciones de 3 min entre cada serie, antes de pasar al siguiente ejercicio, tanto en el trabajo de fuerza máxima como en el de fuerza resistencia. Para controlar que los sujetos se ejercitaban a las intensidades deseadas durante el entrenamiento, se utilizó como referente la escala de percepción del esfuerzo diseñada por Robertson et al. (409) para la realización de trabajo de fuerza (Figura 12).

La distribución de las cargas a lo largo del período de entrenamiento en el trabajo de fuerza máxima fue de la siguiente forma: en los 2 primeros microciclos del mesociclo 1 se realizaron, en la sesión 1, 3×5 RM (RPE 8 en la escala de Robertson et al., 2003, aproximadamente al 90-95% 1 RM) con una recuperación entre series de 3 min (F.Máx.1 en las Tablas 12 y 17); en el 3º microciclo del mesociclo 1 y en el 1º y 2º microciclo del mesociclo 2 se incrementó una serie más (i.e., 4) (F.Máx.2 en las Tablas 12 y 17) y durante el 3º microciclo del mesociclo 2 se ejecutaron 5 series (F.Máx.3 en las Tablas 12 y 17). El microciclo 4º de ambos mesociclos fue de ajuste o descarga y se realizaron 3 (F.Máx.1 en las Tablas 12 y 17) y 4 series (F.Máx.2 en las Tablas 12 y 17), respectivamente. La otra sesión de fuerza semanal (i.e., sesión 3) estuvo orientada al trabajo de fuerza resistencia y la distribución de las cargas fue como sigue: durante los 2 primeros microciclos del mesociclo 1 se ejecutaron 2×15 RM (RPE 4 en la escala de Robertson et al., 2003, aproximadamente al 60% 1 RM) con una recuperación entre series de 3 min (F.Res.1 en las Tablas 12 y 17); en el 3º microciclo del mesociclo 1 y en el 1º y 2º microciclos del mesociclo 2, se realizaron 3 series (F.Res.2 en las Tablas 12 y 17), mientras que en el 3º microciclo del mesociclo 2 se ejecutaron 4 series (F.Res.3 en las Tablas 12 y 17). Por último, en el 4º microciclo de ambos mesociclos, al ser de ajuste o descarga, se realizaron 2 (F.Res.1 en las Tablas 12 y 17) y 3 series (F.Res.2 en las Tablas 12 y 17), respectivamente.

En todos los entrenamientos de fuerza se trabajó mediante RM; es decir, los participantes tenían que desplazar el máximo peso posible que les permitiese realizar las repeticiones estipuladas, pero no una más. En el momento en que apareció la fatiga a lo largo de la sesión, se fueron reduciendo los kg movilizados para conseguir realizar las RM establecidas en cada uno de los entrenamientos.

Todas las sesiones de fuerza se desarrollaron a continuación de la sesión de resistencia correspondiente, ya que algunos autores (369) han sugerido que dicho orden produce mayores mejoras que la realización del mismo trabajo en orden inverso. De cara a la monitorización de la parte de fuerza, se diseñó una hoja de control individualizada del entrenamiento para cada uno de los participantes (ANEXO III).

Nuevamente, al finalizar la parte de entrenamiento de fuerza de cada sesión, se le pidió a cada participante que evaluase su percepción subjetiva del esfuerzo mediante la escala de Borg de 0 a 10 puntos (300), así como sus sensaciones, a través de la Escala de Sensaciones propuesta por Hardy y Rejeski (1989).

Durante la vuelta a la calma se dedicaron 10 min a ejercicios de flexibilidad destinados a los grandes grupos musculares. Al final de cada sesión, se les pidió una vez más a los participantes que valoraran su percepción subjetiva del esfuerzo a nivel global de toda la sesión, desde su inicio hasta el final, por medio de la escala de Borg de 0 a 10 puntos (300), y sus sensaciones globales a través de la Escala de Sensaciones (304).

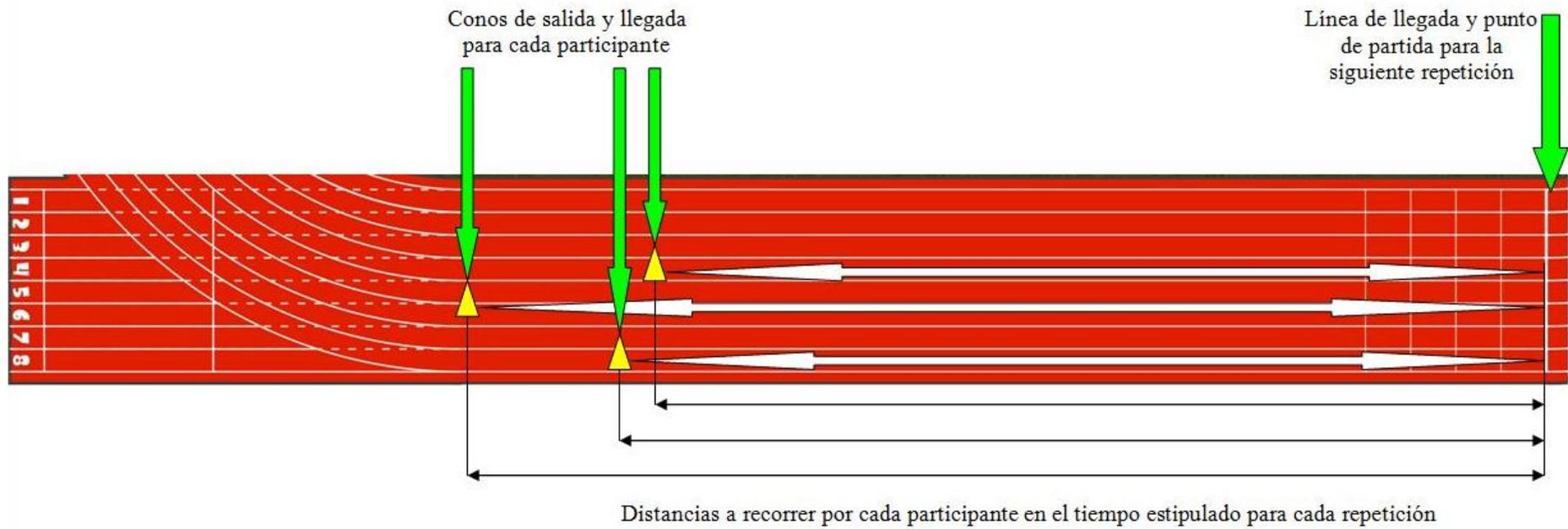


Figura 18. Esquema del entrenamiento intermitente del grupo EPOL en la recta de 100 m de la pista de atletismo.

Tabla 12. Periodización del entrenamiento del grupo EPOL.

EPOL MESOCICLO 1									
Sesión	1º y 2º microciclos			3º microciclo			4º microciclo (ajuste)		
	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.
Sesión 1	Mov.Art. + 5'C1	60'C2 + F.Máx.1	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	60'C3 + F.Máx.2	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	50'C2 + F.Máx.1	Flex.
Sesión 2	Mov.Art. + 5'C1	40'C2 + 2×10×15"S; r: 15", R: 2'	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	40'C2 + 2×11×15"S; r: 15", R: 2'	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	35'C2 + 2×10×15"S; r: 15", R: 2'	Flex.
Sesión 3	Mov.Art. + 5'C1	60'C2 + F.Res.1	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	60'C3 + F.Res.2	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	50'C2 + F.Res.1	Flex.
EPOL MESOCICLO 2									
Sesión	1º y 2º microciclos			3º microciclo			4º microciclo (ajuste)		
	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.
Sesión 1	Mov.Art. + 5'C1	60'C3 + F.Máx.2	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	65'C3 + F.Máx.3	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	50'C3 + F.Máx.2	Flex.
Sesión 2	Mov.Art. + 5'C1	40'C2 + 2×11×15"S; r: 15", R: 2'	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	40'C2 + 2×12×15"S; r: 15", R: 2'	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	35'C2 + 2×11×15"S; r: 15", R: 2'	Flex.
Sesión 3	Mov.Art. + 5'C1	60'C3 + F.Res.2	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	65'C3 + F.Res.3	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	50'C3 + F.Res.2	Flex.

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; Calent.: Calentamiento; P.Princip.: Parte principal de la sesión; V.C.: Vuelta a la calma; Mov.Art.: Movilidad articular; C1: intensidad de caminata al 30% VAM; C2: intensidad de caminata al 35% VAM; C3: intensidad de caminata al 40% VAM; S: trabajo intermitente al 120% VAM; r: micropausa entre intervalos; R: macropausa entre series; F.Máx.1: Circuito de fuerza máxima 1; F.Máx.2: Circuito de fuerza máxima 2; F.Máx.3: Circuito de fuerza máxima 3; F.Res.1: Circuito de fuerza resistencia 1; F.Res.2: Circuito de fuerza resistencia 2; F.Res.3: Circuito de fuerza resistencia 3; Flex.: Trabajo de flexibilidad.

3.4.11.2. Programa de entrenamiento del grupo ETRAD

El grupo ETRAD realizó un entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza con una distribución clásica de las cargas basada en las recomendaciones para el trabajo de fuerza y de resistencia del ACSM (82,212). Se programaron 2 mesociclos compuestos por 4 microciclos cada uno, con una relación de carga 3:1 (i.e., 3 semanas de carga creciente y 1 de ajuste o descarga). Se realizaron 3 sesiones semanales en días alternos: lunes, miércoles y viernes, con una duración media por sesión de ~120 min (aproximadamente 6 horas semanales) (Tabla 13).

Antes de llevar a cabo la parte principal de la sesión (i.e., entrenamiento de resistencia + entrenamiento de fuerza) se realizó un calentamiento homogéneo consistente en movilidad articular seguida de 5 min al 30% de la VAM.

El entrenamiento de resistencia incluyó 3 sesiones semanales de carrera continua a intensidad moderada (i.e., entre el Ua y el UAn) sobre un circuito de hierba natural, completamente llano, de 500 m de longitud (Estadio de atletismo, Facultad de Ciencias de la AF y del Deporte, Universidade da Coruña). Las intensidades se situaron entre el 65% y el 75% de la VAM con duraciones comprendidas entre los 24 y los 37 min. Dos de las sesiones de resistencia (i.e., lunes y viernes) se combinaron con entrenamiento de fuerza con cargas medias (Tabla 13).

Los entrenamientos de resistencia se prescribieron de forma individualizada para cada participante del grupo ETRAD y se calcularon los ritmos de carrera que debían mantener al completar cada una de las vueltas al circuito de hierba de 500 m. Para la monitorización de las sesiones de entrenamiento se diseñó una hoja de control para cada uno de los participantes (ANEXO III).

Al finalizar la parte de entrenamiento de resistencia de cada sesión, se le pidió a cada participante que evaluase su percepción subjetiva del esfuerzo mediante la escala de Borg de 0 a 10 puntos (300), así como sus sensaciones, a través de la Escala de Sensaciones propuesta por Hardy y Rejeski (1989).

El entrenamiento de fuerza se llevó a cabo en un gimnasio interior (Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidade da Coruña) y se desarrolló con cargas moderadas. Se realizaron 2 sesiones semanales que incluyeron los mismos ejercicios que el trabajo de fuerza del grupo EPOL (i.e., *press banca* y media sentadilla). El calentamiento específico de la parte de fuerza fue idéntico al llevado a cabo por el grupo EPOL. En la parte principal del entrenamiento de fuerza, se realizaron todas las series seguidas de un mismo ejercicio (i.e., *press banca* o media sentadilla), con recuperaciones de 3 min entre cada serie, antes de pasar al siguiente ejercicio. De igual modo que sucedió con el grupo EPOL, se alternó el orden de ejecución de los ejercicios de la parte principal del entrenamiento de fuerza (i.e., *press banca* y media sentadilla) a lo largo de los microciclos, basándose en el trabajo de Simão et al. (2012).

La distribución de las cargas a lo largo del período de entrenamiento fue del siguiente modo: en los 2 primeros microciclos del mesociclo 1 se realizaron 3×10 RM en la sesión 1 (F.Mod.1a en las Tablas 13 y 17) y 3×12 RM en la sesión 3 (F.Mod.1b en las Tablas 13 y 17) (RPE 6-7 en la escala de Robertson et al., 2003, aproximadamente al 75-80% 1 RM en ambos casos) con una recuperación entre ejercicios de 3 min; en el 3º microciclo del mesociclo 1 y en el 1º y 2º microciclos del mesociclo 2 se ejecutaron 4 series de 10 RM (F.Mod.2a en las Tablas 13 y 17) en la sesión 1 y de 12 RM (F.Mod.2b en las Tablas 13 y 17) en la sesión 3. Durante el 3º microciclo del mesociclo 2 se realizaron 5 series de 10 RM (F.Mod.3a en las Tablas 13 y 17) y de 12 RM (F.Mod.3b en las Tablas 13 y 17) en las sesiones 1 y 3, respectivamente. El 4º microciclo de ambos mesociclos fue de ajuste o descarga y se llevaron a cabo 3 y 4 series, respectivamente, de 10 RM en la sesión 1 (F.Mod.1a y F.Mod.2a en las Tablas 13 y 17) y 12 RM en la sesión 3 (F.Mod.1b y F.Mod.2b en las Tablas 13 y 17).

De igual modo que sucedió con el grupo EPOL, en los entrenamientos de fuerza se trabajó mediante RM. Los participantes desplazaron el máximo peso posible que les permitía realizar las repeticiones estipuladas, pero no una más. En el momento en que aparecía la fatiga a lo largo de la sesión, se iban reduciendo los kg movilizados para conseguir realizar las RM establecidas en cada uno de los entrenamientos.

De nuevo, todas las sesiones de fuerza se desarrollaron a continuación de la sesión de resistencia correspondiente para alcanzar mayores mejoras respecto a la realización del mismo trabajo en orden inverso (369).

De cara a la monitorización de la parte de fuerza, se diseñó una hoja de control individualizada del entrenamiento para cada uno de los participantes (ANEXO III).

Nuevamente, al finalizar la parte de entrenamiento de fuerza de cada sesión, se le pidió a cada participante que evaluase su percepción subjetiva del esfuerzo mediante la escala de Borg de 0 a 10 puntos (300), así como sus sensaciones, a través de la Escala de Sensaciones propuesta por Hardy y Rejeski (1989). La vuelta a la calma, también fue idéntica a la realizada por el grupo EPOL.

Por último, al final de cada sesión, se les solicitó una vez más a los participantes que valoraran su percepción subjetiva del esfuerzo a nivel global de toda la sesión, desde su inicio hasta el final, por medio de la escala de Borg de 0 a 10 puntos (300), y sus sensaciones globales a través de la Escala de Sensaciones (304).

3.4.11.3. Grupo CON

Durante el período de entrenamiento de 8 semanas, se solicitó a los participantes del grupo CON que no modificasen en absoluto su rutina diaria y que continuasen, en la medida que sus estudios y clases se lo permitiesen, realizando la misma cantidad de ejercicio que venían haciendo últimamente. Asimismo, se les pidió que no modificasen sus patrones nutricionales ni cualquier otro aspecto de su vida diaria durante la intervención.

Tabla 13. Periodización del entrenamiento del grupo ETRAD.

ETRAD MESOCICLO 1									
Sesión	1º y 2º microciclos			3º microciclo			4º microciclo (ajuste)		
Sesión 1	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.
	Mov.Art. + 5'C1	32'K1+ F.Mod.1a	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	34'K2+ F.Mod.2a	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	27'K1+ F.Mod.1a	Flex.
Sesión 2	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.
	Mov.Art. + 5'C1	27'(19'+8')K3	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	28'(19'+9')K3	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	24'(16'+8')K3	Flex.
Sesión 3	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.
	Mov.Art. + 5'C1	32'K1+ F.Mod.1b	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	34'K2+ F.Mod.2b	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	27'K1+ F.Mod.1b	Flex.
ETRAD MESOCICLO 2									
Sesión	1º y 2º microciclos			3º microciclo			4º microciclo (ajuste)		
Sesión 1	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.
	Mov.Art. + 5'C1	34'K2+ F.Mod.2a	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	37'K2+ F.Mod.3a	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	28,5'K2+ F.Mod.2a	Flex.
Sesión 2	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.
	Mov.Art. + 5'C1	28'(19'+9')K3	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	29'(19'+10')K3	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	25'(16'+9')K3	Flex.
Sesión 3	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.	Calent.	P. Princip.	V.C.
	Mov.Art. + 5'C1	34'K2+ F.Mod.2b	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	37'K2+ F.Mod.3b	Flex.	Mov.Art. + 5'C1	28,5'K2+ F.Mod.2b	Flex.

ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; Calent.: Calentamiento; P.Princip.: Parte principal de la sesión; V.C.: Vuelta a la calma; Mov.Art.: Movilidad articular; C1: intensidad de caminata al 30% VAM; K1: intensidad de carrera continua al 65% VAM; K2: intensidad de carrera continua al 70% VAM; K3: intensidad de carrera continua al 75% VAM; F.Mod.1a: Circuito de fuerza con cargas moderadas 1a; F.Mod.2a: Circuito de fuerza con cargas moderadas 2a; F.Mod.3a: Circuito de fuerza con cargas moderadas 3a; F.Mod.1b: Circuito de fuerza con cargas moderadas 1b; F.Mod.2b: Circuito de fuerza con cargas moderadas 2b; F.Mod.3b: Circuito de fuerza con cargas moderadas 3b; Flex.: Trabajo de flexibilidad.

3.4.12. Equiparación de la carga externa entre los grupos EPOL y ETRAD

3.4.12.1. Equiparación de la carga externa en el entrenamiento de resistencia entre los grupos EPOL y ETRAD

Para la equiparación de la carga externa del entrenamiento de resistencia entre ambos grupos experimentales, se utilizó la ecuación propuesta por Tuimil et al. (410), en la cual se multiplica el número de min de ejercicio por la intensidad (i.e., % VAM) (Tabla 16). A continuación, en la Tabla 14, se muestra un ejemplo para facilitar la comprensión del lector.

Tabla 14. Ejemplo de equiparación de la carga externa entre los grupos EPOL y ETRAD en el entrenamiento de resistencia.

Ejemplo:

60 min de caminata a intensidad C2 (i.e. 35% VAM) corresponderían a 32 min de carrera continua a intensidad K1 (i.e. 65% VAM). La ecuación se desarrolla del siguiente modo:

Duración (min) × Intensidad caminando (%VAM) = Duración (min) × Intensidad corriendo (%VAM);

$$60 \times 0,35 = Y \times 0,65;$$

$$Y = (60 \times 0,35) / 0,65;$$

$$Y = \underline{32 \text{ min}}$$

Para determinar la duración de la intensidad de carrera continua K3 del grupo ETRAD, se equiparó el tiempo de caminata y el tiempo efectivo (i.e., sin contabilizar la recuperación) del trabajo intermitente del grupo EPOL del modo anteriormente explicado. Posteriormente, se sumaron ambas duraciones (i.e., equiparación correspondiente al tiempo de caminata + trabajo efectivo intermitente; ver en la Tabla 13 el sumatorio de duraciones entre paréntesis en las intensidades K3) para obtener la duración total a intensidad K3.

3.4.12.2. Equiparación de la carga externa en el entrenamiento de fuerza entre los grupos EPOL y ETRAD

La carga externa del entrenamiento de fuerza también fue equiparada entre ambos grupos experimentales. Para ello, se tomó como referencia la fórmula utilizada por Ahtiainen et al. (411). Se multiplicó el volumen total (i.e., número de series \times número de repeticiones) por la intensidad (i.e., repeticiones máximas) y se calculó la media ponderada para obtener un número promedio similar de RM en cada una de las sesiones de entrenamiento de los grupos a lo largo de los microciclos de ambos mesociclos (Tabla 17). En cualquier caso, la diferencia en el número de RM entre uno y otro grupo fue menor de 1 repetición. Seguidamente, se presenta un ejemplo para facilitar la comprensión del lector (Tabla 15).

Tabla 15. Ejemplo de equiparación de la carga externa del 1° y 2° microciclo del I Mesociclo entre los grupos EPOL y ETRAD en el entrenamiento de fuerza

<u>Ejemplo:</u>				
EPOL				
3×5 RM	\longrightarrow	15×5	\longrightarrow	75
2×15 RM	\longrightarrow	$+ \frac{30 \times 15}{45 \text{ repet. totales}}$	\longrightarrow	$+ \frac{450}{525}$
			\longrightarrow	$525/45 = 11,6$ RM promedio
ETRAD				
3×10 RM	\longrightarrow	30×10	\longrightarrow	300
3×12 RM	\longrightarrow	$+ \frac{36 \times 12}{66 \text{ repet. totales}}$	\longrightarrow	$+ \frac{432}{732}$
			\longrightarrow	$732/66 = 11,1$ RM promedio

3.4.13. Cuantificación de la carga interna

Para la cuantificación de la carga interna de entrenamiento de cada una de las sesiones, se utilizó la ecuación propuesta por Foster et al. (301) (Tabla 5), que aúna la duración total de la sesión y los RPE de la misma. Para tal fin, se calcularon los TRIMPS de cada una de las partes de la sesión (i.e., resistencia y fuerza), multiplicando el tiempo invertido en cada parte por los RPE correspondientes. Para el cálculo de los TRIMPS totales, se calculó el sumatorio de los TRIMPS obtenidos en cada una de las partes.

En el caso del grupo EPOL, en la sesión 2 de cada microciclo y de ambos mesociclos, en la cual sólo se realizó trabajo de resistencia (i.e., caminata y trabajo intermitente al 120% de la VAM), se calcularon los TRIMPS parciales para cada parte de la sesión y se sumaron ambos valores para obtener los TRIMPS totales.

Los TRIMPS se calcularon para ambos grupos experimentales a lo largo de todas y cada una de las sesiones de entrenamiento que conformaron el período de intervención de 8 semanas.

3.4.14. Evaluaciones postintervención

De cara a la evaluación postintervención, se realizaron exactamente las mismas pruebas que en la evaluación preintervención y siguiendo los mismos protocolos (Figura 11). Se procuró en todo momento que las condiciones experimentales fueran lo más homogéneas posibles respecto a las pruebas preintervención. Durante las evaluaciones de la etapa postintervención, todas las pruebas se desarrollaron en un período no superior a 2 semanas para minimizar los posibles cambios en el rendimiento derivados de la ausencia de entrenamiento. Se registraron una temperatura y humedad medias exteriores de $17,25 \pm 1,17^\circ \text{C}$ y del $74,5 \pm 6,16\%$, respectivamente (consulta de históricos en la *web* de MeteoGalicia -www.meteogalicia.es- para la ciudad de La Coruña).

Tabla 16. Equiparación de la carga externa en el trabajo de resistencia entre el grupo EPOL y el grupo ETRAD.

EPOL			ETRAD																
Intensidad	% VAM	Duración (min)	Intensidad	%VAM	Duración (min)	Intensidad	%VAM	Duración (min)	Intensidad	%VAM	Duración (min)								
C2	35	35	K1	65	27	K2	70	28,5	K3	75	16								
		40									19								
		50																	
		60																	
C3	40	50																	
		60																	
		65																	
S	120	5																	8
		5,5																	9
		6																	10

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; %VAM: % de la velocidad aeróbica máxima; Duración en min; C2: intensidad de caminata al 35% VAM; C3: intensidad de caminata al 40% VAM; S: trabajo intermitente al 120% VAM; K1: intensidad de carrera continua al 65% VAM; K2: intensidad de carrera continua al 70% VAM; K3: intensidad de carrera continua al 75% VAM.

Tabla 17. Equiparación de la carga externa en el trabajo de fuerza entre el grupo EPOL y el grupo ETRAD.

EPOL MESOCICLO 1						
Sesión	1º y 2º microciclos		3º microciclo		4º microciclo (descarga)	
	Entrenamiento	RM promedio	Entrenamiento	RM promedio	Entrenamiento	RM promedio
Sesión 1	F.Máx.1 3×5RM; r:3'	11,6	F.Máx.2 4×5RM; r:3'	11,9	F.Máx.1 3×5RM; r:3'	11,6
Sesión 3	F.Res.1 2×15RM; r:3'		F.Res.2 3×15RM; r:3'		F.Res.1 2×15RM; r:3'	
EPOL MESOCICLO 2						
Sesión	1º y 2º microciclos		3º microciclo		4º microciclo (descarga)	
	Entrenamiento	RM promedio	Entrenamiento	RM promedio	Entrenamiento	RM promedio
Sesión 1	F.Máx.2 4×5RM; r:3'	11,9	F.Máx.3 5×5RM; r:3'	12	F.Máx.2 4×5RM; r:3'	11,9
Sesión 3	F.Res.2 3×15RM; r:3'		F.Res.3 4×15RM; r:3'		F.Res.2 3×15RM; r:3'	
ETRAD MESOCICLO 1						
Sesión	1º y 2º microciclos		3º microciclo		4º microciclo (descarga)	
	Entrenamiento	RM promedio	Entrenamiento	RM promedio	Entrenamiento	RM promedio
Sesión 1	F.Mod.1a 3×10RM; r:3'	11,1	F.Mod.2a 4×10RM; r:3'	11,1	F.Mod.1a 3×10RM; r:3'	11,1
Sesión 3	F.Mod.1b 3×12RM; r:3'		F.Mod.2b 4×12RM; r:3'		F.Mod.1b 3×12RM; r:3'	
ETRAD MESOCICLO 2						
Sesión	1º y 2º microciclos		3º microciclo		4º microciclo (descarga)	
	Entrenamiento	RM promedio	Entrenamiento	RM promedio	Entrenamiento	RM promedio
Sesión 1	F.Mod.2a 4×10RM; r:3'	11,1	F.Mod.3a 5×10RM; r:3'	11,1	F.Mod.2a 4×10RM; r:3'	11,1
Sesión 3	F.Mod.2b 4×12RM; r:3'		F.Mod.3b 5×12RM; r:3'		F.Mod.2b 4×12RM; r:3'	

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; RM: repeticiones máximas; r: recuperación entre ejercicios o estaciones; F.Máx.1: Circuito de fuerza máxima 1; F.Máx.2: Circuito de fuerza máxima 2; F.Máx.3: Circuito de fuerza máxima 3; F.Res.1: Circuito de fuerza resistencia 1; F.Res.2: Circuito de fuerza resistencia 2; F.Res.3: Circuito de fuerza resistencia 3; F.Mod.1a: Circuito de fuerza con cargas moderadas 1a; F.Mod.2a: Circuito de fuerza con cargas moderadas 2a; F.Mod.3a: Circuito de fuerza con cargas moderadas 3a; F.Mod.1b: Circuito de fuerza con cargas moderadas 1b; F.Mod.2b: Circuito de fuerza con cargas moderadas 2b; F.Mod.3b: Circuito de fuerza con cargas moderadas 3b.

3.4.15. Análisis estadístico y tratamiento de los datos

Para el análisis de los datos se utilizó el paquete estadístico SPSS 15.0 para Windows (Chicago, IL, EE.UU.). Además, para el tratamiento de los datos obtenidos mediante el programa informático de la plataforma de fuerzas piezoeléctrica, se utilizó el programa EXCEL (2003, Microsoft Office, EE.UU.).

- Para comprobar que los datos siguieron una distribución normal, se aplicó a cada grupo la prueba de Kolmogorov-Smirnov.
- La homocedasticidad u homogeneidad de varianzas se analizó mediante el test de Levène.
- Los efectos de los programas de entrenamiento, a nivel intra-grupo (i.e., comparación de los valores de la evaluación postintervención respecto a los de la evaluación preintervención, en cada uno de los grupos) e inter-grupo (i.e., diferencias entre los grupos en las evaluaciones preintervención y en las evaluaciones postintervención), se estudiaron mediante el ANOVA de medidas repetidas de 2 factores (Momento \times Grupo), analizando los efectos principales y los efectos simples. En aquellos casos en los que las variables no siguieron una distribución normal, se llevaron a cabo las pruebas no paramétricas de Wilcoxon y de Kruskal-Wallis para evaluar los efectos del entrenamiento a nivel intra-grupo e inter-grupo, respectivamente.
- Las variables referentes a la VFC, a nivel intra-grupo (i.e., diferencias en las evaluaciones postintervención respecto a las evaluaciones preintervención y diferencias entre posiciones en cada momento de evaluación, en cada uno de los grupos) e inter-grupo (i.e., diferencias entre los grupos en las evaluaciones preintervención y en las evaluaciones postintervención), se evaluaron mediante un ANOVA de medidas repetidas de 3 factores (Grupo \times Momento \times Posición), analizando los efectos principales y los efectos simples.
- Se calcularon las diferencias (i.e., Δ), expresadas en porcentaje, entre la media de los valores de las evaluaciones postintervención respecto a los de la preintervención. Asimismo, se calculó el Δ , expresado en porcentaje, para la VFC entre la posición

de bipedestación estática respecto a la posición de decúbito supino. Para evaluar las diferencias existentes entre los grupos en los Δ , se realizó el ANOVA de 1 factor. En los casos en los que las variables no siguieron una distribución normal se realizaron las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis.

- Las diferencias entre los grupos experimentales, a nivel intra-grupo e inter-grupo, a lo largo del período de entrenamiento se analizaron a través de un ANOVA de medidas repetidas de 3 factores (Grupo \times Macrociclos \times Microciclos), estudiando los efectos principales y los efectos simples.
- En todos los casos del ANOVA de medidas repetidas, para controlar la tasa de error en las comparaciones por pares, se aplicó la corrección de Bonferroni. Para las comparaciones múltiples a posteriori (i.e., evaluación inter-sujetos) se llevaron a cabo las pruebas *post-hoc* de Bonferroni, cuando se asumió homocedasticidad, o de Games Howell, cuando hubo heterocedasticidad, tanto en los ANOVA de medidas repetidas como en el de 1 factor.
- Cuando el test no paramétrico de Kruskal-Wallis resultó significativo, se aplicaron comparaciones por pares dos a dos a través de la prueba *U* de Mann Whitney (con corrección de Bonferroni).
- Los niveles de cada uno de los factores fueron los siguientes:
 - Momento, 2 niveles: evaluación preintervención y evaluación postintervención.
 - Macrociclos, 2 niveles: macrociclo 1 y macrociclo 2.
 - Microciclos, 4 niveles: microciclo 1, microciclo 2, microciclo 3 y microciclo 4.
 - Posición, 2 niveles: decúbito supino y bipedestación estática.
 - Grupo, 3 niveles: grupo EPOL, grupo ETRAD y grupo CON.
- Para cuantificar el tamaño del efecto (TE), se calculó la “*d* de Cohen”. Los límites para los efectos fueron: 0,20 “Pequeño”; 0,50 “Medio” y 0,80 “Grande” (412).

- Finalmente, se estudiaron las correlaciones existentes entre los Δ significativos de las diferentes variables, en cada uno de los grupos, a través del coeficiente de correlación de Pearson (r).
- La significación estadística se fijó en 0,05 con un nivel de confianza del 95%.

3.5. RESULTADOS

3.5.1. Pruebas de normalidad

Las pruebas de normalidad mostraron que todas las variables siguieron una distribución normal ($p > 0,05$), en la preevaluación, en el período de intervención y en la postevaluación, exceptuando las siguientes variables: “IL-2 en la pre y en la postevaluación” (ETRAD), “IL-4 en la pre y en la postevaluación” (ETRAD), “IL-6 en la postevaluación” (ETRAD), “TNF- α en la preevaluación” (ETRAD), “IFN- γ en la postevaluación” (ETRAD), “IL-2 en la postevaluación” (EPOL), “IL-6 en la pre y en la postevaluación” (EPOL), “IL-10 en la pre y en la postevaluación” (EPOL), “ Δ post-preevaluación HF en decúbito supino” (ETRAD), “ Δ post-preevaluación LF en bipedestación estática” (ETRAD y CON), “ Δ post-preevaluación HF en bipedestación estática” (ETRAD), “ Δ post-preevaluación TNF- α ” (ETRAD), “ Δ post-preevaluación IL-10” (EPOL) y “ Δ post-preevaluación IL-6” (EPOL).

3.5.2. Pruebas de homogeneidad de varianzas

La prueba de Levene de homogeneidad de varianzas reveló que las siguientes variables no presentaron varianzas iguales ($p < 0,05$): “altura del CMJ en la preevaluación”, “*stiffness* en la preevaluación” “HF en bipedestación en la preevaluación”, “ratio LF/HF en bipedestación en la preevaluación”, “IL-2 en la preevaluación”, “IL-4 en la preevaluación”, “IL-6 en la preevaluación”, “TNF- α en la preevaluación”, “RPE Borg en el microciclo 8”, “TRIMPS en el microciclo 2”, “media R-R en decúbito supino en la postevaluación”, “FC media en decúbito supino en la postevaluación”, “RMSSD en

bipedestación en la postevaluación”, “HF en bipedestación en la postevaluación”, “ratio LF/HF en bipedestación en la postevaluación”, “IFN- γ en la postevaluación”, “IL-2 en la postevaluación”, “IL-4 en la postevaluación”, “IL-6 en la postevaluación”, “TNF- α en la postevaluación”, “CD-19 en la postevaluación”, “ Δ post-preevaluación desplazamiento vertical del cdg”, “ Δ post-preevaluación 1 RM estimada en *press banca*”, “ Δ post-preevaluación FC_{max} al final del UMTT”, “ Δ post-preevaluación HF en decúbito supino y bipedestación estática” y “ Δ post-preevaluación proporción LF/HF en decúbito supino”.

3.5.3. Pruebas de homogeneidad entre grupos en la preevaluación

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas entre grupos para IL-4 en la preevaluación ($p = 0,046$), no habiendo diferencias significativas para las otras variables analizadas ($p > 0,05$). Las comparaciones dos a dos realizadas mediante la prueba U de Mann Whitney mostraron diferencias significativas para IL-4 en la preevaluación entre los grupos ETRAD y EPOL ($p = 0,036$).

El ANOVA no detectó diferencias significativas entre los grupos para el resto de variables analizadas ($p > 0,05$).

Por tanto, se concluye que todos los grupos fueron completamente homogéneos al inicio del período de entrenamiento, excepto en la variable “IL-4 en la preevaluación”.

3.5.4. Resultados del objetivo general

3.5.4.1. Resultados del objetivo específico 1

3.5.4.1.1. Efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables de aptitud física cardiorrespiratoria

3.5.4.1.1.1. Efectos de los programas de entrenamiento sobre el rendimiento en la carrera

Tanto para la variable VAM como para el tUMTT y el VO_{2max} estimado, el grupo EPOL presenta una $n = 9$, ya que uno de los participantes no pudo realizar la prueba en la evaluación postintervención por motivo de una lesión ajena a la participación en el estudio, considerándose como “caso perdido” (i.e., exclusión de casos según pareja) de cara al análisis de datos de estas variables.

En la Tabla 18 se presentan los estadísticos descriptivos de las evaluaciones pre y postintervención para la VAM, el tUMTT y el VO_{2max} estimado, en función del grupo.

Tabla 18. Estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación típica) de las variables de rendimiento en la carrera en las evaluaciones pre y postintervención en función del grupo.

VAM (km·h⁻¹)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 9)	Pre	12	18	15,33	1,95	0,003	0,36	4,37
	Post	13	18	16*	1,73			
ETRAD (n = 11)	Pre	11,5	18,5	15,64	1,9	0,001	0,37	4,35
	Post	13	19	16,32*	1,74			
CON (n = 10)	Pre	13	18,5	15,9	1,76	0,8	0,03	0,31
	Post	12	18,5	15,95	2,06			

tUMTT (s)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 9)	Pre	950	1690	1370,67	230,16	0,002	0,35	5,66
	Post	1080	1705	1448,22*	211,55			
ETRAD (n = 11)	Pre	906	1742	1403,64	226,53	0,000	0,37	5,89 Ψ
	Post	1073	1824	1486,27*	216,96			
CON (n = 10)	Pre	1066	1776	1436,6	221,76	0,962	0	0,07
	Post	960	1775	1437,6	249,86			

Tabla 18. (Continuación).

VO _{2max} estimado (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor	TE	Δ Post-Pre (%)
						<i>p</i>	<i>d</i>	
						Post-Pre	Post-Pre	
EPOL (n = 9)	Pre	42	63	53,67	6,83	0,003	0,36	4,34
	Post	45,5	63	56*	6,06			
ETRAD (n = 11)	Pre	40,25	64,75	54,73	6,64	0,001	0,37	4,35
	Post	45,5	66,5	57,11*	6,07			
CON (n = 10)	Pre	45,5	64,75	55,65	6,16	0,8	0,03	0,31
	Post	42	64,75	55,82	7,21			

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; CON: Grupo control; Eval.: Evaluación; Desv. típica: Desviación típica; TE: Tamaño del efecto; VAM: Velocidad aeróbica máxima; tUMTT: Tiempo final en el test de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal; VO_{2max} estimado: Consumo máximo de oxígeno estimado; * Diferencias significativas entre la preevaluación y la postevaluación; † Diferencias significativas entre ETRAD y CON.

El efecto de interacción entre los factores “Momento” y “Grupo” fue significativo para la VAM ($p = 0,048$), el tUMTT ($p = 0,016$) y el VO_{2max} estimado ($p = 0,048$), indicando que el factor “Momento” influyó de forma diferente sobre el factor “Grupo” (ver Tabla 18).

No hubo diferencias significativas entre los grupos en ninguno de los momentos de evaluación ($p > 0,05$); sin embargo, el porcentaje de mejora en el tUMTT fue significativamente mayor en el grupo ETRAD en comparación con el grupo CON (5,89% vs. 0,07%, $p = 0,039$).

Los criterios de extenuación durante las evaluaciones pre y postintervención, para considerar la prueba del UMTT máxima, se muestran en la Tabla 19 para cada uno de los grupos.

Además del participante del grupo EPOL que no pudo realizar el UMTT en la postevaluación debido a una lesión, se produjeron errores en el registro de la FC_{max} en 1 participante más del grupo EPOL, excluyéndose los casos según pareja (i.e., casos perdidos) y quedando la *n* de este grupo en 8 sujetos para esta variable.

Por su parte, en el grupo CON hubo errores de registro en 5 participantes. Nuevamente, se excluyeron los casos según pareja, en la preevaluación y en la postevaluación, quedando una $n = 5$ para esta variable.

Tabla 19. Estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación típica) de los criterios de extenuación al finalizar el UMTT en las evaluaciones pre y postintervención en función del grupo.

FC_{max} (ppm)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor p Post-Pre	TE d Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 8)	Pre	186	204	195,25	5,12	0,475	0,45	-1,14
	Post	184	201	192,87	5,44			
ETRAD (n = 11)	Pre	187	211	196,36	8,09	0,923	0,04	-0,14
	Post	189	209	196,09	6,74			
CON (n = 5)	Pre	181	210	193,6	12,99	0,6	0,22	1,14
	Post	189	205	195,8	6,06			

RPE_{UMTT} (0 a 10)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor p Post-Pre	TE d Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 9)	Pre	5	10	8,78	1,71	0,331	0,33	5,01
	Post	8	10	9,22	0,83			
ETRAD (n = 11)	Pre	8	10	9,36	0,81	0,273	0,38	-4,81
	Post	5	10	8,91	1,51			
CON (n = 10)	Pre	8	10	9	0,67	1	0	0
	Post	7	10	9	0,94			

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ET RAD: Grupo de entrenamiento tradicional; CON: Grupo control; Eval.: Evaluación; Desv. típica: Desviación típica; TE: Tamaño del efecto; FC_{max}: Frecuencia cardiaca máxima; RPE_{UMTT}: Ratios de percepción subjetiva del esfuerzo al finalizar el test de carrera progresiva en pista de la Universidad de Montreal.

El efecto de interacción entre los factores “Momento” y “Grupo” no fue significativo, ni para la FC_{max} ni para los RPE_{UMTT} al final del UMTT ($p = 0,687$ y $p = 0,345$, respectivamente). No hubo diferencias estadísticamente significativas entre ninguno de los grupos ($p > 0,05$).

3.5.4.1.1.2. Efectos de los programas de entrenamiento sobre la VFC

En la Tabla 20 se presentan los estadísticos descriptivos de la muestra en relación a la VFC en las evaluaciones pre y postintervención, en función del grupo.

Tabla 20. Estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación típica) de la VFC en las evaluaciones pre y postintervención en función del grupo.

VFC													
Grupo	Componente	Fase	Evaluación	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	Evaluación	Valor <i>p</i>	Bip. - Dec.	TE <i>d</i>	Bip. - Dec.	Δ Bip. - Dec. (%)
EPOL (n = 10)	FC reposo (ppm)	Dec.	Pre	41,47	72,1	56,69	10,89	Pre	0,000	1,13	21,68		
			Post	38,14	71,05	56,42	13,02						
		Bip.	Pre	55,24	84,73	68,98†	10,85	Post	0,001	0,7	19,51		
			Post	43,19	90,92	67,43†	17,97						
	Media R-R (ms)	Dec.	Pre	841,3	1452,7	1115,2	207,37	Pre	0,000	1,2	-19,31		
			Post	849,3	1578,3	1132,92	299,85						
		Bip.	Pre	710,8	1123,7	899,85†	147,6	Post	0,000	0,73	-18,75		
			Post	662,9	1437,1	920,46†	283,22						
	SDNN (ms)	Dec.	Pre	43,7	181,9	89,49	36,68	Pre	0,766	0,08	-4,35		
			Post	41,5	133,5	89,94	29,03						
		Bip.	Pre	35,9	214,1	85,6	56,62	Post	0,784	0,07	4,31		
			Post	34,5	241,1	93,82	67,43						
	RMSSD (ms)	Dec.	Pre	30,2	188,2	92,94	48,21	Pre	0,000	0,96	-44,5		
			Post	41,2	164,2	82,61	39,15						
		Bip.	Pre	17,8	123,7	51,58†	37,34	Post	0,033	0,52	-31,52		
			Post	16,6	204,4	56,57†	59,13						
	LF (ms ²)	Dec.	Pre	304	11052	2247,2	3142,96	Pre	0,896	0,04	4,82		
			Post	304	7123	2765,4	2255,04						
		Bip.	Pre	424	9914	2355,5	2847,13	Post	0,964	0,02	2,09		
			Post	292	14909	2823,3	4317,62						
	HF (ms ²)	Dec.	Pre	445	8049	3294,9	2567,35	Pre	0,004	0,87	-62,09		
			Post	449	7377	2641,2	2548,76						
		Bip.	Pre	114	4728	1419†	1642,61	Post	0,578	0,12	-14,36		
			Post	45	10706	2261,8	3523,74						
LF/HF (ms)	Dec.	Pre	0,3	1,86	0,75	0,56	Pre	0,159	1,42	266,67			
		Post	0,31	5,2	1,55	1,49							
	Bip.	Pre	0,72	5,76	2,75	1,91	Post	0,01	0,87	280			
		Post	0,29	17,15	5,89†	6,93							

Tabla 20. (Continuación).

Grupo	Componente	Fase	Evaluación	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	Evaluación	Valor <i>p</i> Bip. - Dec.	TE <i>d</i> Bip. - Dec.	Δ Bip. - Dec. (%)
ETRAD (n = 11)	FC reposo (ppm)	Dec.	Pre	45,44	70,77	58,17	8,74	Pre	0,000	1,14	23,83
			Post	43,31	59,27	50,68*	5,15				
		Bip.	Pre	52,58	95,12	72,03†	14,86	Post	0,000	1,63	24,31
			Post	51,24	76,58	63*†	9,38				
	Media R-R (ms)	Dec.	Pre	848,9	1323,7	1073,97	153,44	Pre	0,000	1,17	-18,7
			Post	1018,3	1392,6	1204,38*	124,05				
		Bip.	Pre	632,5	1148	873,13†	187,59	Post	0,000	1,66	-18,64
			Post	785,8	1176,2	979,88†	145,33				
	SDNN (ms)	Dec.	Pre	31	122,2	83,95	27,89	Pre	0,178	0,63	-20,33
			Post	74	149,1	100,52	24,07				
		Bip.	Pre	28,5	110,2	66,88	26,25	Post	0,302	0,58	-13,95
			Post	42,2	117,3	86,5	24,51				
	RMSSD (ms)	Dec.	Pre	28,1	130,8	81,99	27,3	Pre	0,001	1,45	-46,74
			Post	61	141,1	102,65	24,18				
		Bip.	Pre	9,4	88,5	43,67†	25,41	Post	0,000	1,91	-44,25
			Post	19	88,6	57,23†	23,43				
	LF (ms ²)	Dec.	Pre	106	2621	1539,82	807,5	Pre	0,758	0,18	15,83
			Post	923	4619	2521,82	1440,75				
		Bip.	Pre	71	5907	1783,64	1751,72	Post	0,581	0,49	-27,11
			Post	413	4316	1838,18	1332,04				
	HF (ms ²)	Dec.	Pre	104	5687	2642,73	1792,08	Pre	0,007	1,12	-62,56
			Post	732	7869	3221	1841,92				
		Bip.	Pre	27	3235	989,54†	1080,59	Post	0,001	1,64	-71,01
			Post	117	1999	933,82†	707,14				
LF/HF (ms)	Dec.	Pre	0,28	4,98	1	1,34	Pre	0,068	0,81	251	
		Post	0,27	2,28	1,04	0,77					
	Bip.	Pre	0,36	15,31	3,51	4,19	Post	0,08	0,91	263,46	
		Post	0,53	14,41	3,78	4,18					

Tabla 20. (Continuación).

Grupo	Componente	Fase	Evaluación	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	Evaluación	Valor <i>p</i>	Bip. - Dec.	TE <i>d</i>	Bip. - Dec.	Δ Bip. - Dec. (%)
CON (n = 10)	FC reposo (ppm)	Dec.	Pre	43,86	57,84	51,74	5,1	Pre	0,000	1,57	25,78		
			Post	41,52	75,49	55,97	10,96						
		Bip.	Pre	52,1	85,59	65,08†	10,92	Post	0,000	1,32	31,41		
			Post	48,18	98,31	73,55*†	15,39						
	Media R-R (ms)	Dec.	Pre	1040,6	1375,3	1176,36	124,27	Pre	0,000	1,64	-19,19		
			Post	802,7	1457,9	1116,98	211,76						
		Bip.	Pre	709,8	1159,2	950,62†	149,9	Post	0,000	1,25	-22,99		
			Post	612,2	1275,9	860,16†	197,94						
	SDNN (ms)	Dec.	Pre	44,7	124,4	77,56	28,58	Pre	0,874	0,08	-2,68		
			Post	58,5	133,3	90,56	25,51						
		Bip.	Pre	43,7	124,7	75,48	23,33	Post	0,496	0,25	-10,64		
			Post	33,7	196,2	80,92	48,09						
	RMSSD (ms)	Dec.	Pre	38,2	115,5	83,06	26,82	Pre	0,002	1,42	-42,11		
			Post	48,9	153,8	84,13	37,22						
		Bip.	Pre	18,7	83,7	48,08†	22,29	Post	0,003	0,9	-44,51		
			Post	5,5	166	46,68†	45,37						
	LF (ms ²)	Dec.	Pre	215	9185	1954,7	2837,03	Pre	0,584	0,15	23,29		
			Post	579	6409	2841,7	2305,5						
		Bip.	Pre	149	10963	2409,9	3116,64	Post	0,541	0,16	28,02		
			Post	45	21750	3637,9	6475,55						
	HF (ms ²)	Dec.	Pre	556	4018	2079,4	1393,37	Pre	0,039	1,18	-62,09		
			Post	494	6596	2235,4	1850,97						
		Bip.	Pre	119	2048	788,4†	685,68	Post	0,032	1,01	-68,28		
			Post	7	3488	709,1†	1051,82						
LF/HF (ms)	Dec.	Pre	0,13	6,91	1,22	2,03	Pre	0,003	0,79	364,75			
		Post	0,27	5,14	1,6	1,38							
	Bip.	Pre	0,71	21,6	5,67†	7,72	Post	0,033	1,92	220,63			
		Post	1,58	8,27	5,13†	2,21							

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; CON: Grupo control; TE: Tamaño del efecto; Dec.: Posición de decúbito supino; Bip.: Posición de bipedestación estática; * Diferencias significativas entre la preevaluación y la postevaluación, en función del grupo; † Diferencias significativas entre la posición de bipedestación estática y de decúbito supino en la preevaluación y postevaluación, en función del grupo.

El efecto de interacción entre los factores “Grupo”, “Momento” y “Posición” no fue estadísticamente significativo para ninguna de las variables de VFC analizadas (FC en reposo: $p = 0,324$; media R-R: $p = 0,775$; SDNN: $p = 0,750$; RMSSD: $p = 0,535$; LF: $p = 0,748$; HF: $p = 0,183$; proporción LF/HF: $p = 0,466$).

Tras el período de entrenamiento la FC en reposo disminuyó significativamente en el grupo ETRAD en un $-12,88\%$ ($p = 0,004$; $d = 1,04$) y en un $-12,54\%$ ($p = 0,029$; $d = 0,73$) en las posiciones de decúbito supino y de bipedestación estática, respectivamente. Estas adaptaciones tras el período de intervención fueron significativamente mejores, en ambas posiciones, en el grupo ETRAD respecto al grupo CON (posición de decúbito supino: $-12,88\%$ vs. $8,18\%$, respectivamente, $p = 0,008$; posición de bipedestación estática: $-12,54\%$ vs. $13,01\%$, respectivamente, $p = 0,016$), que incrementó significativamente la FC en reposo en un $13,01\%$ ($p = 0,048$; $d = 0,63$) sólo en la posición de bipedestación estática. Además, la media entre intervalos R-R incrementó de forma significativa en el grupo ETRAD en un $12,14\%$ ($p = 0,009$; $d = 0,93$) sólo en la posición de decúbito supino, siendo esta mejora significativamente superior a los valores del grupo CON, tanto en la posición de decúbito supino ($12,14\%$ vs. $-5,05\%$, $p = 0,019$) como en la de bipedestación estática ($12,23\%$ vs. $-9,52\%$, $p = 0,029$).

No se detectaron diferencias significativas para el resto de las comparaciones entre grupos ($p > 0,05$).

3.5.4.1.1.3. Efectos de los programas de entrenamiento sobre la PA

La Tabla 21 muestra los estadísticos descriptivos de la PA en las evaluaciones pre y postintervención en función del grupo al que pertenece el participante.

Tabla 21. Estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación típica) de la PAS y PAD en las evaluaciones pre y postintervención en función del grupo.

Presión arterial								
PAS (mm Hg)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 10)	Pre	109	140	123,9	10,13	0,597	0,14	-1,53
	Post	107	164	122	15,89			
ETRAD (n = 11)	Pre	113	150	130,54	11,61	0,046	0,63	-5,43
	Post	108	150	123,45*	10,95			
CON (n = 10)	Pre	118	146	131,8	9,09	0,114	0,58	-4,4
	Post	110	140	126	10,9			
PAD (mm Hg)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 10)	Pre	68	97	83,4	8,98	0,205	0,43	-4,8
	Post	64	94	79,4	9,43			
ETRAD (n = 11)	Pre	55	100	82,18	12,48	0,562	0,16	-2,11
	Post	62	94	80,45	9,31			
CON (n = 10)	Pre	63	89	79,4	9,51	0,280	0,45	-4,28
	Post	69	84	76	4,71			

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; CON: Grupo control; Eval.: Evaluación; Desv. típica: Desviación típica; TE: Tamaño del efecto; * Diferencias significativas entre la preevaluación y la postevaluación.

El efecto de interacción entre los factores “Momento” y “Grupo” no resultó significativo, ni para la PAS ($p = 0,558$) ni para la PAD ($p = 0,857$). No se registraron diferencias significativas para ninguna de las comparaciones entre grupos ($p > 0,05$).

3.5.4.1.2. Efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables de aptitud física neuromuscular

3.5.4.1.2.1. Efectos de los programas de entrenamiento sobre 1 repetición máxima estimada en press banca y media sentadilla

Los estadísticos descriptivos de la muestra para los valores de evaluación pre y postintervención de la 1 RM estimada en los ejercicios de *press banca* y media sentadilla se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación típica) de la 1 RM estimada en *press banca* y media sentadilla en las evaluaciones pre y postintervención en función del grupo.

1 RM estimada en <i>press banca</i> (kg)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor p	TE d	Δ Post-Pre (%)
						Post-Pre	Post-Pre	
EPOL (n = 10)	Pre	36	96	62,1	19,06	0,000	0,78	24,15 [†]
	Post	45	110	77,1*	19,36			
ETRAD (n = 11)	Pre	35	83	63,27	14,11	0,000	0,73	17,1 ^ψ
	Post	45	93	74,09*	15,62			
CON (n = 10)	Pre	37	102	71,4	17,93	0,053	0,14	3,5
	Post	41	109	73,9	18,03			

Tabla 22. (Continuación).

1 RM estimada en media sentadilla (kg)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i>	TE <i>d</i>	Δ Post-Pre (%)
						Post-Pre	Post-Pre	
EPOL	Pre	50	167	113	36,92	0,000	1,39	47,52†
(n = 10)	Post	94	217	166,7*†	40,45			
ETRAD	Pre	55	161	111,73	31,6	0,000	1,42	40,36 ψ
(n = 11)	Post	98	203	156,82*ψ	32,06			
CON	Pre	80	150	104,4	23,41	0,138	0,34	6,7
(n = 10)	Post	86	140	111,4	17,36			

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; CON: Grupo control; Eval.: Evaluación; Desv. típica: Desviación típica; TE: Tamaño del efecto; * Diferencias significativas entre la preevaluación y la postevaluación; † Diferencias significativas entre EPOL y CON; ψ Diferencias significativas entre ETRAD y CON.

El efecto de interacción entre los factores “Momento” y “Grupo” fue estadísticamente significativo para la 1 RM estimada, tanto en el ejercicio de *press banca* como en el de media sentadilla ($p = 0,000$ para ambos) (ver Tabla 22).

En cuanto a las comparaciones entre grupos, se registraron diferencias significativas en la mejora de la fuerza de los miembros superior e inferior. La mejora porcentual de los grupos EPOL y ETRAD en la 1 RM estimada en el ejercicio de *press banca*, tras el período de intervención, fue significativamente mayor que la experimentada por el grupo CON (EPOL vs. CON: 24,15% vs. 3,5%; $p = 0,000$; ETRAD vs. CON: 17,1% vs. 3,5%; $p = 0,000$). En cuanto a la 1 RM estimada para el ejercicio de media sentadilla, los valores de la evaluación postintervención fueron un 49,64% más elevados en el grupo EPOL que en el grupo CON ($p = 0,002$; $d = 1,78$). Además, el porcentaje de mejora tras el período de intervención fue significativamente mayor en el grupo EPOL en comparación con el grupo CON (47,52% vs. 6,7%, $p = 0,000$). Por su parte, el grupo ETRAD mostró unos niveles de fuerza en miembro inferior, en la evaluación postintervención, de un 40,77% mayores que los del grupo CON ($p = 0,008$; $d = 1,76$). De modo similar, el incremento porcentual experimentado por el grupo ETRAD en la 1 RM estimada en el ejercicio de media sentadilla fue significativamente mayor que el del

grupo CON (40,36% vs. 6,7%, $p = 0,001$). No hubo diferencias significativas para ninguna de las otras comparaciones entre grupos ($p > 0,05$).

Por otra parte, se registraron correlaciones estadísticamente significativas para el grupo ETRAD entre el Δ tUMTT y el Δ para la 1 RM estimada en el ejercicio de media sentadilla ($r = 0,68$; $p = 0,022$).

3.5.4.1.2.2. Efectos de los programas de entrenamiento sobre la capacidad de salto vertical

En la Tabla 23 se presentan los estadísticos descriptivos de la muestra referentes a los valores de la evaluación pre y postintervención de los diferentes parámetros neuromusculares, referentes a la capacidad de salto vertical, evaluados mediante el CMJ_{max} .

Tabla 23. Estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación típica) de los parámetros neuromusculares evaluados a través del CMJ_{max} en la evaluación pre y postintervención en función del grupo.

Altura del CMJ_{max} (cm)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor p	TE d	Δ Post-Pre (%)
						Post-Pre	Post-Pre	
EPOL (n = 10)	Pre	19,3	43,2	33,18	8,17	0,481	0,11	-2,41
	Post	20,6	42,5	32,38	6,75			
ETRAD (n = 11)	Pre	20,4	39,5	31	6,57	0,045	0,39	-7,26
	Post	21,5	37,2	28,75*	4,84			
CON (n = 10)	Pre	29,4	41,2	33,84	3,54	0,018	0,72	-8,3
	Post	24	38,3	31,03*	4,23			

Tabla 23. (Continuación).

Potencia máxima normalizada del CMJ_{max} (W kg⁻¹)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 10)	Pre	35,1	64,4	51,04	9,47	0,832	0,03	-0,53
	Post	35,4	59,02	50,77	8,15			
ETRAD (n = 11)	Pre	36,5	59,45	49,41	7,14	0,229	0,21	-3,04
	Post	33,85	57,62	47,91	6,9			
CON (n = 10)	Pre	44,92	63,84	54,56	6,55	0,013	0,55	-6,21
	Post	39,81	58,23	51,17*	5,66			

Desplazamiento vertical del cdg durante el CMJ_{max} (cm)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 10)	Pre	20,43	35,63	30,68	4,29	0,140	0,43	-10,82
	Post	0,32	37,81	27,36	10,11			
ETRAD (n = 11)	Pre	19,48	41,36	30,09	6,21	0,313	0,35	-7,11
	Post	18,16	40,24	27,95	5,96			
CON (n = 10)	Pre	21,43	43,41	29	8,12	0,526	0,18	-4,83
	Post	20,79	43,4	27,6	7,24			

Fuerza máxima en el CMJ_{max} (peso corporal)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 10)	Pre	1,23	1,77	2,54	0,21	0,008	1,14	-9,45
	Post	0,98	1,65	2,3*	0,21			
ETRAD (n = 11)	Pre	1,14	1,96	2,36	0,25	0,094	0,53	-5,93
	Post	0,61	1,63	2,22	0,28			
CON (n = 10)	Pre	1,24	2,31	2,65	0,33	0,092	0,51	-5,28
	Post	1,22	1,88	2,51ψ	0,21			

Tabla 23. (Continuación).

<i>Stiffness</i> normalizado en el CMJ _{max} (N·m ⁻¹ ·kg ⁻¹)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 10)	Pre	67,21	124,87	84,09	17,62	0,191	0,45	-8,45
	Post	63,1	100,77	76,98	13,55			
ETRAD (n = 11)	Pre	52,06	110,5	81,74	19,01	0,301	0,26	6,51
	Post	51,71	119	87,06	21,8			
CON (n = 10)	Pre	56,01	143,02	97,03	28,98	0,946	0,01	-0,37
	Post	54,03	128,88	96,67	24,95			

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; CON: Grupo control; Eval.: Evaluación; Desv. típica: Desviación típica; TE: Tamaño del efecto; Cdg: Centro de gravedad; * Diferencias significativas entre la preevaluación y la postevaluación; ψ Diferencias significativas entre ETRAD y CON en la postevaluación.

El efecto de la interacción entre los factores “Momento” y “Grupo” no fue estadísticamente significativo para ninguna de las variables analizadas a través del CMJ_{max} (altura del CMJ_{max}: $p = 0,435$; potencia máxima normalizada del CMJ_{max}: $p = 0,238$; desplazamiento vertical del cdg durante el CMJ_{max}: $p = 0,824$; fuerza máxima en el CMJ_{max}: $p = 0,628$; *stiffness* normalizado en el CMJ_{max}: $p = 0,254$).

En lo referente a las comparaciones entre grupos, la fuerza máxima en función del peso corporal fue un 13,06% mayor en el grupo CON respecto al grupo ETRAD ($p = 0,027$; $d = 1,17$) en los valores de la evaluación postintervención, no habiendo diferencias significativas para el resto de comparaciones entre grupos ($p > 0,05$).

3.5.4.1.3. Efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables antropométricas

La Tabla 24 refleja los estadísticos descriptivos de la muestra para diversas variables antropométricas en la evaluación pre y postintervención.

Tabla 24. Estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación típica) de las variables antropométricas en la evaluación pre y postintervención en función del grupo.

Peso corporal (kg)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 10)	Pre	54,6	89,4	69,94	9,9	0,006	0,13	1,83
	Post	54,3	88,8	71,22*	9,87			
ETRAD (n = 11)	Pre	57,3	83	71,96	7,33	0,165	0,08	0,81
	Post	57,9	80,7	72,54	6,74			
CON (n = 10)	Pre	57	85,9	74,17	9,16	0,079	0,08	1,05
	Post	57,2	89	74,95	9,71			

$\Sigma 4$ Pliegues cutáneos (mm)†								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL (n = 10)	Pre	21,3	61	34,86	12,07	0,623	0,05	-1,75
	Post	21,96	57,83	34,25	11,46			
ETRAD (n = 11)	Pre	20,6	58	36,69	11,07	0,095	0,18	-5,51
	Post	20,63	61,36	34,67	11,7			
CON (n = 10)	Pre	27,4	51,63	37,26	8,74	0,870	0,02	0,56
	Post	25,73	52,13	37,47	9,05			

Tabla 24. (Continuación).

IMC (kg/m²)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL	Pre	19,65	28,86	22,95	2,63	0,003	0,2	2,31
(n = 10)	Post	19,54	28,83	23,48*	2,59			
ETRAD	Pre	19,8	25,22	22,84	1,81	0,086	0,16	1,23
(n = 11)	Post	19,57	25,19	23,12	1,72			
CON	Pre	20,98	28,8	23,98	2,25	0,302	0,08	0,71
(n = 10)	Post	21,21	28,7	24,15	2,27			

Perímetro de cintura (cm)								
Grupo	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i> Post-Pre	TE <i>d</i> Post-Pre	Δ Post-Pre (%)
EPOL	Pre	66,5	92,4	78,3	7,04	0,671	0,05	-0,47
(n = 10)	Post	65,4	88,5	77,93	6,49			
ETRAD	Pre	74,4	89,3	80,54	5,49	0,008	0,4	-2,93
(n = 11)	Post	63,1	85,5	78,18*	6,38			
CON	Pre	75,5	89,7	81,38	4,74	0,343	0,16	-1,02
(n = 10)	Post	73,1	91,5	80,55	5,65			

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; CON: Grupo control; Eval.: Evaluación; Desv. típica: Desviación típica; TE: Tamaño del efecto; IMC: Índice de masa corporal; † Pliegues cutáneos incluidos en el sumatorio: tricípital, bicípital, subescapular e ileocrestal/suprailíaco; * Diferencias significativas entre la preevaluación y la postevaluación.

El efecto de interacción entre el factor “Momento” y el factor “Grupo” no fue estadísticamente significativo ni para el peso corporal ($p = 0,491$), ni para el $\Sigma 4$ Pliegues cutáneos ($p = 0,422$), ni para el IMC ($p = 0,3$), ni para el perímetro de cintura ($p = 0,231$).

No se registraron diferencias significativas para ninguna de las comparaciones entre grupos ($p > 0,05$).

3.5.4.2. Resultados del objetivo específico 2

3.5.4.2.1. Efectos de los programas de entrenamiento sobre el perfil pro y antiinflamatorio y sobre las subpoblaciones linfocitarias

Seguidamente, se presentan los estadísticos descriptivos de los marcadores del sistema inmunológico en las evaluaciones pre y postintervención en función del grupo (Tabla 25). Durante el análisis y procesamiento de las muestras sanguíneas se ha descartado la determinación de las variables en algunos participantes ya que, durante el procedimiento, se apreció una viabilidad muy baja, lo cual podría reportar resultados erróneos. Como consecuencia, la n de cada grupo se vio afectada quedando reducida a 8 individuos para los grupos EPOL y CON, en cuanto a los marcadores pro y antiinflamatorios se refiere. En el caso de las subpoblaciones linfocitarias, la muestra quedó conformada por 5 componentes en el grupo EPOL, 8 en el grupo ETRAD y 6 en el grupo CON.

Tabla 25. Estadísticos descriptivos (mínimo, máximo, media y desviación típica) de los marcadores del sistema inmunológico en la evaluación pre y postintervención en función del grupo.

Marcadores del sistema inmunológico										
<i>Marcadores pro y antiinflamatorios (ng · dL⁻¹)</i>										
Grupo	Marcador	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor	TE	Δ Post-Pre (%)	
							<i>p</i>	<i>d</i>		
							Post-Pre	Post-Pre		
EPOL (n = 8)	IL-2	Pre	54,57	56,19	55,79	0,75				
		Post	54,57	56,19	54,77*	0,57	0,025	1,53	-1,83	
	IL-4	Pre	108,48	111,53	110	0,82				
		Post	108,48	110	109,24	0,81	0,096	0,93	-0,69	
	IL-6	Pre	39,3	40,6	40,44	0,46				
		Post	40,6	40,6	40,6	0	0,317	0,49	0,4	
	IL-10	Pre	21,03	23,15	21,29	0,75				
		Post	21,03	21,03	21,03	0	0,317	0,49	-1,22	
	IL-17	Pre	116,49	212,59	134,72	31,69				
		Post	116,49	126,43	122,29	3,43	0,246	0,55	-9,23	
TNF- α	Pre	48,71	53,24	50,13	1,69					
	Post	48,71	50,98	50,13	1,17	0,705	0	0		
IFN- γ	Pre	74,94	82,97	77,55	2,57					
	Post	74,94	76,55	75,34*	0,75	0,041	1,17	-2,85		
ETRAD (n = 11)	IL-2	Pre	27,62	57,81	48,1	13,19				
		Post	25,56	56,19	48,14	12,81	0,874	0	0,083	
	IL-4	Pre	76,43	110	100,92 ^a	14,01				
		Post	74,33	110	100,62	15,17	0,931	0,02	-0,3	
	IL-6	Pre	13,56	40,6	35,9	9,59				
		Post	13,56	40,6	35,58	10,53	0,715	0,03	-0,89	
	IL-10	Pre	5,53	33,99	20,27	6,48				
		Post	7,9	33,99	20,04	6,67	0,715	0,03	-1,13	
	IL-17	Pre	68,96	146,31	120,62	22,13				
		Post	78,83	132,82	116,54	16,8	0,332	0,21	-3,38	
	TNF- α	Pre	3,8	50,98	42,13	16,89				
		Post	9,58	50,98	42,08	16,17	0,731	0	-0,12	
	IFN- γ	Pre	29,93	129,53	74,68	23,67				
		Post	32,3	76,55	67,62	16,34	0,398	0,35	-9,45	

Tabla 25. (Continuación).

Grupo	Marcador	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor	TE	Δ Post-Pre (%)	
							<i>p</i>	<i>d</i>		
							Post-Pre	Post-Pre		
CON (n = 8)	IL-2	Pre	23,5	57,81	48,84	13,33	0,891	0	-0,1	
		Post	25,56	56,19	48,79	13,71				
	IL-4	Pre	76,43	111,53	101,87	15,08	0,786	0,01	-0,19	
		Post	74,33	110	101,68	15,04				
	IL-6	Pre	20,04	41,89	36,43	8,31	1	0,03	0,66	
		Post	13,56	40,6	36,67	9,46				
	IL-10	Pre	12,64	24,5	20,68	3,5	0,854	0	0	
		Post	5,53	31,62	20,68	7,13				
	IL-17	Pre	113,24	235,79	137,59	40,16	0,610	0,51	-12,33	
		Post	64,02	152,33	120,63	24,87				
	TNF- α	Pre	12,79	50,98	42,59	14,14	0,715	0,03	1,24	
		Post	3,8	53,24	43,12	16,85				
	IFN- γ	Pre	39,41	79,76	69,44	14,72	0,498	0,03	-0,72	
		Post	25,2	78,16	68,94	17,82				
<i>Subpoblaciones linfocitarias (%)</i>										
Grupo	Marcador	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor	TE	Δ Post-Pre (%)	
							<i>p</i>	<i>d</i>		
							Post-Pre	Post-Pre		
EPOL (n = 5)	CD4+	Linfocitos T:					7,48	0,5	0,24	5,22
		Pre	34	52	46	48,4				
	CD8+	Post	39	66	48,4	12,05	0,279	0,2	6,04	
		Pre	22	50	36,4	11,8				
		Post	29	53	38,6	10,71				
		Linfocitos B:								
	CD19+	Pre	17	40	27,2	8,96	0,042	2,08	-54,41	
		Post	5	16	12,4*	4,56				
	CD56+	Células natural killer:								
		Pre	5	22	12,2	6,61	0,715	0,06	-3,28	
Post	5	20	11,8	6,87						

Tabla 25. (Continuación).

Grupo	Marcador	Eval.	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Valor <i>p</i>	TE <i>d</i>	Δ Post-Pre (%)	
Linfocitos T:										
ETRAD (n = 8)	CD4+	Pre	29	63	43,37	10,84	1	0,02	-0,55	
		Post	23	58	43,13	10,15				
	CD8+	Pre	23	40	31,62	5,97	0,233	0,3	5,57	
		Post	28	41	33,38	5,83				
	Linfocitos B:									
	CD19+ [^]	Pre	12	24	19	4,14	0,128	0,86	-20,32	
Post		10	25	15,14	4,84					
Células <i>natural killer</i> :										
CD56+	Pre	0	19	6,88	6,27	0,398	0,24	21,66		
	Post	0	14	8,37	6,23					
Linfocitos T:										
CON (n = 6)	CD4+	Pre	20	51	40,5	11,02	0,345	0,52	11,93	
		Post	39	56	45,33	7,09				
	CD8+	Pre	12	38	29,83	9,45	0,833	0,12	3,35	
		Post	25	45	30,83	7,28				
	Linfocitos B:									
	CD19+	Pre	11	60	27,33	17,1	0,138	0,71	-37,8	
Post		4	32	17	11,66					
Células <i>natural killer</i> :										
CD56+	Pre	2	11	6,67	3,98	0,916	0	0		
	Post	1	15	6,67	5,32					

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; CON: Grupo control; Eval.: Evaluación; Desv. típica: Desviación típica; TE: Tamaño del efecto; ^ Sólo en la variable “linfocitos B-CD19”, el grupo ETRAD estuvo conformado por una $n = 7$; * Diferencias significativas entre la preevaluación y la postevaluación; ^a Diferencias significativas entre los grupos EPOL y ETRAD.

No se registraron diferencias significativas entre los grupos para ninguna de las variables analizadas ($p > 0,05$) excepto para la IL-4 en la preevaluación, que difirió entre los grupos experimentales ($p = 0,036$; $d = 0,91$).

3.5.4.3. Resultados del objetivo específico 3

3.5.4.3.1. Efectos de los programas de entrenamiento sobre la percepción subjetiva del esfuerzo, las sensaciones y la carga interna a lo largo del período de intervención

Las Figuras 19, 20 y 21 muestran la evolución de los RPE, la FS y los TRIMPS a lo largo del período de intervención, respectivamente, para cada uno de los grupos experimentales.

No existió efecto significativo de interacción entre los factores “Grupo”, “Macroциclos” y “Microциclos” para ninguna de las variables analizadas (RPE: $p = 0,437$; FS: $p = 0,407$; TRIMPS: $p = 0,95$).

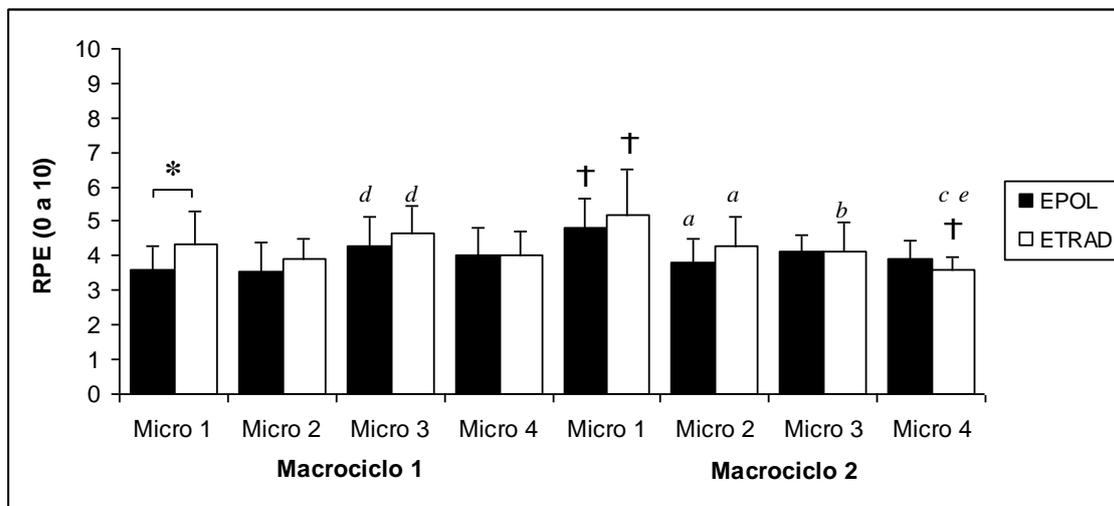


Figura 19. Evolución de los RPE durante el período de intervención en función del grupo.

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; * Diferencias significativas entre el grupo EPOL y ETRAD ($p < 0,05$); † Diferencias significativas entre los microциclos del segundo macroциclo respecto a los homónimos del primer macroциclo, en función del grupo ($p < 0,05$); Diferencias significativas entre los microциclos a lo largo de cada macroциclo, en función del grupo: *a* diferencias entre el microциclo 1 respecto al 2 ($p < 0,05$); *b* diferencias entre el microциclo 1 respecto al 3 ($p < 0,05$); *c* diferencias entre el microциclo 1 respecto al 4 ($p < 0,05$); *d* diferencias entre el microциclo 2 respecto al 3 ($p < 0,05$); *e* diferencias entre el microциclo 2 respecto al 4 ($p < 0,05$).

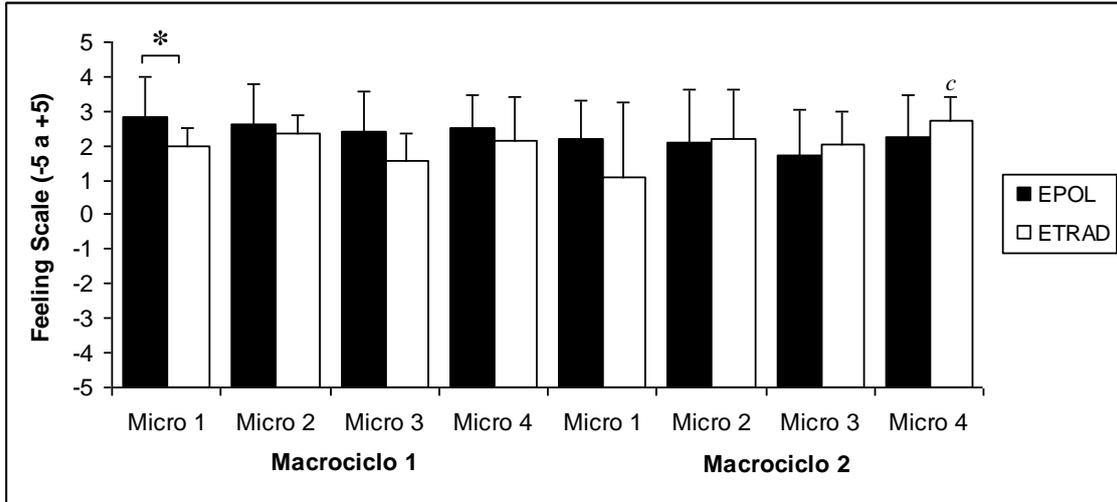


Figura 20. Evolución de la FS durante el período de intervención en función del grupo.

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; * Diferencias significativas entre el grupo EPOL y ETRAD ($p < 0,05$); Diferencias significativas entre los microciclos a lo largo de cada macrociclo, en función del grupo: *c* diferencias entre el microciclo 1 respecto al 4 ($p < 0,05$).

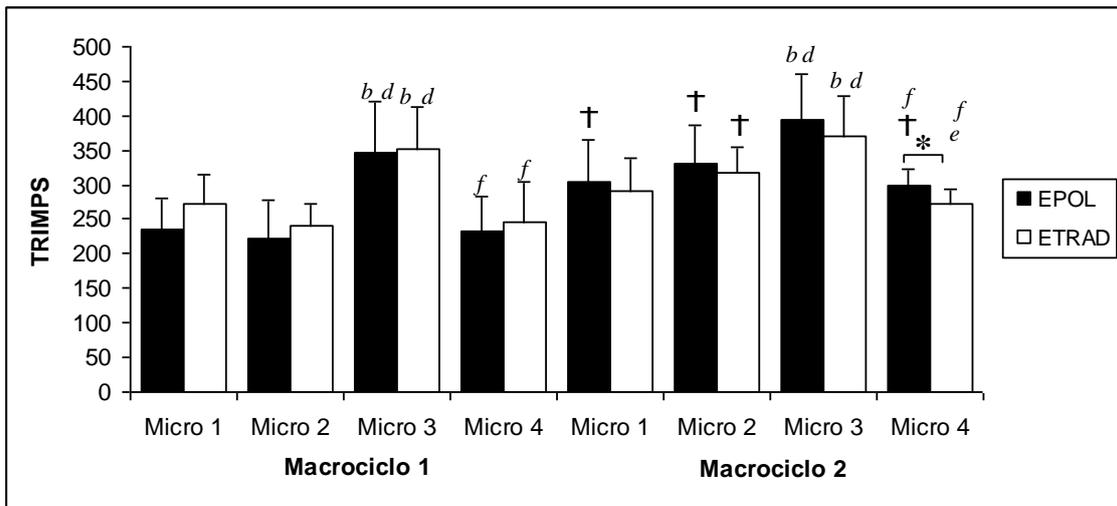


Figura 21. Evolución de los TRIMPS durante el período de intervención en función del grupo.

EPOL: Grupo de entrenamiento polarizado; ETRAD: Grupo de entrenamiento tradicional; * Diferencias significativas entre el grupo EPOL y ETRAD ($p < 0,05$); † Diferencias significativas entre los microciclos del segundo macrociclo respecto a los homónimos del primer macrociclo, en función del grupo ($p < 0,005$); Diferencias significativas entre los microciclos a lo largo de cada macrociclo, en función del grupo: *b* diferencias entre el microciclo 1 respecto al 3 ($p < 0,05$); *d* diferencias entre el microciclo 2 respecto al 3 ($p < 0,05$); *e* diferencias entre el microciclo 2 respecto al 4 ($p < 0,05$); *f* diferencias entre el microciclo 3 respecto al 4 ($p < 0,05$).

3.6. DISCUSIÓN

La discusión se dividirá en subapartados que se corresponderán con la metodología seguida para llevar a cabo la investigación, así como con los diferentes apartados de los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral. A lo largo de los siguientes subapartados, se analizarán y argumentarán las razones por las cuales se establecieron los criterios de selección de la muestra, se eligieron las pruebas de evaluación y se propusieron los programas de entrenamiento desarrollados a lo largo del período de intervención. Asimismo, se discutirán los resultados obtenidos contrastándolos con la evidencia científica disponible y se expondrán las limitaciones del estudio.

3.6.1. Discusión de la metodología

3.6.1.1. Muestra

A pesar de que la idea original del estudio estaba orientada a desarrollar la investigación con individuos de mediana edad sedentarios y con factores de riesgo de contracción de ECNT, se decidió finalmente realizar el estudio con estudiantes de Ciencias del Deporte y la Educación Física para garantizar alcanzar una muestra lo suficientemente grande para cada uno de los grupos. El problema principal a la hora de realizar la intervención con individuos de mediana edad sedentarios y con factores de riesgo era garantizar la adherencia, puesto que la mayoría de ellos estaban en edad laboral y no todos podían desplazarse a nuestras instalaciones en los horarios convenidos. En este sentido, se ha argumentado previamente que una de las principales razones por las que se abandona un programa de entrenamiento es la falta de tiempo (15,16). Estas circunstancias hacían preveer que la muestra total alcanzada sería demasiado baja, aunque de cara a las futuras líneas de investigación consideramos de gran interés y repercusión replicar este estudio con individuos de estas características, ya que los resultados obtenidos podrían ser extrapolables a otras poblaciones.

Por otro lado, asumiendo que los estudiantes de Ciencias del Deporte y la Educación Física pueden considerarse individuos moderadamente activos por las características de la propia titulación, se establecieron unos criterios de inclusión/exclusión con el

objetivo de que los resultados obtenidos fueran atribuibles, en la medida de lo posible, a los programas de entrenamiento aquí propuestos y no a la interacción con otros factores, como la práctica regular de alguna modalidad deportiva con fines competitivos.

3.6.1.2. Asignación de los grupos y planificación de horarios

De los individuos interesados en participar en la investigación, se seleccionaron aquellos que cumplieron los criterios de inclusión/exclusión y se asignaron, aleatoriamente, a uno de los tres grupos posibles. Para la asignación aleatoria, se tuvo en cuenta el número total de mujeres y se realizó un bloqueo para repartirlas equitativamente en los tres grupos. El objetivo fundamental de este bloqueo fue garantizar la homogeneidad entre grupos antes de iniciar el estudio.

Por otro lado, se procuró, en la medida de lo posible, que cada uno de los participantes entrenase siempre en una franja horaria similar, ya que se ha demostrado que los ritmos circadianos pueden afectar también a las respuestas fisiológicas (401,402).

3.6.1.3. Período de familiarización

Debido a que no todos los participantes estaban habituados al trabajo de fuerza, se realizó un período de familiarización de 2 semanas que estuvo compuesto por un total de 6 sesiones (i.e., 3 por semana). Durante cada sesión se llevaron a cabo los ejercicios de fuerza que posteriormente se realizarían, tanto en las pruebas de evaluación como en el período de entrenamiento de los grupos experimentales. En todo momento, el investigador principal supervisó las sesiones de forma individualizada para conseguir que los individuos adquiriesen una técnica correcta en la ejecución de los diferentes ejercicios de fuerza así como en la realización de saltos verticales, con el objetivo principal de minimizar las posibles diferencias existentes entre los grupos en el momento de las evaluaciones preintervención. En este sentido, consideramos que 6 sesiones repartidas a lo largo de 2 semanas son suficientes para una óptima familiarización con el trabajo de fuerza y la realización de saltos verticales, ya que estudios previos han sugerido que una sesión de familiarización puede ser suficiente para realizar una evaluación más fiable y realista de la fuerza (343). Además, también se instruyó a los participantes en la utilización de las escalas de percepción subjetiva del

esfuerzo y de sensaciones que se usarían con posterioridad durante las evaluaciones y el período de intervención.

3.6.1.4. Pruebas de evaluación

En todo momento se intentaron controlar las condiciones de evaluación para minimizar el posible efecto de las variables extrañas. Para ello, se reprodujeron de la forma más exacta posible las condiciones de evaluación, siendo todas las evaluaciones llevadas a cabo por los mismos investigadores y en las mismas instalaciones.

El orden que se estableció para llevar a cabo las pruebas de evaluación, tanto antes como después del período de intervención, tuvo como objetivo disponer las condiciones óptimas para minimizar los posibles disturbios (e.g., fatiga, estrés ambiental, etc.) en las respuestas fisiológicas de los participantes. De este modo, se unificaron diferentes pruebas en el primer día de evaluación, en las cuales no hubo un desgaste físico del individuo (i.e., VFC, PA, extracción sanguínea y mediciones antropométricas). Se aprovechó también, pensando en la comodidad de los participantes y tratando de importunarlos lo menos posible, para unificar estas pruebas porque los requisitos previos a la realización de las mismas eran similares para cada una de estas evaluaciones si se realizaran de forma aislada (i.e., acudir al laboratorio en ayunas y sin haber ingerido ninguna bebida con teína, cafeína, o similares; dormir un mínimo de 8 h y no haber realizado AF moderada o intensa durante, como mínimo, las 48 h previas).

El test de evaluación de la fuerza explosiva (i.e., CMJ_{max}) se estableció como la primera prueba del segundo día de evaluación, antes de la estimación de 1 RM en *press banca* y media sentadilla, para que no hubiese una fatiga muscular previa que pudiese interferir en el rendimiento. De igual modo, las evaluaciones de este día estuvieron precedidas de un período de, como mínimo, 24 h sin realizar AF moderada o intensa para optimizar las condiciones del participante de cara a evaluar su rendimiento máximo.

Por último, el tercer día de evaluación consistió en determinar la VAM y la FC_{max} de los participantes a través del UMTT propuesto por Léger y Boucher (1980), pero con una ligera modificación del protocolo. Desde las evaluaciones del segundo día hasta las del tercero transcurrieron un mínimo de 48 h para asegurar una óptima recuperación, siendo las 24 h previas a la realización del UMTT en ausencia de AF moderada o intensa.

Una de las posibles limitaciones de este estudio podría ser el hecho de no haber aleatorizado el orden en el que se llevaron a cabo las pruebas de evaluación, ya que algunas respuestas fisiológicas o los niveles alcanzados en las diferentes pruebas de rendimiento, podrían verse afectados en función del orden de ejecución como consecuencia de un estímulo físico previo diferente.

3.6.1.4.1. Variabilidad de la frecuencia cardiaca

La evidencia científica ha sugerido que la medición de la VFC es una técnica sencilla y no invasiva para la evaluación de la modulación autonómica de la FC a través de la medición instantánea de las variaciones latido a latido (99). De hecho, se ha demostrado consistentemente en la literatura la asociación existente entre la VFC y la salud, el nivel de aptitud física y la capacidad de adaptación a un estímulo, tanto en personas sanas como con diversas patologías (72,99,100,176,178–182,184,186,190,191,194,282).

Por otro lado, varios estudios han sugerido que las maniobras fisiológicas, como el cambio de posición de decúbito supino a una posición reclinada o a la bipedestación, pueden aportar una mayor cantidad de información para la caracterización del funcionamiento del SNA (99,413,414). Teniendo esto en cuenta, uno de los procedimientos más frecuentes, y comúnmente aceptado, es la simulación ortoestática, ya que se puede llevar a cabo con facilidad en el laboratorio o en el campo deportivo (182). En este sentido, se recomienda que la medición de la VFC se realice durante la noche o durante las primeras horas de la mañana, ya que en esos momentos del día resulta un mejor indicador de la fatiga acumulada que la FC en reposo, debido a que refleja mejor los cambios en el SNA (183).

Por los argumentos anteriormente expuestos, se llevó a cabo un test ortoestático para evaluar la VFC de acuerdo con Hynynen et al. (2011), con el objetivo de comprobar si los programas de entrenamiento aquí propuestos producían diferentes respuestas en el equilibrio simpático-vagal.

3.6.1.4.2. Presión arterial

Además de ser un indicador de la aptitud física cardiorrespiratoria, los elevados niveles de PA han sido considerados en la literatura como un factor de riesgo para la contracción de enfermedades cardiovasculares y mortalidad prematura (101,198). Por esta razón, incluimos esta sencilla evaluación para determinar si los efectos del ejercicio sobre la PA eran dependientes del programa de entrenamiento desarrollado.

3.6.1.4.3. Biomarcadores del sistema inmunológico

A pesar de que muchos estudios han evaluado los efectos agudos (415–417) y crónicos (98,126,144) del ejercicio sobre diferentes marcadores del sistema inmunológico, no tenemos conocimiento de que, en una misma investigación, se haya aunado el estudio de los efectos de dos tipos de entrenamiento concurrente, con diferente distribución de la intensidad y equiparación de la carga externa, sobre los marcadores pro y antiinflamatorios y las subpoblaciones linfocitarias. En nuestra opinión, este era uno de los pasos que la literatura científica en el tema estaba demandando recientemente.

Para llevar a cabo los análisis de estas variables, tras las extracciones sanguíneas realizadas por un profesional sanitario, se contó con la ayuda de un laboratorio externo (Instituto de Investigación Biomédica de La Coruña -INIBIC-, La Coruña, España).

3.6.1.4.4. Variables antropométricas

El exceso de grasa corporal y, concretamente, la acumulación de grasa en la región abdominal, pueden considerarse factores de riesgo en sí mismos para la contracción de ECNT o de otros factores de riesgo (205). Uno de los métodos más sencillos, y comúnmente aceptado, para la evaluación de la grasa intraabdominal consiste en la medición del perímetro de cintura (206,207), aunque el método de medición de pliegues cutáneos, con sus limitaciones, se ha considerado eficaz de cara a la estimación del porcentaje graso (210). Parece claro que las reducciones del perímetro de cintura (104,105,211,418) o del porcentaje graso (103) se relacionan con la mejora del pronóstico de los factores de riesgo cardiovascular o del padecimiento de ECNT.

3.6.1.4.5. Capacidad de salto vertical

Además de la evaluación de la fuerza máxima en el miembro inferior a partir del test de RHF en el ejercicio de media sentadilla, decidimos incluir también un test de evaluación de la fuerza explosiva de las piernas, ya que se pretendía conocer cómo las diferentes distribuciones de las intensidades de entrenamiento concurrente (i.e., tradicional vs. polarizado) podían afectar a la manifestación de la fuerza explosiva del miembro inferior. A este respecto, se ha señalado en la literatura que el CMJ es un test adecuado para la evaluación de la fuerza elástico-explosiva del miembro inferior (353), aportando información sobre el desarrollo motor, la capacidad funcional y la capacidad motriz en jóvenes, mayores y atletas (352). De los muchos parámetros que pueden ser estudiados en un CMJ_{max}, la altura de salto, medida a través de plataformas de fuerzas, se ha considerado como el parámetro más preciso y adecuado para la medición de la fuerza explosiva de las piernas (353). No obstante, en el presente estudio hemos decidido incluir también otros parámetros del salto, siguiendo estudios previos (323,404), para investigar en mayor profundidad los efectos de los programas de entrenamiento aquí planteados sobre los factores neuromusculares del miembro inferior. En este sentido, se incluyeron, además de la altura del salto, la potencia máxima normalizada para el peso corporal, la fuerza máxima, el desplazamiento vertical del cdg y la rigidez vertical o *Kvert* normalizada para el peso corporal. Es importante señalar que a la altura de salto obtenida en la plataforma de fuerzas se le restó la distancia que el pie recorrió durante el impulso para la determinación de la altura máxima real. Por otro lado, el *Kvert* se calculó como el cociente entre la fuerza vertical pico (expresada en N) y el máximo recorrido vertical del cdg durante la fase excéntrica del salto (expresado en m), de acuerdo con McMahon y Cheng (419), y posteriormente normalizado por la masa corporal (404).

En cuanto al procedimiento para llevar a cabo esta evaluación, se solicitó a los participantes que realizasen 4 CMJ submáximos a modo de recordatorio separados por, como mínimo, 30 s antes de la realización del test máximo de salto vertical. En este sentido, se ha argumentado que, incluso en sujetos no familiarizados con el procedimiento, la realización de 3-5 saltos submáximos previos al test máximo es suficiente para una correcta ejecución técnica (343).

3.6.1.4.6. Estimación de 1 repetición máxima en *press banca* y media sentadilla

A pesar de que no existen evidencias de que la realización de un protocolo para determinar 1 RM implique riesgos de lesión, aún en personas no acostumbradas al trabajo de fuerza, se ha recomendado llevar a cabo tests de RHF en poblaciones sin experiencia en este tipo de entrenamiento (317). Los tests de RHF permiten estimar el valor real de la 1 RM trabajando con mayor seguridad y minimizando los riesgos (106).

Por estas razones, y basándonos en las recientes recomendaciones del ACSM (2013), se decidió llevar a cabo un test de RHF, para la estimación de la aptitud física neuromuscular de los miembros superior e inferior, que rondase las 10 RM, ya que parece que esta cantidad de repeticiones es apropiada de cara a la posterior estimación del valor real de la 1 RM a partir de diversas ecuaciones validadas (340). Los ejercicios seleccionados para la evaluación de la fuerza en los miembros superior e inferior del cuerpo fueron el *press banca* y la media sentadilla, respectivamente, ya que tradicionalmente se han considerado los ejercicios que mejor reflejan la fuerza global corporal (340). En este sentido, se decidió llevar a cabo en primer lugar el test de RHF en el ejercicio de *press banca* para dejar transcurrir un intervalo de tiempo mayor entre la evaluación previa (i.e., CMJ_{max}) y la evaluación de la fuerza del miembro inferior mediante el ejercicio de media sentadilla, con el objetivo de garantizar una completa recuperación de los grupos musculares implicados.

De cara a la estimación de 1 RM, se aplicaron las ecuaciones propuestas por Mayhew et al. (1992) y por Wathan (1994) para los ejercicios de *press banca* y media sentadilla, respectivamente, ya que son las que más se aproximan al valor real de la 1 RM (343,344).

3.6.1.4.7. Determinación de la velocidad aeróbica máxima

La VAM puede obtenerse de forma indirecta mediante pruebas de campo validadas, no difiriendo mucho de los valores determinados directamente en el laboratorio (319,320). En la literatura científica, el protocolo propuesto por Léger y Boucher (1980), conocido como UMTT, se considera uno de los más válidos y fiables. El UMTT es un test de campo

triangular, continuo, máximo y con múltiples estadios que se realiza en una pista de atletismo y comienza a una velocidad de 7 u 8 km·h⁻¹, para incrementar posteriormente en 1 km·h⁻¹ cada 2 min hasta la máxima extenuación del participante (332,420).

Con el objetivo de incluir en el UMTT velocidades de caminata que, previsiblemente, se prescribirían a los participantes del grupo EPOL durante el período de entrenamiento, decidimos modificar el protocolo original del UMTT disminuyendo la velocidad inicial a 5 km·h⁻¹ para reflejar con mayor fidelidad las características específicas del programa de entrenamiento, aunque la cadencia fue mantenida según el protocolo original (322). Además, en nuestro caso, la velocidad vino impuesta por un ciclista experimentado basándonos en la propuesta de Brue (1985), tal y como se realizó en estudios previos (323,324,326,410,420,421). De cara a un ajuste más preciso de la VAM, para la prescripción y control de los entrenamientos, en los casos en los que los sujetos completaron tan sólo 1 min del último estadio, se asumió como VAM la velocidad del estadio anterior, al cual se le sumaron 0,5 km·h⁻¹ (323). También se evaluó el tUMTT, ya que estudios previos (324) han sugerido que este parámetro evalúa, simultáneamente, la potencia aeróbica y la capacidad anaeróbica, teniendo una mayor correlación que la VAM con el rendimiento en carreras de mediofondo.

Aparte de dejar transcurrir, como mínimo, 48 h desde la realización de la última evaluación (i.e., evaluación de la aptitud física neuromuscular), durante las 24 h previas a la realización del UMTT, los participantes no llevaron a cabo AF alguna con el objetivo de garantizar una óptima recuperación. Además, se recomendó a los participantes ingerir, con un mínimo de 3 h de antelación a la realización del UMTT, una comida rica en carbohidratos de asimilación lenta (e.g., pasta, arroz, patatas hervidas, cereales, etc.), así como hidratarse *ad libitum* (e.g., agua, bebidas isotónicas), ya que se ha demostrado que la carencia de glucógeno muscular es un limitante del rendimiento (422) en ejercicios donde éste sea el principal sustrato energético a utilizar.

El VO_{2max} no se pudo determinar de forma directa en el campo deportivo debido a la dificultad organizativa de llevar a cabo la prueba de forma individualizada a cada participante (N = 31) durante la pre y la postevaluación. De hecho, el test original del UMTT está diseñado para llevar a cabo de forma simultánea a varias personas (320). Además, varios autores (322,334) han demostrado que el VO_{2max} puede estimarse de forma fiable a partir de la VAM, sin diferir significativamente los valores de aquellos

obtenidos mediante la determinación directa. No obstante, para que el test fuese considerado máximo, se tuvieron que cumplir alguno de los criterios asociados a la extenuación (407):

- Manifestar una percepción subjetiva del esfuerzo, en la escala de Borg, justo al finalizar la prueba ≥ 8 (408).
- Alcanzar una $FC_{\max} > 95\%$ de la FC_{\max} teórica (59) calculada según Tanaka et al. (2001).

3.6.1.5. Programas de entrenamiento durante el período de intervención

Los programas de entrenamiento propuestos en esta Tesis Doctoral se diseñaron en base a dos corrientes diferenciadas en la literatura científica sobre la distribución de la intensidad de ejercicio. Por un lado, para la programación del entrenamiento concurrente que hemos denominado “entrenamiento concurrente tradicional”, nos hemos basado en las recomendaciones que los organismos internacionales como el ACSM, la AHA o la OMS han venido sugiriendo, desde la década de los años 60 del siglo pasado, para llevar a cabo AF saludable. Por otro lado, la programación del entrenamiento concurrente que hemos denominado “entrenamiento concurrente polarizado” la llevamos a cabo con el objetivo de emular una pequeña parte del patrón de AF característico del Paleolítico, ya que existe una extensa corriente de autores (7,8,49) que apoya tomar como referencia para la prescripción de AF saludable las actividades propias de nuestros ancestros del Paleolítico, pero adaptadas a la sociedad actual. Sin embargo, la propuesta de estos autores no sigue un modelo estrictamente polarizado, ya que se contempla la inclusión de la carrera a bajas intensidades (i.e., por debajo del UAn) como una de las actividades características de nuestros ancestros. Sin embargo, el patrón de AF paleolítico se identifica claramente con el modelo de entrenamiento polarizado, caracterizado por llevar a cabo la mayor parte del volumen de entrenamiento a intensidades bajas (i.e., por debajo del UA o ligeramente por encima) y una pequeña parte a elevadas intensidades (i.e., por encima del UAn), tal y como hemos sugerido recientemente (47) (ver Figura 3). En este sentido, es interesante comprobar que la mayoría de deportistas de resistencia de nivel mundial y olímpico siguen, sin

excepción, un patrón polarizado de entrenamiento (57,60–66), siendo uno de los grupos que más y mejor emulan el patrón de AF paleolítico (47,67) y que mayor esperanza de vida alcanzan, tal y como sugieren estudios recientes (67,68,223). Por ello, se ha argumentado que los humanos todavía seguimos genéticamente dotados para la realización de una gran cantidad de AF diaria, similar a la que realizaban nuestros ancestros (8,37,43,47,48,67), pero que debido al desarrollo tecnológico propio de las sociedades modernas no se está llevando a cabo (5,8,51), lo cual está provocando una epidemia a gran escala de ECNT y/o de factores de riesgo asociados (7,9,222).

Los argumentos anteriormente expuestos hacen pensar que el entrenamiento concurrente polarizado podría ser una mejor alternativa al entrenamiento concurrente tradicional para el mantenimiento y mejora de la salud, ya que el patrón de AF paleolítico, para el cual seguimos genéticamente dotados en la actualidad, ha permitido el desarrollo filogenético y la supervivencia de la especie humana.

En cuanto a la programación del entrenamiento de los grupos experimentales EPOL y ETRAD, la duración total del período de entrenamiento (i.e., 8 semanas) y la frecuencia semanal (i.e., 3 sesiones semanales en días alternos: lunes, miércoles y viernes) se establecieron en función de los resultados obtenidos en los estudios experimentales que se han analizado a lo largo de este documento. A pesar de que una duración y/o frecuencia de entrenamiento mayor podría haber manifestado mayores mejoras y/o diferencias entre los grupos, debe tenerse en cuenta que una frecuencia de entrenamiento de 3 días a la semana es suficiente para producir mejoras en individuos que rondan niveles de VO_{2max} cercanos a los $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (244). Unido a lo anterior, cabe resaltar que no ha sido tarea fácil conseguir la adherencia y el compromiso de 31 participantes universitarios que tuvieron que compaginar los entrenamientos con sus quehaceres diarios, confirmando así nuestras expectativas con la elección de esta frecuencia de entrenamiento.

Decidimos incluir el entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza basándonos en que el patrón de AF paleolítico venía caracterizado por el desarrollo concurrente de diversas capacidades físicas, y porque las recomendaciones internacionales de práctica de AF saludable prescriben la realización de trabajo concurrente de ambas capacidades. En este sentido, se ha discutido recientemente en la literatura que el orden de los contenidos del entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza, dentro de una misma

sesión, puede influir en el grado de desarrollo de cada una de las capacidades (366). De hecho, parece que realizar el trabajo de resistencia antes que el de fuerza maximiza las mejoras en la aptitud física cardiorespiratoria, mientras que el orden inverso mejora, en mayor medida, la aptitud física neuromuscular (366,369). A este respecto, hemos considerado en nuestro estudio la realización, en todas las sesiones de entrenamiento, del trabajo de resistencia en primer lugar ya que el desarrollo de la aptitud física cardiorespiratoria, representada específicamente por la mejora del VO_{2max} , se ha considerado un parámetro de referencia en la AF saludable y un predictor de la esperanza de vida (94,95,106).

La prescripción del entrenamiento de resistencia se realizó, para ambos grupos, en función de la VAM alcanzada por los participantes en el UMTT propuesto por Léger y Boucher (1980). En este sentido, estudios previos (332,410,420,423) han demostrado que la VAM es un buen parámetro de referencia para la prescripción del entrenamiento de resistencia, ya sea mediante carrera continua o fraccionada. De hecho, la VAM puede utilizarse como único parámetro de referencia para la programación del entrenamiento en las diferentes zonas de intensidad (i.e., por debajo del UAn, entre el UAn y el VO_{2max} o a intensidad de VO_{2max} o superior) (332).

Teniendo en cuenta que el entrenamiento fraccionado de alta intensidad ha mostrado su efectividad en la mejora de la aptitud física y en la reducción de los factores de riesgo asociados a las ECNT (15,424,425) y que conforma parte del patrón de AF paleolítico (7,8,47,49), hemos considerado oportuno incluir en el programa de entrenamiento del grupo EPOL una sesión de entrenamiento intermitente mediante *sprints* (i.e., $2 \times 10-12 \times 15$ s al 120% VAM con recuperación pasiva de 15 s). Ya Helgerud et al. (2007) sugirieron que un entrenamiento mediante *sprints* (e.g., 15 s de carrera al 90-95% FC_{max} con recuperación activa de 15 s al 70% FC_{max}), similar al que nosotros proponemos, es más efectivo de cara a la mejora del VO_{2max} que realizar el mismo trabajo total, de manera continua, a una intensidad de UAn (i.e., ~85% FC_{max}) o del 70% de la FC_{max} .

Por otro lado, la prescripción del entrenamiento de la fuerza se realizó en base a las RM establecidas para cada sesión y cada grupo. El número de series y el tiempo de recuperación entre las mismas se fijó en función de las recomendaciones internacionales del ACSM para el desarrollo de la aptitud física neuromuscular (82,212). En este sentido, parece que la mayoría de individuos responde de forma favorable a 2-3 series

de ejercicios de fuerza por grupo muscular, si bien una única serie puede reportar ya beneficios en individuos no acostumbrados a este tipo de trabajo. Por otro lado, se han sugerido recuperaciones de 2-3 min como las más efectivas para obtener incrementos en la fuerza y la hipertrofia en un programa de acondicionamiento muscular general (212).

Los ejercicios seleccionados para el entrenamiento de la fuerza fueron el *press banca* y la media sentadilla, ambos con pesos libres, por ser los dos ejercicios que tradicionalmente se han considerado más completos para el desarrollo de la fuerza en los miembros superior e inferior, respectivamente (340). A este respecto, el orden de ejecución de estos ejercicios se fue alternando a lo largo de las sesiones y de los microciclos para minimizar los efectos que la fatiga previa del entrenamiento de resistencia pudiese producir sobre el desarrollo de la fuerza en los miembros superior e inferior, en base a las conclusiones aportadas por Simão et al. (2012).

Los participantes de ambos grupos experimentales pudieron hidratarse *ad libitum* a lo largo de todas las sesiones de entrenamiento mediante agua (Aquabona, Begano S.L., La Coruña, España), en las sesiones 1 y 3, o bebidas isotónicas (Aquarius, Begano S.L., La Coruña, España), en la sesión 2, proporcionadas por el equipo de investigación. A pesar de que la hidratación fue *ad libitum*, la cantidad total de la ingesta de líquido estuvo controlada a lo largo de las sesiones (i.e., 250-500 ml de agua y 330 ml de bebida isotónica). En este sentido, se ha sugerido que la disponibilidad de sustrato energético es determinante para un rendimiento óptimo (422). Podría pensarse que la aportación exógena de glucógeno (e.g., bebida isotónica) sería ergogénica para los participantes del grupo ETRAD, ya que se sabe que el ejercicio de intensidad moderada sostenido en el tiempo utiliza la vía bioenergética aeróbica, consumiendo fundamentalmente glucógeno y grasas (426,427). La intensidad desarrollada por los participantes del grupo ETRAD, en la sesión 2 de cada microciclo, fue moderada (i.e., 75% de la VAM), aunque inferior al UAn, con un volumen acumulado cercano a los 30 min. Teniendo en cuenta la duración y la intensidad del ejercicio desarrollado por este grupo, así como la evidencia científica al respecto, todo indica que la carga de entrenamiento no fue suficiente para producir una depleción determinante en los depósitos de glucógeno (422,427). Por su parte, el entrenamiento llevado a cabo por el grupo EPOL en la segunda sesión de cada microciclo, estuvo compuesto por caminata y entrenamiento intermitente mediante *sprints*. Desde una perspectiva bioenergética, la

caminata utiliza fundamentalmente los depósitos de grasa como sustrato energético, aunque el glucógeno por vía aeróbica también cobra protagonismo cuando la intensidad de la misma incrementa (426,427). Por otro lado, el entrenamiento intermitente mediante *sprints* podría llevarse a cabo, durante las primeras fases, a expensas de la vía de los fosfágenos y glucolítica anaeróbica (426,427), si bien a lo largo de las repeticiones iría cobrando un mayor protagonismo el componente aeróbico, debido a la densidad de la carga (i.e., trabajo:recuperación = 1:1) y a la prolongación del ejercicio en el tiempo. Por todas estas razones, creemos que la aportación exógena de glucógeno no fue un factor determinante en el rendimiento obtenido por uno u otro grupo durante las evaluaciones postintervención, ya que solamente se aportó en una sesión concreta de cada microciclo y en la misma cantidad a todos los individuos. Además, una de las limitaciones en nuestro estudio fue el no controlar la nutrición durante todo del desarrollo de la investigación, ya que también se ha considerado un factor determinante del rendimiento (428).

Por último, a lo largo de todas las sesiones de entrenamiento, se utilizaron la OMNI-SCALE de Robertson et al. (2003), la escala de Borg (1982) para la evaluación de los RPE y la Escala de Sensaciones de Hardy y Rejeski (1989), ya que se ha sugerido en la literatura que estas escalas son una herramienta útil y eficaz para comprobar que se está llevando a cabo el ejercicio a la intensidad deseada, tanto en el entrenamiento de la resistencia como en el de la fuerza (82).

3.6.1.6. Equiparación de la carga externa de entrenamiento entre los grupos EPOL y ETRAD

Para que el trabajo concurrente de resistencia y fuerza fuese similar y comparable en los grupos EPOL y ETRAD, se llevó a cabo una equiparación de la carga externa de entrenamiento para cada una de las capacidades.

El trabajo de resistencia se equiparó entre ambos grupos siguiendo la ecuación propuesta por Tuimil et al. (2011), conformada por los factores de intensidad (i.e., % de la VAM) y volumen (i.e., duración del entrenamiento en min). En esta ecuación, se multiplica la intensidad por el volumen, ya conocidos, y se equipara al producto de la intensidad deseada por la incógnita y del volumen. En este sentido, para determinar el

volumen o duración de las diferentes intensidades de carrera continua del grupo ETRAD, se tuvieron en consideración la intensidad deseada de carrera del grupo ETRAD, el tiempo de caminata y el tiempo efectivo del trabajo intermitente mediante *sprints* del grupo EPOL (i.e., sin contabilizar la recuperación), así como sus correspondientes intensidades (Tabla 16).

Por otra parte, la carga externa del trabajo de fuerza se equiparó entre ambos grupos experimentales tomando como referencia la fórmula propuesta por Ahtiainen et al. (2005). Para tal fin, se multiplicó el volumen total (i.e., número de series \times número de repeticiones) por la intensidad (i.e., repeticiones máximas) y se calculó la media ponderada para obtener un número promedio similar de RM en cada una de las sesiones de entrenamiento de los grupos a lo largo del período de intervención. Así, la diferencia registrada en el número de RM entre uno y otro grupo siempre fue menor de 1 repetición (Tabla 17).

3.6.1.7. Cuantificación de la carga interna del entrenamiento

Además de equiparar la carga externa del entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza para ambos grupos experimentales, también se calculó la carga interna que supuso para cada uno de los grupos. Para tal fin, se utilizó el método de los TRIMPS propuesto por Foster et al. (2001) que integra en un mismo parámetro la duración y la intensidad de la sesión, representada esta última por la percepción subjetiva del esfuerzo evaluada mediante la escala de Borg. Una de las posibles limitaciones a la hora de realizar la cuantificación de la carga interna es el hecho de no cuantificarla mediante alguno de los métodos de TRIMPS que incluyen la FC para la monitorización de la intensidad, puesto que ésta es un parámetro más objetivo que los RPE. En este sentido, por cuestiones organizativas ha sido imposible disponer de monitores de frecuencia cardiaca para todos los participantes de los grupos experimentales ($n = 21$) durante las 8 semanas que constituyeron el período de entrenamiento. No obstante, cabe resaltar que la literatura ha considerado los RPE como una herramienta válida y útil para la monitorización de la intensidad de diferentes tipos de ejercicio (301–303). Para el cálculo de los TRIMPS totales, se calculó el sumatorio de los TRIMPS obtenidos en cada una de las partes de la sesión (i.e., resistencia y fuerza). A pesar de que se podrían haber calculado directamente los TRIMPS totales a partir de la duración total de la

sesión y los RPE globales, se prefirió esta opción para lograr una cuantificación de la carga interna más precisa.

Por otro lado, otros autores (304) han argumentado que el ejercicio físico acompañado por las valoraciones de los RPE puede conllevar diferentes significados afectivos entre los sujetos y han considerado importante añadir otras medidas subjetivas sobre las sensaciones que experimenta un individuo al realizar ejercicio. Por esta razón se decidió incluir también la Escala de Sensaciones en las valoraciones subjetivas de cada una de las sesiones de entrenamiento para ambas capacidades (i.e., resistencia y fuerza).

3.6.2. Discusión de los resultados

3.6.2.1. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables de aptitud física cardiorrespiratoria

3.6.2.1.1. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre el rendimiento en la carrera

Los programas de entrenamiento diseñados fueron significativamente efectivos de cara a la mejora de los valores de las variables relacionadas con el rendimiento en la carrera. Tanto el grupo ETRAD como el grupo EPOL incrementaron de forma significativa la VAM (4,35% y 4,37%; $p = 0,001$ y $p = 0,003$, respectivamente), el tUMTT (5,89% y 5,66%; $p = 0,000$ y $p = 0,002$, respectivamente) y el VO_{2max} estimado (4,35% y 4,34%; $p = 0,001$ y $p = 0,003$, respectivamente) en casi 1 MET (i.e., $3,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) tras el período de entrenamiento, aunque no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos. Por su parte, los valores de la VAM, del tUMTT y del VO_{2max} estimado alcanzados por el grupo CON permanecieron estables tras el período de intervención (incremento del 0,31%, 0,07% y 0,31%, respectivamente; $p > 0,05$ para todas las comparaciones) y no difirieron significativamente de los valores obtenidos por los grupos experimentales ETRAD y EPOL ($p > 0,05$ para todas las comparaciones). No obstante, el porcentaje de mejora en el tUMTT fue

significativamente mayor en el grupo ETRAD en comparación con el grupo CON (5,89% vs. 0,07%, $p = 0,039$).

Por otra parte, los test del UMTT realizados durante las evaluaciones pre y postintervención se consideraron máximos, ya que se cumplieron, como mínimo, uno de los criterios asociados a la extenuación (i.e., RPE de Borg >8 y/o $FC_{max} >95\%$ de la FC_{max} teórica calculada según Tanaka et al. (2001)).

Previamente, la evidencia científica ha sugerido que, con la práctica de ejercicio, se pueden llegar a incrementar los niveles de VO_{2max} hasta un 20-30% en personas sedentarias, tras dos o tres meses de entrenamiento (112), aunque dicho aumento vendrá condicionado por el nivel inicial de aptitud física del sujeto así como por sus características individuales, lo cual determinará el volumen, la intensidad y la frecuencia de ejercicio mínimo necesario para producir mejoras (69,82). En este sentido, parece que, a pesar de que una frecuencia de ejercicio de 2 días semanales puede producir mejoras en individuos poco entrenados, cuando el VO_{2max} supera los $50 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ son necesarias frecuencias de, como mínimo, 3 días por semana (244). Prueba de ello son los resultados obtenidos por Izquierdo et al. (2005) quienes concluyeron que el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia de baja frecuencia (i.e., 2 días/semana), llevado a cabo con individuos desentrenados, es suficiente para producir mejoras a corto plazo (i.e., <8 semanas) en ambas capacidades que son asimilables a las logradas trabajando cada una de las mismas de forma individual (74).

Los participantes de nuestro estudio, a pesar de no ser deportistas, podrían considerarse individuos moderadamente activos y con un buen nivel de aptitud física y estado de salud al inicio del estudio, tal y como se puede deducir de los valores obtenidos en las evaluaciones preintervención (e.g., el VO_{2max} estimado de los participantes rondó los $54\text{-}56 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Nuestros resultados parecen concordar con Wenger y Bell (1986), ya que la frecuencia semanal de entrenamiento de 3 días fue suficiente para producir mejoras significativas en el VO_{2max} de los participantes de los grupos experimentales. Cabe destacar en este punto que, a pesar de que el aumento del VO_{2max} estimado en los grupos ETRAD y EPOL cercano al 4% pueda parecer pequeño, la mejora del VO_{2max} en 1 MET se traduce en un incremento de la esperanza de vida de entre un 12% y un 20% (94,95).

Una de las actividades que ha sido tradicionalmente recomendada por organismos internacionales como el ACSM de cara a la mejora de la aptitud física, y asequible para la gran mayoría de la población, es la caminata (82). Son muchos los estudios que refrendan y apoyan la prescripción de AF mediante la caminata a diferentes intensidades. Las razones son varias. Caminar es una actividad rítmica, dinámica y aeróbica que implica a los grandes grupos musculares y que confiere múltiples beneficios con mínimos efectos adversos, siendo un medio efectivo para la mejora de la aptitud física cardiorrespiratoria y neuromuscular de miembro inferior y tronco, ayudando a controlar el peso corporal y a preservar la higiene postural (225,429,430). En este sentido, se ha sugerido que la caminata es una actividad eficaz en la prevención y mejora del pronóstico de las ECNT y de sus factores de riesgo asociados (225,429,431).

Por otra parte, la evidencia científica reciente ha demostrado que el entrenamiento fraccionado de alta intensidad y/o mediante *sprints* es tan eficaz como el entrenamiento continuo tradicional de resistencia (258,291,390,391), o incluso más (15,273,285,424,425), de cara a la mejora de la aptitud física cardiorrespiratoria y de los factores de riesgo para contraer ECNT. Una de las razones por las cuales se ha argumentado la mayor eficacia del entrenamiento interválico de alta intensidad es que permite permanecer más tiempo con un consumo máximo de oxígeno (394), y por tanto en una zona cardíaca óptima (395), que un entrenamiento continuo a intensidad submáxima. Prueba de ello es que incluso en atletas de alto nivel (cuyo margen de mejora es significativamente menor que el que puede experimentar un individuo sedentario o con un nivel bajo de aptitud física) la realización de intervalos/repeticiones o series de intervalos/repeticiones a intensidades cercanas o por encima del VO_{2max} , alternadas con recuperaciones activas o pasivas, puede mejorar el rendimiento hasta un 2-4% en un período corto de tiempo (e.g., 6-8 sesiones a lo largo de 2-4 semanas) (64). En este sentido, se ha sugerido en la literatura que, para obtener mejoras, es necesario llevar a cabo este tipo de entrenamiento durante un período de 2 a 8 semanas y con una frecuencia semanal de 2-3 sesiones (424), aunque una única sesión semanal de entrenamiento interválico de alta intensidad también puede ser efectiva en la reducción del riesgo cardiovascular (261).

Acorde con las conclusiones derivadas de estos estudios, nuestros resultados han mostrado que el grupo EPOL experimentó mejoras significativas similares al grupo ETRAD en las variables de aptitud física cardiorrespiratoria, si bien el entrenamiento mediante *sprints* sólo se llevó a cabo una vez a la semana. Esto sugiere que un entrenamiento polarizado de la resistencia (e.g., tres sesiones semanales de caminata incluyendo una única sesión de entrenamiento intermitente mediante *sprints*) tiene efectos beneficiosos sobre la salud cardiorrespiratoria que son comparables al entrenamiento de resistencia continuo de intensidad moderada (e.g., tres sesiones semanales de carrera continua entre el 65% y el 75% de la VAM). El hecho de que una única sesión de entrenamiento intermitente mediante *sprints* haya sido suficiente para producir mejoras significativas en el grupo EPOL puede ser debido a la elevada intensidad a la que éste fue realizado (i.e., 120% de la VAM), al volumen acumulado durante la caminata (i.e., entre 35 y 65 min por sesión) y a la sinergia con el trabajo concurrente de fuerza (también con una distribución polarizada de la intensidad). A este respecto, está claramente constatada en la literatura la mejora de la aptitud física cardiorrespiratoria con el entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza, en muchos casos equiparable al entrenamiento de resistencia aislado, sin existir efectos de interferencia entre ambas capacidades, tanto en deportistas de élite (71,357–362,365) como en individuos sedentarios sanos, con patologías o con factores de riesgo asociados a ECNT (72–75,216,259,370,371,373,375–377).

Los resultados obtenidos en nuestra investigación invitan a argumentar que la prescripción de un entrenamiento de resistencia con una distribución polarizada de la intensidad puede ser tan recomendable como un entrenamiento continuo de intensidad moderada. A este respecto, y teniendo en mente la posible sinergia con el trabajo concurrente de fuerza, consideramos importante el hecho de que el entrenamiento polarizado de la resistencia podría ser llevado a cabo por un amplio colectivo de la población, ya que la caminata es una actividad natural del ser humano que casi todos los individuos pueden realizar (430), siendo menos traumática que la carrera, la cual podría provocar una mayor incidencia de lesiones y tener ciertas contraindicaciones para determinados colectivos (e.g., obesos) (253). Por otro lado, las características propias del entrenamiento interválico de alta intensidad (i.e., duración corta de los esfuerzos alternadas con períodos de recuperación) hace que sea aplicable a una gran parte de la población (285), tanto en individuos sanos sedentarios o activos (15,255,285,432),

como en poblaciones con ciertas patologías o factores de riesgo asociados (15,188,192,425), lo cual refrenda su prescripción. Este tipo de entrenamiento no tiene por qué llevarse a cabo de forma exclusiva mediante la carrera, sino que también varias investigaciones han demostrado efectos beneficiosos al realizarlo en cicloergómetro (181,192,390,432,433), por ejemplo, lo cual amplía las posibilidades de prescripción a un mayor sector de la población.

Una de las posibles limitaciones de nuestro estudio es la no determinación del VO_{2max} de forma directa, mediante el análisis del intercambio gaseoso. En este sentido, existe otro parámetro estrechamente unido al VO_{2max} y circunscrito al ámbito de la carrera de resistencia que es la VAM, definida como “la velocidad mínima necesaria para alcanzar el VO_{2max} ” (318). Además de su gran aplicabilidad en la prescripción del entrenamiento (330–332), se ha constatado en la literatura que el VO_{2max} se puede estimar a partir de la VAM mediante la fórmula propuesta por Léger y Mercier (1983), mostrando una correlación elevada con los valores determinados directamente en laboratorio y siendo, por tanto, digno de consideración. Otro parámetro que merece la pena evaluar y que está vinculado a la VAM es el tUMTT. De hecho, Boullosa y Tuimil demostraron que el tUMTT tiene una mayor correlación con el rendimiento en una carrera de 1.000 m que la propia VAM, argumentando que el tUMTT aúna, de forma simultánea, la potencia aeróbica y la capacidad anaeróbica (324). Basándose en la definición de la VAM aportada por Billat et al. (1994), podría concluirse entonces que el incremento de la VAM lleva implícito un incremento del VO_{2max} y del tUMTT, pudiendo ser considerado cada uno de estos parámetros variables que permiten evaluar la aptitud física cardiorrespiratoria.

Por otra parte, en cuanto a los criterios asociados a la extenuación al final del UMTT, todos los participantes cumplieron alguno de los criterios necesarios para considerar la prueba máxima, tanto en la evaluación preintervención como en la postintervención, sin existir diferencias significativas entre los grupos.

3.6.2.1.2. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la VFC

La evidencia científica ha demostrado claramente la validez y utilidad de la evaluación de la VFC como herramienta para el control de la adaptación al entrenamiento en

deportistas (99,178–180,289) y de la salud en población general e, incluso, en colectivos que padecen diversas ECNT, proporcionando información de cara a la determinación del diagnóstico, pronóstico y estrategias de tratamiento (72,100,175,182,184,191,195,259,282).

En nuestra investigación, tras el período de entrenamiento de 8 semanas los cambios más destacables en los parámetros cardíacos se circunscribieron a los grupos ETRAD y CON. La FC en reposo disminuyó significativamente en el grupo ETRAD durante el test ortoestático, tanto en la posición de decúbito supino (-12,88%; $p = 0,004$) como en la de bipedestación estática (-12,54%; $p = 0,029$), mientras que la media entre los intervalos R-R incrementó en la posición de decúbito supino (12,14%; $p = 0,009$). El grupo CON, por su parte, incrementó significativamente la FC en reposo sólo en la posición de bipedestación estática (13,01%; $p = 0,048$). Además, el Δ de la FC en reposo fue significativamente mejor en el grupo ETRAD en comparación con el CON, tanto en la posición de decúbito supino (-12,88% vs. 8,18%, respectivamente, $p = 0,008$) como en la de bipedestación estática (-12,54% vs. 13,01%, respectivamente, $p = 0,016$). De modo similar, el incremento en la media entre intervalos R-R fue significativamente mayor en el grupo ETRAD respecto al CON en ambas posiciones (decúbito supino: 12,14% vs. -5,05%, respectivamente, $p = 0,019$; bipedestación estática: 12,23% vs. -9,52%, respectivamente, $p = 0,029$).

A la vista de estos resultados, parece que el entrenamiento llevado a cabo por el grupo experimental ETRAD fue más efectivo que el desarrollado por el grupo EPOL de cara a la modulación del SNA a favor de un mayor influjo parasimpático. De forma muy general, se podría afirmar que los niveles moderados o altos de ejercicio se relacionan directamente con valores más elevados de VFC en reposo y, por tanto, con un predominio de la actividad del SNP respecto al SNS (99,176,183). En este sentido, estudios previos (176,180,282,434) han demostrado que el entrenamiento de resistencia produce a largo plazo una bradicardia en reposo, aunque recientemente se ha sugerido que dicha bradicardia puede venir determinada por una reducción del ritmo cardíaco intrínseca al miocardio (434), ya que algunos estudios han demostrado una bradicardia en reposo sin cambios concomitantes en la VFC tras un período de entrenamiento aeróbico de 16 semanas de duración (435). Nuestros resultados concuerdan con los obtenidos recientemente por Astorino et al. (2012), ya que estos autores tampoco

hallaron un descenso significativo de la FC en reposo tras seguir un programa de entrenamiento interválico de alta intensidad (e.g., Tests de Wingate repetidos) durante 6 semanas. En esta misma línea, Gormley et al. (2008) no encontraron disminuciones significativas de la FC reposo tras realizar un entrenamiento de carrera de 6 semanas a diferentes intensidades (e.g., entre el 50% y el 95% VO_{2R}) (436). Currie et al. (2013), en un interesante estudio llevado a cabo con cardiópatas, concluyeron que ni un programa de entrenamiento de resistencia de intensidad moderada, ni un entrenamiento interválico de alta intensidad desarrollados durante 12 semanas en cicloergómetro, con una frecuencia semanal de 2 días, son suficientes para producir cambios en la FC de recuperación tras un esfuerzo o en diferentes parámetros de la VFC. De modo similar, y también en una investigación con cardiópatas, Koufaki et al. (2014) no hallaron cambios en diferentes parámetros de la VFC tras llevar a cabo un entrenamiento aeróbico continuo o interválico de alta intensidad, ambos en cicloergómetro.

Por la contra, otros estudios han sugerido que el entrenamiento aeróbico, de volumen moderado (e.g., 30 min) o de alto volumen (e.g., 60 min), desarrollado a una intensidad del 70-80% FC_{max} durante 8 semanas, 6 sesiones por semana, es efectivo en la disminución de la FC en reposo, del componente espectral LF y de la proporción LF/HF, mientras que incrementa el componente HF, lo cual indica una mayor influencia vagal (282). Quizá en nuestra investigación el grupo experimental ETRAD no mostró cambios significativos en la mayoría de los componentes de la VFC del dominio tiempo ni del dominio frecuencia, tras el período de entrenamiento, debido a que la frecuencia de entrenamiento fue la mitad (i.e., 3 días por semana) que la desarrollada en el estudio de Tulppo et al. (2003). Más recientemente, se ha sugerido que el entrenamiento interválico de alta intensidad reduce diversos marcadores de actividad simpática (e.g., norepinefrina) (262) y disminuye la FC durante la recuperación (437), lo cual está relacionado con un incremento de la actividad vagal, si bien la duración de los intervalos/repeticiones y la frecuencia durante el período de entrenamiento fue diferente a la propuesta en nuestra investigación (e.g., repeticiones de 1-4 min al 85-95% FC_{max}/VO_{2max} , con recuperaciones activas o pasivas) (438). No obstante, en un estudio reciente en el que se llevó a cabo un entrenamiento más similar al de nuestra investigación (e.g., 20 min en cicloergómetro alternando 8 s *sprint* con 12 s de recuperación), aunque con mayor duración del programa de entrenamiento (i.e., 12 semanas), se demostró la efectividad de este tipo de trabajo de cara a la reducción de la

FC en reposo y al incremento de los componentes del dominio frecuencia LF y HF, así como de la media entre intervalos R-R, la RMSSD y el %pNN50 (271). A este respecto, y teniendo en cuenta que la frecuencia semanal del trabajo intermitente mediante *sprints* que se realizó en nuestra investigación fue mucho menor que el llevado a cabo en el estudio de Heydari et al. (2013) (i.e., 1 vs. 3 días por semana, respectivamente), una mayor frecuencia de entrenamiento intermitente semanal o un programa de entrenamiento más largo habrían podido reportar diferencias significativas similares a las del estudio de estos autores. De hecho, a pesar de que la mayoría de estudios transversales han demostrado que los individuos entrenados en resistencia tienen una mayor VFC que sus mismas cohortes sedentarias, a largo plazo, estas mejoras en la VFC pueden estar afectadas por la duración y frecuencia del programa de entrenamiento, así como por la intensidad y el volumen del mismo, sugiriendo que los programas de mayor duración, frecuencia y volumen, junto con la alta intensidad, pueden ser claves en la mejora de la VFC (99,180).

Además de las variaciones en la FC en reposo y en la media de intervalos R-R halladas en nuestro estudio, se detectaron diferencias estadísticamente significativas para diversos componentes de los dominios tiempo y frecuencia en el Δ entre las fases de decúbito supino y de bipedestación estática ($p < 0,05$). En general, estas diferencias vinieron marcadas, en los tres grupos, por una mayor FC en reposo en la posición de bipedestación y una mayor proporción LF/HF, acompañado por menores valores en la media de los intervalos R-R, la RMSSD y el componente espectral HF, en comparación con la posición de decúbito supino, sugiriendo un mayor influjo simpático durante la fase de bipedestación del test. En este sentido, nuestros resultados son acordes con la evidencia científica, ya que se ha sugerido que la posición en el momento de la evaluación de la VFC es determinante. A este respecto, se ha constatado que la VFC es mayor en posición de decúbito supino en comparación con una posición más erguida o de bipedestación. La explicación viene dada porque al cambiar de una posición de decúbito supino a una posición erguida, la sangre desciende rápidamente a las extremidades inferiores como consecuencia de la fuerza de la gravedad, provocando una disminución de la PA. Los barorreceptores situados en las paredes de la arteria carótida detectan el cambio en la presión y producen una taquicardia como respuesta refleja, incrementando así la VFC en la posición erguida o en bipedestación (99,182,197).

3.6.2.1.3. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la PA

Solamente el grupo ETRAD experimentó una reducción significativa en la PAS tras el período de entrenamiento de 8 semanas (-5,43%, $p = 0,046$), lo cual supuso una reducción media de, aproximadamente, 7 mm Hg. Por su parte, el grupo EPOL disminuyó la PAS de forma no significativa en menor medida (-1,53%), en casi 2 mm Hg. Teniendo en cuenta los niveles iniciales de la PA de ambos grupos, y atendiendo a la clasificación de los valores de PA realizada por la Sociedad Europea de Hipertensión y la Sociedad Europea de Cardiología en su reciente pronunciamiento de 2013, los valores medios de PAS en el grupo ETRAD durante la evaluación preintervención (i.e., $130,54 \pm 11,61$ mm Hg) podrían clasificarse como PA “normal-alta”, mientras que los del grupo EPOL (i.e., $123,90 \pm 10,13$) se clasificarían como PA “normal”. En este sentido, la categoría de la PA se define como el nivel más elevado de PA, ya sea sistólica o diastólica (101). La evidencia científica ha sugerido, a este respecto, que la reducción en los valores de PA está condicionada por los niveles iniciales (200). El hecho de que los valores de PA del grupo ETRAD fuesen mayores, aunque no de forma significativa, que los del grupo EPOL al inicio del estudio, pudo producir el mayor descenso experimentado en el grupo ETRAD, demostrando la efectividad del programa de entrenamiento. No obstante, cabe destacar que en la literatura no se ha demostrado claramente una mayor efectividad del ejercicio desarrollado a intensidades elevadas, respecto al desarrollado a intensidades moderadas o bajas, en cuanto a la reducción de los niveles de PA se refiere (200,283). A pesar de que las disminuciones experimentadas por el grupo EPOL tras el período de entrenamiento no fueron significativas, son similares a las calificadas como beneficiosas y saludables (e.g., 3 mm Hg) en estudios previos con individuos normotensos (200,201), alcanzando niveles postintervención similares a los del grupo ETRAD. En este sentido, se ha argumentado que las reducciones en los valores de PA, por pequeñas que sean, son importantes para la reducción del riesgo cardiovascular y de la mortalidad asociada (198,199).

Por otro lado, la PAD disminuyó, de manera no significativa, en los grupos EPOL (-4,8%; 4 mm Hg) y ETRAD (-2,11%; casi 2 mm Hg). En este caso, los valores iniciales durante la evaluación preintervención revelaron que los niveles presentados tanto por el grupo ETRAD (i.e., $82,18 \pm 12,48$ mm Hg) como por el grupo EPOL ($83,40 \pm 8,98$ mm Hg), se clasificaron como PA “normal”, según la Sociedad Europea de Hipertensión y la

Sociedad Europea de Cardiología (2013). Nuevamente, y de modo similar a lo sucedido con la PAS, el descenso experimentado en los niveles de la PAD por los grupos EPOL y ETRAD, de 4 y 2 mm Hg, respectivamente, están en concordancia con los descritos en la literatura como beneficiosos para individuos normotensos (e.g., 2,4 mm Hg) (200,201), con la consecuente reducción del riesgo cardiovascular (198,199), a pesar de que los participantes de nuestra muestra eran, ya al inicio del estudio, individuos jóvenes, sanos y físicamente activos.

En lo relativo al grupo CON, éste también experimentó descensos no significativos en la PAS (-4,4%; casi 6 mm Hg) y la PAD (-4,28%; aproximadamente 3 mm Hg). Estas reducciones pueden considerarse beneficiosas para la salud (200,201), sobre todo si se tiene en cuenta que los niveles iniciales PAS de este grupo en la evaluación preintervención se clasificaron como PA “normal-alta”, según la Sociedad Europea de Hipertensión y la Sociedad Europea de Cardiología (2013). Los cambios registrados en este grupo pudieron tener un origen multifactorial pero, posiblemente, fueron debidos en mayor medida al incremento o variación en los niveles de AF por las demandas propias de la titulación. En este sentido, podría considerarse como una limitación de nuestro estudio el hecho de no haber registrado diariamente las actividades físicas desarrolladas por cada participante.

Nuestros resultados muestran los beneficios de ambos programas de entrenamiento, sugiriendo que el entrenamiento concurrente es efectivo en la reducción y control de la PA y, consecuentemente, del riesgo cardiovascular, si bien la muestra de nuestro estudio no presentó factores de riesgo asociados a las ECNT al inicio de la investigación y gozaba, tal y como muestran los valores de las evaluaciones preintervención, de una aptitud física saludable. Estos resultados están avalados por las recientes recomendaciones de AF, que instan a incorporar el entrenamiento de fuerza 2-3 sesiones a la semana, además del entrenamiento de la resistencia, como medio para la prevención y tratamiento de la HTA (101,439).

3.6.2.2. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables de aptitud física neuromuscular

3.6.2.2.1. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre 1 repetición máxima estimada en *press banca* y media sentadilla

Los grupos experimentales EPOL y ETRAD incrementaron significativamente sus niveles de fuerza en el miembro superior, tras el período de entrenamiento concurrente de 8 semanas, en un 24,15% y un 17,1%, respectivamente ($p = 0,000$ para ambos), sin existir diferencias significativas entre los grupos. Sin embargo, el porcentaje de mejora de los grupos EPOL y ETRAD en la 1 RM estimada en el ejercicio de *press banca*, tras el período de intervención, fue significativamente mayor que el experimentado por el grupo CON (EPOL vs. CON: 24,15% vs. 3,5%; $p = 0,000$; ETRAD vs. CON: 17,1% vs. 3,5%; $p = 0,000$). Los grupos EPOL y ETRAD también experimentaron mejoras significativas, tras el período de intervención, en los niveles de fuerza del miembro inferior, correspondiendo estos incrementos al 47,52% y al 40,36%, respectivamente ($p = 0,000$ para ambos). Además, en los valores de evaluación postintervención, los niveles de fuerza del miembro inferior del grupo EPOL y del grupo ETRAD fueron significativamente superiores a los del grupo CON (49,64%, $p = 0,002$ y 40,77%, $p = 0,008$, respectivamente), así como el porcentaje de mejora en la 1 RM estimada mediante el ejercicio de media sentadilla (EPOL vs. CON: 47,52% vs. 6,7%, $p = 0,000$; ETRAD vs. CON: 40,36% vs. 6,7%, $p = 0,000$).

Nuestros resultados coinciden con investigaciones previas en el tema, a pesar de que, para nuestro conocimiento, ningún estudio hasta la fecha ha comparado los efectos de dos programas de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza con una distribución polarizada de las cargas o con una distribución tradicional en ambas capacidades. Existe evidencia científica que claramente demuestra los efectos beneficiosos del entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza sobre el rendimiento, haciendo mejorar ambas capacidades, como mínimo, en igual medida que el entrenamiento aislado de cada una de ellas (71,357–362,365). No obstante, varios autores han argumentado que el desarrollo concurrente de la resistencia y de la fuerza puede producir efectos de interferencia, suprimiendo algunas de las adaptaciones

específicas del entrenamiento de la fuerza, concretamente aquellas que tienen que ver con el desarrollo de la potencia y de la fuerza explosiva (73,363,364).

Por otra parte, la literatura ha demostrado contundentemente que el entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza produce efectos beneficiosos para la salud que son superiores a los que conlleva el entrenamiento de cada una de las capacidades de forma independiente (73–75,375,377), incluso en poblaciones con diferentes ECNT (72,199,216,259,370,371) o con factores de riesgo asociados (70,145,373).

El hecho de que no se registrasen diferencias significativas entre las mejoras de los grupos experimentales EPOL y ETRAD demuestra la efectividad de ambos programas de entrenamiento en la mejora de la aptitud física neuromuscular. Se ha sugerido, en un reciente estudio de revisión, que los programas de entrenamiento de la fuerza de alta intensidad mejoran más la fuerza muscular del miembro inferior que los de menor intensidad (e.g., baja y moderada), aunque éstos ya reportan beneficios funcionales para la salud. Sin embargo, cuando el volumen entre los programas de entrenamiento se equipara, las diferencias entre las intensidades parecen no ser significativas (267). A este respecto, nuestros resultados sugieren que la alternancia de cargas característica del método polarizado (i.e., alto volumen y baja intensidad – bajo volumen y alta intensidad) es tan eficaz para el desarrollo de la fuerza como el método tradicional (i.e., volumen e intensidad medios) cuando ambos se combinan con entrenamiento de resistencia y se equiparan las cargas externas de ambas capacidades, incluso cuando el entrenamiento de fuerza se desarrolla con una frecuencia semanal de 2 días, en jóvenes sanos y con una buena aptitud física previa. En este sentido, es interesante el trabajo llevado a cabo por Jackson et al. (2007) con ciclistas, en el que investigaron el efecto de dos programas de entrenamiento de fuerza (e.g., bajo volumen y alta intensidad vs. alto volumen y baja intensidad), de 10 semanas de duración, sobre el rendimiento en resistencia. Ambos entrenamientos produjeron mejoras significativas en la fuerza de miembro inferior, aunque el entrenamiento de bajo volumen y alta intensidad mejoró significativamente más los niveles de fuerza en el ejercicio de prensa de piernas. Sin embargo, estos autores no reportaron mejoras en un test incremental en cicloergómetro, ni en el VO_{2max} , ni en la economía de movimiento, ni tampoco en los valores de lactato (440). Por el contrario, en nuestra investigación, demostramos que ambos programas de entrenamiento mejoran de forma significativa no sólo la aptitud física neuromuscular,

sino también la aptitud física cardiorrespiratoria, demostrando la ausencia de efectos de interferencia en el desarrollo de una capacidad sobre la otra. Prueba de ello, es la correlación encontrada para el grupo ETRAD entre el Δ tUMTT y el Δ para la 1 RM estimada en el ejercicio de media sentadilla ($r = 0,68$; $p = 0,022$), sugiriendo que la mejora de la fuerza de miembro inferior se correlaciona con un mayor rendimiento en la carrera.

Hace unos años, Izquierdo et al. (2003) demostraron que un programa de fuerza para los principales grupos musculares, realizado durante 8 semanas con una frecuencia semanal de 2 días (e.g., 3-5 series al 50-70% 1 RM), produce mejoras significativas en el rendimiento en la resistencia (6-11%), en 1 RM en media sentadilla (25%) y en la masa muscular (11-13%) en individuos de mediana edad y mayores. Las mejoras obtenidas en nuestro estudio en los niveles de fuerza de miembro inferior fueron considerablemente superiores en los grupos experimentales EPOL y ETRAD (47,52% y 40,36%, respectivamente), si bien la sinergia con el entrenamiento concurrente de resistencia y el tipo de muestra con el que se llevó a cabo el estudio fueron diferentes, a pesar de que la duración del programa y la frecuencia semanal del entrenamiento de fuerza fue similar, no siendo comparables ambos resultados. Más comparables pueden ser los resultados obtenidos por Otto et al. (2012) en un reciente estudio llevado a cabo con jóvenes con experiencia en el entrenamiento de fuerza. Estos autores demostraron que un programa de entrenamiento de fuerza mediante pesos libres (e.g., 1-4×4-6 RM), de 6 semanas de duración y una frecuencia de 2 sesiones semanales, mejora significativamente los niveles de fuerza en sentadilla (11,95%) (441). Las diferencias sustanciales halladas en el porcentaje de mejora entre nuestro estudio y el desarrollado por Otto et al. (2012), pueden venir explicadas por diversas razones. En nuestro caso, el programa de entrenamiento tuvo una duración superior (i.e., 8 vs. 6 semanas) y se desarrolló de forma concurrente con un entrenamiento de resistencia, el cual sin duda actuó de forma sinérgica permitiendo que las mejoras en la aptitud física neuromuscular fuesen mayores, ya que demostramos que no se produjo ningún efecto de interferencia. Quizá una de las razones por las que Otto et al. (2012) no encontraron diferencias más acusadas puede venir determinada porque la muestra con la que realizaron el estudio tenía una experiencia mínima previa en entrenamiento de fuerza de un año y se sabe que las mejoras en el rendimiento están determinadas por los niveles iniciales de aptitud física (69,82). Por su parte, Alcaraz et al. (2010) compararon dos tipos de entrenamiento

de fuerza de alta intensidad (e.g., en circuito o de forma tradicional), realizados durante 8 semanas y con una frecuencia de 3 sesiones por semana, sobre los niveles de fuerza en las extremidades superiores e inferiores y sobre la composición corporal de individuos jóvenes entrenados, concluyendo que ambos programas de entrenamiento incrementaron significativamente los niveles de 1 RM en *press banca* y en media sentadilla, así como la masa magra, sin haber diferencias entre ellos (442).

Más recientemente, Taipale et al. (2013) estudiaron, en corredores recreativos, los efectos de diferentes programas de fuerza de bajo volumen (e.g., fuerza máxima, fuerza explosiva o combinación de ambas), desarrollados de forma concurrente con un entrenamiento de resistencia de mayor volumen a lo largo de 8 semanas, concluyendo que se producen incrementos significativos en la fuerza (e.g., 1 RM) y la potencia (e.g., altura de un CMJ_{max}) de miembro inferior, así como en la resistencia (e.g., velocidad pico y en el UAn durante un test incremental corriendo), sin haber diferencias significativas entre los programas de entrenamiento (71). Nuevamente, las conclusiones extraídas por Taipale et al. (2013) no hacen más que refrendar los efectos beneficiosos del entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza sobre el rendimiento y la salud, si bien las mejoras en la aptitud física estarán condicionadas por el nivel inicial del individuo y por el diseño del programa de entrenamiento (e.g., volumen, intensidad, distribución de la carga, duración, etc.) (69,82).

3.6.2.2.2. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la capacidad de salto vertical

El grupo experimental ETRAD y el grupo CON sufrieron un descenso significativo del rendimiento en CMJ_{max} (i.e., altura) tras el período de entrenamiento (-7,26%, $p = 0,045$ y -8,3%, $p = 0,018$, respectivamente), mientras que sólo el grupo CON vio mermada su potencia máxima de salto normalizada, de forma significativa, en la evaluación postintervención (-6,21%, $p = 0,013$). La fuerza máxima, respecto al peso corporal, disminuyó significativamente en el grupo EPOL (-9,45%, $p = 0,008$) y fue mayor en los valores postevaluación en el grupo CON respecto al grupo ETRAD (13,06%, $p = 0,027$).

Son varios los estudios que han demostrado que el entrenamiento de fuerza de diferentes volúmenes e intensidades mejora la capacidad de salto vertical (71,441,443,444). En una investigación llevada a cabo por de Villarreal et al. (2011), estos autores demostraron que diferentes programas de entrenamiento de fuerza de miembro inferior (e.g., 3-6 repeticiones de sentadilla profunda al 56-85% de 1 RM; ejercicios de fuerza orientados al desarrollo de la potencia y/o combinados con entrenamiento pliométrico), desarrollados durante 7 semanas, producen mejoras en el rendimiento en CMJ_{max} de entre 7,8% y 13,2%. Similarmente, Jakobsen et al. (2012) evaluaron los efectos de diferentes modalidades de entrenamiento (e.g., entrenamiento de fuerza de miembro inferior con altas cargas, entrenamiento de fútbol, entrenamiento interválico de alta intensidad mediante la carrera, carrera continua), llevadas a cabo durante 12 semanas, sobre el rendimiento mecánico en CMJ_{max} , concluyendo que el entrenamiento de fuerza de miembro inferior con altas cargas (e.g., 3-4×6-10 RM) fue el único que produjo una mejora significativa en los parámetros de rendimiento del CMJ_{max} (e.g., altura de salto, velocidad pico de subida y bajada del cdg, potencia pico y ratio de desarrollo de la fuerza vertical y de la potencia). Por su parte, Otto et al. (2012) demostraron que un programa de entrenamiento de fuerza con pesos libres (e.g., 1-4×4-6 RM), llevado a cabo durante 6 semanas con una frecuencia semanal de 2 días, mejora la altura de salto en un CMJ_{max} (3,82%).

Por otro lado, se ha sugerido que el desarrollo concurrente de la resistencia y de la fuerza puede suprimir algunas adaptaciones físicas del entrenamiento de fuerza (363,364), concretamente el desarrollo de la fuerza explosiva (73). En nuestra investigación, solamente el grupo ETRAD y el grupo CON empeoraron significativamente su rendimiento en el CMJ_{max} (i.e., altura alcanzada), sugiriendo que el entrenamiento concurrente de resistencia realizado por el grupo ETRAD produjo un efecto de interferencia en el mantenimiento de la potencia y fuerza explosiva del miembro inferior. Otros estudios, sin embargo, han mostrado que diferentes programas de fuerza de bajo volumen (e.g., fuerza máxima, fuerza explosiva o combinación de ambas), desarrollados de forma concurrente con un entrenamiento de resistencia de mayor volumen a lo largo de 8 semanas, incrementan significativamente la altura alcanzada en un CMJ_{max} (71). En este sentido, el hecho de que el grupo EPOL no haya disminuido la altura de salto en el CMJ_{max} tras el período de entrenamiento concurrente, revela que la distribución de la intensidad de las cargas polarizada, tanto en la capacidad

de resistencia como en la de fuerza, parece ser óptima para el desarrollo significativo de la aptitud física cardiorrespiratoria y neuromuscular simultáneamente, sin que ello perjudique a la fuerza explosiva de miembro inferior. En otras palabras, parece que el programa de entrenamiento concurrente llevado a cabo por el grupo EPOL no tiene efectos de interferencia en el mantenimiento de la fuerza explosiva, mientras que el realizado por el grupo ETRAD sí los presenta. Además, la ausencia de cambios significativos en el rendimiento en el CMJ_{max} experimentada por el grupo EPOL es acorde a los resultados obtenidos en estudios previos, que no demostraron mejoras significativas en la altura alcanzada en un CMJ_{max} tras seguir un programa de entrenamiento de fuerza isométrica de miembro inferior (445) o un programa de entrenamiento de fuerza de los flexores de cadera (446), a pesar de que ninguno de estos programas se llevó a cabo de manera concurrente con un entrenamiento de resistencia.

En cuanto al grupo CON, además de haber empeorado significativamente la altura del CMJ_{max} tras el período de intervención, también experimentó una disminución significativa en los niveles de potencia pico normalizada para el peso corporal. Una posible explicación puede tener su origen en el cambio en ciertos patrones de AF como requerimientos específicos de la titulación universitaria, si bien se insistió en todo momento a los participantes de este grupo que continuasen sin alterar, en la medida de lo posible, su rutina diaria.

A pesar de que la fuerza máxima respecto al peso corporal disminuyó significativamente en el grupo EPOL, estos cambios parecen no haber afectado negativamente al rendimiento en el CMJ_{max} . Por otro lado, ni el grupo EPOL ni el grupo ETRAD experimentaron cambios significativos en la potencia pico normalizada para el peso corporal.

Varios estudios han demostrado la importancia de tener unos niveles de *stiffness* vertical elevados de cara a la mejora del rendimiento en un CMJ (447–449), argumentando que el *stiffness* tiene un efecto favorable sobre ejercicios que impliquen el CEA (e.g., CMJ) a través de una optimización del almacenamiento de la energía elástica en los músculos y tendones durante la fase excéntrica (i.e., estiramiento) y su posterior restitución durante la fase concéntrica (i.e., acortamiento) (448). Sin embargo, se ha sugerido recientemente que el tamaño muscular (i.e., sección transversal) tiene un efecto más determinante que el *stiffness* vertical sobre la potencia muscular en el miembro inferior

(450). Esta puede ser la razón por la cual el grupo CON experimentó una disminución significativa en la altura alcanzada en el CMJ_{max} , concomitantemente con una reducción en los niveles de potencia muscular en el miembro inferior, ya que sus niveles de *stiffness* vertical no se modificaron de forma significativa. Esto cobra todavía más sentido si se piensa que, durante el período de intervención, la ausencia de un entrenamiento regular de fuerza en el grupo CON pudo suponer la disminución de la sección transversal de los principales grupos musculares del miembro inferior, con el consecuente empeoramiento de la potencia y del rendimiento en el CMJ_{max} . En esta misma línea, podría argumentarse que el grupo ETRAD fue capaz de mantener la potencia de salto a expensas de un mantenimiento o incremento de la sección transversal muscular como resultado del entrenamiento de fuerza.

3.6.2.3. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre las variables antropométricas

Tras el período de entrenamiento concurrente de 8 semanas, el grupo EPOL incrementó significativamente la masa corporal (1,83%, $p = 0,006$) y el IMC (2,31%, $p = 0,003$). Por su parte, el grupo ETRAD experimentó una reducción, aunque no de forma significativa, en el $\Sigma 4$ pliegues cutáneos (-5,51%) que fue superior a la experimentada por el grupo EPOL (-1,75%). Además, el grupo ETRAD mostró una disminución significativa en el perímetro de cintura (-2,93%, $p = 0,008$). En cuanto a los valores del grupo CON, éstos permanecieron estables, a excepción de un ligero incremento no significativo de la masa corporal (1,05%).

Está claramente demostrado que la distribución de la grasa corporal desempeña un papel determinante en lo concerniente a los riesgos asociados con la obesidad y la contracción de otras ECNT y sus respectivos factores de riesgo asociados. Además del exceso de grasa corporal total, la acumulación excesiva de grasa en la región abdominal se considera un factor de riesgo en sí mismo (205). En este sentido, se ha sugerido que las reducciones del perímetro de cintura (104,105,211,418) o del porcentaje graso (103) se relacionan con la mejora del pronóstico de los factores de riesgo cardiovascular o el padecimiento de ECNT.

Ambos grupos experimentales presentaron una reducción no significativa en el $\Sigma 4$ pliegues cutáneos, aunque estos descensos no estuvieron acompañados de una disminución de la masa corporal ni del IMC. Sin embargo, la evidencia científica disponible ha demostrado que la AF regular previene la ganancia de masa corporal y la obesidad mediante la mejora de la composición corporal a través de la reducción de la masa grasa y el mantenimiento o incremento de la masa magra (235,236,264). En este sentido, las recomendaciones internacionales del ACSM defienden la realización de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia como medio para mejorar la composición corporal (82,235). Prueba de ello, son los resultados obtenidos en un reciente estudio realizado por Ho et al. (2012) en el que se demostró que un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 12 semanas, de intensidad moderada (e.g., resistencia: carrera continua al 60% FC_R ; fuerza: 4×10 RM), produce mejoras más grandes en el perfil de riesgo cardiovascular (e.g., masa corporal, composición corporal, nivel de aptitud física cardiorrespiratoria) que cualquiera de los dos tipos de entrenamiento de forma aislada en adultos con sobrepeso y obesos (373). De hecho, se ha argumentado, que tan sólo 10 semanas de entrenamiento de fuerza pueden incrementar la masa magra en 1,4 kg, el gasto energético en reposo en un 7% y reducir la masa grasa en 1,8 kg (236).

Por otra parte, el grupo ETRAD experimentó una reducción significativa en el perímetro de cintura cercana al 3%, mientras que en el grupo EPOL los niveles de esta variable permanecieron prácticamente inalterados. Estos resultados son acordes con trabajos previos que sugirieron que una elevada intensidad de ejercicio es más efectiva de cara a la reducción de la grasa a nivel abdominal, en comparación con una intensidad más baja (264,280). En esta línea, se ha argumentado que la velocidad de carrera (i.e., intensidad) tiene un efecto sobre el perímetro de cintura 4,7 veces más que la distancia recorrida (270). No obstante, es importante considerar que el nivel más elevado para esta variable mostrado por el grupo ETRAD, antes del período de intervención, pudo desembocar en su descenso significativo, si bien los valores postintervención fueron similares a los presentados por el grupo EPOL.

Algunas de las posibles limitaciones de nuestra investigación atañen al método de medición de pliegues cutáneos, aunque estas mediciones siempre fueron llevadas a cabo por el mismo investigador y bajo las mismas condiciones. Otra limitación fue no haber

registrado y cuantificado diariamente las actividades físicas de la vida cotidiana de cada participante, lo cual, junto con el hecho de no controlar la nutrición, puede explicar parte de los resultados que no son atribuibles únicamente a los programas de entrenamiento. No obstante, tanto el grupo EPOL como el grupo ETRAD cumplieron las recomendaciones internacionales de cara a prevenir la ganancia de peso, ya que se ha sugerido que han de acumularse volúmenes semanales de entre 150 y 250 min para lograr beneficios saludables, aunque volúmenes superiores producirán beneficios adicionales (235). Nuestros participantes realizaron 3 sesiones de entrenamiento semanal de, aproximadamente, 120 min de duración cada una, lo cual acumula un total de unos 360 min semanales.

3.6.2.4. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre los marcadores del sistema inmune

Está claramente demostrado en la evidencia científica que el ejercicio regular, de diferente duración e intensidad, tiene efectos beneficiosos sobre el sistema inmunológico, ya que mejora la respuesta inmune e induce efectos antiinflamatorios (96,117,132,137,140,143–152), siendo recomendado como medio terapéutico o preventivo para mitigar los procesos degenerativos asociados a la edad.

En nuestra investigación, observamos una disminución significativa en el grupo EPOL en los niveles de la citocina antiinflamatoria IL-2 (-1,83%; $p = 0,025$) y del marcador proinflamatorio IFN- γ (-2,85%; $p = 0,041$), así como de la subpoblación linfocitaria de la serie B CD19+ (-54,41%; $p = 0,042$), tras el período de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 8 semanas, sin registrarse diferencias significativas para el resto de biomarcadores inmunológicos evaluados (e.g., IL-4, IL-6, IL-10, IL-17, TNF- α , CD4+, CD8+, CD56+) ($p > 0,05$ para todas las comparaciones). A pesar de no ser significativas, el grupo EPOL también experimentó importantes reducciones en los niveles de la citocina proinflamatoria IL-17 (-9,23%), así como un incremento en las subpoblaciones de linfocitos Th CD4+ (5,22%) y T citotóxicos CD8+ (6,04%).

Los grupos ETRAD y CON, por su parte, no experimentaron variaciones significativas en ninguna de las variables ($p > 0,05$ para todas las comparaciones). No obstante, el grupo ETRAD también mostró un descenso, aunque no significativo, en los niveles de la

citocina proinflamatoria IL-17 (-3,38%) y del marcador proinflamatorio IFN- γ (-9,45%), así como de los linfocitos B CD19+ (-20,32%), acompañado de un incremento de los linfocitos T citotóxicos CD8+ (5,57%), pero no de los Th CD4+ (-0,55%). Por otro lado, el grupo CON experimentó una disminución no significativa en los niveles de la citocina proinflamatoria IL-17 (-12,33%) y en los de la subpoblación linfocitaria B CD19+ (-37,8%), con un incremento de los valores de linfocitos Th CD4+ (11,93%) y T citotóxicos CD8+ (3,35%).

Ha de resaltarse en este punto que durante el análisis y procesamiento de las muestras sanguíneas se ha descartado la determinación de las variables en algunos participantes ya que, durante el procedimiento, se apreció una viabilidad muy baja, lo cual podría reportar resultados erróneos. Este hecho afectó directamente a la *n* de cada grupo. De este modo, los grupos EPOL y CON quedaron conformados por 8 individuos, en cuanto a los marcadores pro y antiinflamatorios se refiere. En el caso de las subpoblaciones linfocitarias, la muestra analizada estuvo compuesta por 5 participantes en el grupo EPOL, 8 en el grupo ETRAD y 6 en el grupo CON.

Nuestros resultados concluyen que los programas de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza mejoraron ciertos biomarcadores del sistema inmune, si bien algunos de los efectos producidos podrían disminuir ligeramente la función inmune. Los grupos experimentales ETRAD y EPOL mostraron una reducción, este último de forma significativa, tras el período de entrenamiento en los niveles de IFN- γ (-9,45% y -2,85%, respectivamente), un biomarcador proinflamatorio que estimula la respuesta macrofágica, promueve el desarrollo de las células T y regula las funciones de las células B, entre otras acciones. Este descenso, estuvo acompañado, en ambos casos, por una disminución no significativa de la citocina proinflamatoria IL-17 (EPOL: -9,23%, ETRAD: -3,38%). En este sentido, los niveles elevados de IL-17 se han asociado a diferentes cuadros patológicos como la inflamación del tracto respiratorio, artritis reumatoide, cáncer y esclerosis múltiple, entre otros (451). La reducción en los niveles de IL-17 tiene relación con el biomarcador IFN- γ , ya que se sabe que el IFN- γ inhibe las vías de señalización de las células Th 17, que son las encargadas de secretar IL-17 (124). Estos resultados son acordes a los obtenidos por Golzari et al. (2010) en un reciente trabajo con mujeres que padecían esclerosis múltiple. Estos autores demostraron que un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia, de igual

duración y frecuencia que el propuesto por nosotros (i.e., 8 semanas, 3 días por semana), disminuye los niveles de IFN- γ e IL-17 (164).

Por otro lado, el grupo EPOL experimentó una reducción significativa en los niveles de la citocina antiinflamatoria IL-2 (-1,83%). La IL-2, también denominada factor de crecimiento de las células T, es una clase de factor linfoide con efectos inmunorreguladores que desempeña un papel importante en la biología de las células T, estimulando las respuestas inmunes de las mismas (120,121). En este sentido, se ha sugerido que una deficiencia de IL-2 produce defectos en la regulación de la respuesta inmune, estimulando una excesiva proliferación de linfocitos T autorreactivos, lo cual desemboca en el padecimiento de enfermedades autoinmunes (121). De hecho, se ha demostrado con ratones que la deficiencia de esta interleucina no produce un desarrollo anormal de los linfocitos, sino que los ratones mueren prematuramente como consecuencia de una invasión de los órganos no linfoides por las células T activadas (120).

Atendiendo a los resultados obtenidos en nuestra investigación, se ha sugerido que el hecho de que ambos grupos experimentales hayan sufrido una reducción en los niveles de IFN- γ , IL-2 (sólo en el grupo EPOL) e IL-17 tras el período de intervención, sugiere que los programas de entrenamiento afectaron a las respuestas de las células T CD4+ Th1 y Th17 en mayor medida que a las Th2 (164).

Varios autores han argumentado que el ejercicio de intensidad moderada produce cambios agudos más beneficiosos en el perfil inflamatorio que el de intensidad alta o baja, tanto en individuos sedentarios (452), como en cardiópatas (162). En esta misma línea, Thompson et al. (2010), estudiaron los efectos crónicos de la intensidad del ejercicio sobre diversos biomarcadores inflamatorios. Tras una intervención de 6 meses de ejercicio, demostraron que los niveles de IL-6 descienden rápidamente (i.e., en las primeras semanas) al realizar AF de intensidad moderada, mientras que los niveles de alanina aminotransferasa (ALT), un marcador de daño hepático, renal, cardíaco o muscular, tardan más en descender y requieren de una intensidad de ejercicio más elevada (152). En un interesante estudio de de Gonzalo-Calvo et al. (2012) se demostró que la práctica de ejercicio regular a largo plazo se asocia con niveles más bajos de IL-6, IL-10, IL-1ra y receptor-I de TNF- α en individuos mayores (e.g., 65 años) que realizaron ejercicio regular desde la edad adulta.

Por otro lado, otros autores han destacado la efectividad de la intensidad del ejercicio y del entrenamiento concurrente, realizado de forma regular, sobre los biomarcadores inflamatorios. Balducci et al. (2009) demostraron, en un estudio longitudinal de un año de duración, que la AF aeróbica de alta intensidad o el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia son más efectivos que la AF de intensidad moderada en la reducción de los niveles de PCR, IL-1B, IL-6, IFN- γ y TNF- α , así como en el incremento de las citocinas antiinflamatorias IL-4 e IL-10, sugiriendo que la combinación del entrenamiento de fuerza y de resistencia y el entrenamiento de alta intensidad pueden ser idóneos para prescribir a poblaciones con perfiles inflamatorios adversos. Leggate et al. (2012) argumentaron que la realización de ejercicio de alta intensidad (e.g., 10 \times 4 min al 85% VO_{2pico} o al 89,5% FC_{max} con recuperaciones de 2 min) llevado a cabo durante 2 semanas, con una frecuencia de 3 sesiones semanales, puede ser suficiente para inducir beneficios en el perfil inflamatorio en individuos obesos. A similares conclusiones llegaron Munk et al. (2011), quienes defienden que el ejercicio regular interválico de alta intensidad puede atenuar el estado inflamatorio en pacientes postintervenidos de las arterias coronarias, mientras que Ribeiro et al. (2011) concluyeron lo mismo con pacientes postinfartados que realizaron un programa de AF aeróbica de 3 sesiones semanales. De modo similar, Hopps et al. (2011) argumentaron que, en pacientes con diabetes mellitus tipo 2, el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia tiene un efecto positivo mayor sobre diversos biomarcadores inflamatorios (e.g., PCR, IL-6, IL-1B, TNF- α , IL-4 e IL-10) que la realización de cualquiera de las modalidades de forma aislada (154). También Donges et al. (2013) demostraron recientemente que un entrenamiento concurrente de 12 semanas de duración, con una frecuencia semanal de 3 sesiones, mejora la capacidad aeróbica y la fuerza y reduce los niveles de TNF- α e IL-6 en hombres desentrenados de mediana edad (145).

El hecho de que en nuestra investigación no hayamos detectado diferencias significativas en ninguno de los otros biomarcadores inflamatorios analizados, puede venir determinado por la intensidad, la duración, la frecuencia y el tipo de ejercicio, así como por el momento de la evaluación de los diferentes biomarcadores (119). A este respecto, cabe remarcar que en estudios longitudinales con individuos sedentarios que se someten a semanas o meses de entrenamiento, muchas veces no se producen cambios destacables en los biomarcadores del sistema inmunológico debido a que las extracciones sanguíneas se realizan, como mínimo, 24 h después de la última sesión de

entrenamiento (114). En este sentido, nuestros resultados también se asimilan a las conclusiones extraídas de otros estudios previos que investigaron los efectos crónicos del ejercicio sobre el perfil inflamatorio (141,287,433). Arsenault et al. (2009) no detectaron cambios significativos en los niveles de IL-6, PCR o TNF- α , de mujeres postmenopáusicas obesas con la PA elevada, tras llevar a cabo un entrenamiento aeróbico de intensidad moderada (e.g., al 50% del $VO_{2m\acute{a}x}$) en tapiz rodante y cicloergómetro durante 6 meses, con una frecuencia de 3-4 días semanales. Por su parte, Ratel et al. (2012) estudiaron los efectos de 8 semanas de desentrenamiento, tras un período de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 16 semanas, sobre diversas citocinas proinflamatorias, no detectando diferencias significativas ni después del período de entrenamiento, ni tras el período de desentrenamiento. Más recientemente, Hovanloo et al. (2013) compararon los efectos, sobre diferentes marcadores inflamatorios (e.g., PCR, IL-6 e IL-10), de dos programas de entrenamiento en cicloergómetro de 2 semanas de duración, con una frecuencia semanal de 3 días, llevados a cabo con individuos jóvenes y físicamente activos. Los programas consistieron en la realización de un entrenamiento mediante *sprints* (e.g., 4-6 \times 30 s *sprint*, con recuperación de 4 min) o un entrenamiento continuo (e.g., 90-120 min al 65% del VO_{2max}), no encontrando diferencias significativas entre los grupos ni entre los valores pre y postintervención (433). Además de que nuestros programas de entrenamiento tuvieron una mayor duración que los propuestos por Hovanloo et al. (2013), el entrenamiento de resistencia se llevó a cabo, en ambos grupos experimentales, de forma concurrente con el entrenamiento de fuerza. En el caso del grupo EPOL, el entrenamiento mediante *sprints* sólo se realizó una vez por semana, mientras que en el estudio de Hovanloo et al. (2013) se llevaron a cabo 3 sesiones semanales de entrenamiento intermitente de alta intensidad. Sin embargo, parece que tampoco fueron estímulo suficiente para producir cambios significativos en diferentes biomarcadores del sistema inmune.

Centrándonos ahora en los efectos que los programas de entrenamiento tuvieron sobre las diferentes subpoblaciones linfocitarias, tanto el grupo ETRAD como el grupo EPOL experimentaron un descenso, en el caso del grupo EPOL significativo, de los niveles de linfocitos de la serie B CD19+ (-20,32% y -54,41%, respectivamente), mientras que incrementaron, de forma no significativa, los niveles de linfocitos Th CD4+ en el grupo

EPOL (5,22%) y de los linfocitos T citotóxicos CD8+ en ambos grupos experimentales (EPOL: 6,04%; ETRAD: 5,57%).

Las células B y sus anticuerpos son elementos centrales de la inmunidad humoral que protegen contra gran diversidad de patógenos (125). Los linfocitos CD19+ son células que regulan las respuestas de los linfocitos B a las señales transmembrana. Estudios con ratones, han mostrado que los cambios en los niveles de expresión de CD19+ tienen efectos significativos sobre el desarrollo y funcionamiento de las células B. De hecho, se ha sugerido que la deficiencia de CD19+ puede inhibir la activación y maduración completa de las células B (127), convirtiéndolas en células hiporrespondedoras a los mitógenos (128,129). Por otro lado, los linfocitos T CD4+ actúan como linfocitos Th en el sistema inmune y sus funciones principales son promover la activación de macrófagos para la erradicación de agentes infecciosos (Th1), actuar como factores de crecimiento/diferenciación de las células B e inhibir varias funciones de los macrófagos (Th2) y proteger contra microbios, concretamente bacterias extracelulares y hongos (Th17) (118,122). Por su parte, los linfocitos T citotóxicos CD8+, neutralizan células infectadas por microorganismos intracelulares provocando su apoptosis (118). Una consecuencia importante de una función defectuosa de las células T es el incremento de las infecciones virales. En este sentido, se ha sugerido que el aumento aparente en la susceptibilidad de los deportistas a sufrir infecciones del tracto respiratorio puede ser debido a una disminución de la función de las células T como consecuencia del ejercicio (114). Durante períodos de entrenamiento intenso, los atletas bien entrenados pueden experimentar una disminución de la inmunidad en estado de reposo como consecuencia de los efectos acumulados del ejercicio intenso repetido en el tiempo, con la consecuente elevación de las hormonas del estrés (e.g., cortisol) y de las citocinas antiinflamatorias (e.g., IL-6, IL-10, IL-1ra), provocando una inhibición temporal de la producción de citocinas por las células Th1 con una relativa restricción de su respuesta. Se producen, además, disminuciones en la proporción de linfocitos T CD4+/CD8+, así como una reducción en el número de las células Th1 que producen IFN- γ (114,126,170,172). No obstante, también se ha sugerido que la forma más efectiva para mejorar y potenciar los efectos inmunosupresores del ejercicio sobre la función inmune es el ejercicio regular. Tras una primera exposición a un ejercicio al que no se está habituado, los individuos muestran evidencias de microtraumas. Tras una segunda exposición al mismo estímulo de ejercicio, los marcadores inflamatorios y el daño

muscular se reducen significativamente. Este fenómeno, denominado efecto de repetición, explica el proceso de adaptación de un organismo al estrés producido por el ejercicio (126).

La evidencia científica ha demostrado que el ejercicio regular puede mantener e, incluso, mejorar la función inmune. En este sentido, se ha sugerido que el ejercicio afecta a la función inmune en una relación inversa dosis-respuesta (170). Por debajo de ciertos límites de ejercicio (i.e., intensidad y/o volumen), no se producen cambios patológicos en el sistema inmunológico o, incluso, se estimula su respuesta, mientras que el entrenamiento con cargas muy elevadas y repetidas en el tiempo afecta negativamente a la función inmune (114,126,170,172), disminuyendo el conteo de las diferentes subpoblaciones linfocitarias (170).

Varias investigaciones han estudiado los efectos crónicos del ejercicio sobre los niveles de subpoblaciones linfocitarias. Host et al. (1995) llevaron a cabo una investigación, con individuos sanos, en la que analizaron el efecto de dos programas de entrenamiento con diferente distribución de la carga, realizados durante 10 semanas en 2 bloques de 5 semanas (e.g., 5 semanas de entrenamiento con una frecuencia semanal de 6 días + 5 semanas de entrenamiento con una frecuencia semanal de 3 días, siendo en este caso la duración por sesión el doble, o el mismo entrenamiento pero en orden inverso), sobre el conteo de linfocitos y la concentración de diferentes subpoblaciones linfocitarias (e.g., CD3+, CD4+, CD8+, CD16+, CD19+), sin hallar diferencias significativas entre los programas de entrenamiento. Sin embargo, registró una disminución no significativa en las subpoblaciones linfocitarias tras los dos bloques de entrenamiento de 5 semanas, aunque tras el período de estabilización que siguió a ambos bloques, incrementó el conteo total de linfocitos, y los linfocitos CD3+, CD4+ y CD8+ de forma significativa (453). Los resultados obtenidos por Host et al. (1995) coinciden con los nuestros, aunque en nuestro caso los incrementos en las subpoblaciones de células T (i.e., CD4+ y CD8+) no fueron estadísticamente significativos. El incremento en los niveles de los linfocitos Th CD4+ y T citotóxicos CD8+ experimentados por nuestros participantes sugieren que, tras el período de entrenamiento, se produjo una supercompensación en los niveles de estos linfocitos. En este sentido, el grupo ETRAD llevó a cabo un entrenamiento a una intensidad moderada y mantenida que, según el fenómeno del efecto de repetición referido por Koch (2010), y anteriormente explicado, podría

producir dicha supercompensación. Por otro lado, el grupo EPOL acumuló la mayor parte del volumen de entrenamiento a bajas intensidades, lo cual a lo largo plazo no debería ser motivo para suprimir la función del sistema inmune.

Por otra parte, la disminución en los niveles de las células B, concretamente de los linfocitos CD19+, halladas en nuestro estudio, coinciden con la investigación llevada a cabo por Rykova et al. (2007). Estos autores, desarrollaron un estudio en el que evaluaron el efecto de dos programas de entrenamiento de fuerza de 9 semanas de duración (e.g., fuerza 3 días semanales en máquinas guiadas vs. fuerza 2 días semanales en cicloergómetro) sobre el sistema inmune de hombres sanos, no hallando diferencias significativas en el conteo de los linfocitos T CD4+, CD8+, aunque sí se registró una disminución en el conteo de linfocitos CD19+ tras el período de entrenamiento (172). Sin embargo, nuestros resultados no coinciden en su totalidad con Shore et al. (1999). Estos investigadores llevaron a cabo un interesante estudio, con universitarios sedentarios, para evaluar los efectos de dos programas de entrenamiento de diferente volumen (e.g., entrenamiento de bajo volumen: ejercicio aeróbico al 70-85% FC_{max}, 3 días por semana; entrenamiento de volumen moderado: mismo programa con una frecuencia de 4-5 días por semana), desarrollados a lo largo de 12 semanas, sobre el sistema inmune. Tras el período de entrenamiento, el conteo de linfocitos CD16+ incrementó en un 27% en el grupo de bajo volumen, mientras que los conteos de CD16+ y CD56+ aumentaron en un 21% en el grupo de volumen moderado. Además, en el grupo de bajo volumen disminuyó el conteo de CD3+ y CD4+, sin cambios en la proporción CD4+/CD8+. Por su parte, el grupo de volumen moderado disminuyó el conteo de CD19+. Se concluyó, por tanto, que desde un punto de vista inmunitario, el régimen óptimo de entrenamiento fue el de menor volumen, ya que el volumen moderado indujo una reducción en el conteo de diferentes células B (243). Tampoco los resultados obtenidos por Unal et al. (2005) concuerdan con los nuestros. Estos autores estudiaron la respuesta del sistema inmune al entrenamiento crónico aeróbico (e.g., 30 min de cicloergómetro a una FC 10% <UAN, 3 días por semana) o anaeróbico (e.g., 20 min de cicloergómetro a una FC 10% >UAN, 2 días por semana) llevado a cabo durante 8 semanas por universitarios sedentarios. Tras el período de entrenamiento, se incrementó el conteo total de leucocitos en el grupo aeróbico, mientras que en el anaeróbico el incremento no fue significativo. En el grupo aeróbico se redujeron los niveles de CD3+ y CD4+ e incrementaron los niveles de CD56+, siendo más acusados

estos cambios en el grupo anaeróbico. Sin embargo, los valores de CD8+ y CD19+ no se vieron afectados en ninguno de los grupos (281).

Por su parte, el grupo CON mostró un patrón de comportamiento en las diferentes subpoblaciones linfocitarias similar al del grupo ETRAD, aunque las diferencias no fueron significativas y la magnitud de los cambios fue diferente. A pesar de que se insistió a los participantes del grupo CON en que intentasen modificar lo mínimo posible su rutina de vida, especialmente en temas de AF y nutrición, por las características de la propia titulación es posible que la variación en los niveles de AF a lo largo del período de intervención haya sido la causante de estos resultados.

A la vista de los resultados obtenidos en nuestra investigación, podemos concluir que ambos programas de entrenamiento fueron efectivos, aunque no de forma significativa, para producir una supercompensación en las subpoblaciones linfocitarias de las células T. Sin embargo, desde un punto de vista inmunológico, quizá el programa de entrenamiento del grupo ETRAD sea más recomendable, ya que el descenso en los linfocitos B CD19+ no fue tan acusado como en el grupo EPOL. Esto pudo ser debido a que la alternancia de cargas (i.e., polarización) durante el programa de entrenamiento del grupo EPOL no haya permitido que la función inmune de las células B de los participantes se adaptase al efecto de repetición. A este respecto, quizá se hubiese podido observar también una supercompensación en los niveles de las células B CD19+ si se hubiese realizado otra extracción sanguínea al cabo de una semana, ya que los niveles de los diversos biomarcadores del sistema inmunológico dependen, entre otros factores, del momento de evaluación (119). Por otra parte, en ninguno de los grupos se incrementó de forma significativa el nivel de las células NK. En este sentido, no existen evidencias de que incremente el conteo de estas células en individuos entrenados cuando realizan un programa de ejercicio de forma regular (114).

Un aspecto importante a tener en cuenta es que la distribución fenotípica de las subpoblaciones linfocitarias, así como su capacidad migratoria, no es igual en la sangre que en la linfa aferente o eferente, con lo cual hay que tener cautela a la hora de extraer conclusiones cuando la evaluación de los efectos del ejercicio sobre la recirculación de los linfocitos se realiza únicamente mediante el análisis sanguíneo (168).

Una posible limitación de nuestra investigación es el no haber evaluado los biomarcadores del sistema inmune de forma aguda tras varias sesiones de entrenamiento y tras un período de desentrenamiento, así como el no haber controlado la ingesta de todos los participantes, pero las cuestiones organizativas y económicas no lo permitieron. Asimismo, el tamaño final de la muestra para el análisis de estas variables es pequeño y ha de tenerse cautela a la hora de extrapolar los resultados. Del mismo modo, las comparaciones realizadas con los resultados disponibles en la evidencia científica tienen ciertas limitaciones, ya que el tipo de entrenamiento, la muestra y las variables evaluadas son muy heterogéneas.

3.6.2.5. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la percepción del esfuerzo y las sensaciones

3.6.2.5.1. De los efectos de los programas de entrenamiento sobre la percepción del esfuerzo, las sensaciones y la carga interna a lo largo del período de intervención

A lo largo de los microciclos que compusieron los macrociclos del período de entrenamiento de 8 semanas, las percepciones del esfuerzo y las sensaciones de los participantes, así como la carga interna (i.e., TRIMPS), variaron considerablemente.

En cuanto a las diferencias entre los grupos experimentales EPOL y ETRAD, sólo se hallaron diferencias significativas en el primer microciclo del primer macrociclo, en el cual los RPE fueron significativamente superiores en el grupo ETRAD (17,43%, $p = 0,049$) y las sensaciones significativamente más positivas en el grupo EPOL (43,15%, $p = 0,043$), y en el cuarto microciclo del segundo macrociclo, en el que la carga interna experimentada por el grupo EPOL fue significativamente mayor (9,94%, $p = 0,017$). Las diferencias halladas en el primer microciclo del primer macrociclo pueden ser debidas al tipo de ejercicio desarrollado por cada uno de los grupos. Ha de tenerse en cuenta en este punto que los participantes no llevaban a cabo un programa de entrenamiento regular al inicio del estudio. El tipo de actividad del entrenamiento de resistencia (i.e., caminar *vs.* correr) puede producir diferentes tipos de adaptación cuando todavía no se está habituado. De hecho, se ha sugerido que los programas de

entrenamiento de menor intensidad crean una mayor adherencia (82). Además, la caminata es una actividad natural del ser humano que casi todos los individuos realizan como medio locomotor (454,455), siendo quizá la adaptación a este ejercicio menos dificultosa para los integrantes del grupo EPOL, los cuales sólo realizaron una sesión semanal de entrenamiento intermitente mediante *sprints*. La carga externa de entrenamiento estuvo equiparada a lo largo de todo el período de entrenamiento y reportó valores de carga interna similares en ambos grupos, excepto en el cuarto microciclo del segundo macrociclo.

Por otro lado, las variables perceptivas mostraron diferencias significativas para ambos grupos al comparar los valores de los microciclos del segundo macrociclo respecto a los correspondientes del primer macrociclo. En este sentido, los RPE fueron significativamente mayores en el primer microciclo del segundo macrociclo comparado con el del primer macrociclo, tanto para el grupo EPOL (33,33%, $p = 0,000$) como para el ETRAD (18,81%, $p = 0,005$). A pesar de que la carga externa del tercer microciclo del primer macrociclo fue la misma que la del primer y segundo microciclos del segundo macrociclo y que no hubo diferencias significativas entre los microciclos 1 y 3 del primer macrociclo, la mayor percepción de la carga experimentada por los grupos EPOL y ETRAD, en el primer microciclo del segundo macrociclo, puede venir explicada por el “efecto de recuerdo” del microciclo anterior (i.e., el cuarto microciclo del primer macrociclo), que fue de ajuste y, por ende, la carga externa disminuyó, produciendo también percepciones subjetivas del esfuerzo menores en ambos grupos. Curiosamente, los valores de RPE del cuarto microciclo del segundo macrociclo fueron significativamente inferiores en comparación con los del mismo microciclo del primer macrociclo en el grupo ETRAD (-3,33%, $p = 0,046$). Esto podría representar la mejora fisiológica experimentada por estos participantes ya que, para una carga externa superior, sus percepciones del esfuerzo fueron inferiores (i.e., adaptación al estímulo). De modo similar, la carga interna evaluada a partir de los TRIMPS mostró diferencias significativas, siendo superiores los TRIMPS del primer y segundo microciclos del segundo macrociclo respecto a los homónimos del primer macrociclo para el grupo EPOL (23%, $p = 0,001$ y 32,2%, $p = 0,000$, respectivamente), mientras que para el grupo ETRAD sólo los TRIMPS del segundo microciclo del segundo macrociclo fueron superiores a los del mismo microciclo del primer macrociclo (23,86%, $p = 0,000$). Además, los TRIMPS alcanzados por el grupo EPOL en el cuarto microciclo del

segundo macrociclo fueron significativamente más elevados que los del cuarto microciclo del primer macrociclo (21,66%, $p = 0,001$). Estas diferencias en los valores de la carga interna demuestran la progresión ascendente de la carga a lo largo del período de entrenamiento de 8 semanas. Dicha evolución en la carga de entrenamiento es todavía más visible si centramos la atención en las diferencias entre los diferentes microciclos dentro de cada macrociclo. Los grupos EPOL y ETRAD alcanzaron TRIMPS significativamente superiores en el tercer microciclo de ambos macrociclos en comparación con los alcanzados en los microciclos 1 (Macrociclo 1: EPOL: 32,53%, $p = 0,000$ y ETRAD: 22,72%, $p = 0,005$; Macrociclo 2: EPOL: 22,89%, $p = 0,002$ y ETRAD: 21%, $p = 0,005$), 2 (Macrociclo 1: EPOL: 35,67%, $p = 0,000$ y ETRAD: 31,41%, $p = 0,000$; Macrociclo 2: EPOL: 16,52%, $p = 0,009$ y ETRAD: 14,13%, $p = 0,036$) y 4 (Macrociclo 1: EPOL: 32,61%, $p = 0,001$ y ETRAD: 30,38%, $p = 0,001$; Macrociclo 2: EPOL: 24,3%, $p = 0,000$ y ETRAD: 26,4%, $p = 0,000$). Estos resultados son lógicos si se piensa que la carga externa programada para el primer y segundo microciclos, en cada uno de los macrociclos, fue idéntica, incrementando en el tercer microciclo para disminuir, posteriormente, en el cuarto (i.e., ajuste). En este sentido, sólo el grupo ETRAD experimentó un descenso significativo en los TRIMPS del cuarto microciclo del segundo macrociclo respecto a los alcanzados en el segundo microciclo del mismo macrociclo (-10,29%, $p = 0,011$).

Por último, las percepciones subjetivas del esfuerzo evolucionaron de forma más heterogénea a lo largo de los microciclos, dentro de cada macrociclo. En el primer macrociclo, los RPE del tercer microciclo fueron significativamente superiores a los del segundo microciclo del mismo macrociclo, tanto para el grupo EPOL (16,39%, $p = 0,042$) como para el ETRAD (14,9%, $p = 0,031$), lo cual está en consonancia con el incremento de la carga externa en el microciclo 3 respecto a los microciclos 1 y 2. En cuanto a las diferencias detectadas a lo largo del segundo macrociclo, ambos grupos mostraron unos RPE significativamente menores en el segundo microciclo en comparación con el primer microciclo (EPOL: -25,65%, $p = 0,007$ y ETRAD: -20,47%, $p = 0,012$), quizá debido a una habituación a la carga externa, la cual se mantuvo igual en los microciclos 1 y 2. Además, el grupo ETRAD tuvo una percepción del esfuerzo significativamente mayor en el microciclo 1 en comparación con el 3 (24,82%, $p = 0,020$) y el 4 (43,49%, $p = 0,000$), y menor en el microciclo 4 respecto al microciclo 2 (-19,11%, $p = 0,018$). Atendiendo a los valores de la Escala de Sensaciones, las

sensaciones del grupo ETRAD en el microciclo 4 del segundo macrociclo fueron significativamente mejores que en el microciclo 1 (59,34%, $p = 0,014$), lo cual está en relación con una menor carga externa en el microciclo 4 que también produjo RPE significativamente menores, en comparación con el microciclo 1.

3.7. CONCLUSIONES

A continuación se enumeran las principales conclusiones extraídas de nuestra investigación para cada uno de los objetivos planteados al inicio del estudio.

En lo referente a la aptitud física cardiorrespiratoria:

- Un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 8 semanas de duración, con una frecuencia semanal de 3 sesiones, y con una distribución polarizada de las cargas es tan efectivo como un entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza tradicional en la mejora de los parámetros relacionados con el rendimiento en la carrera, si bien el programa de entrenamiento tradicional es significativamente más efectivo en la reducción de la frecuencia cardiaca en reposo.
- Un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 8 semanas de duración, con una frecuencia semanal de 3 sesiones, y con una distribución polarizada o tradicional de las cargas es efectivo en la disminución de los niveles de presión arterial, si bien se deben tener en cuenta los niveles iniciales.

En lo referente a la aptitud física neuromuscular:

- Un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 8 semanas de duración, con una frecuencia semanal de 3 sesiones, y con una distribución polarizada de las cargas es tan efectivo como un entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza tradicional en la mejora de los parámetros relacionados con la aptitud física neuromuscular, si bien el programa de entrenamiento polarizado permite mantener los niveles de fuerza explosiva del miembro inferior.

En lo referente a los parámetros antropométricos:

- Un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza tradicional de 8 semanas de duración, con una frecuencia semanal de 3 sesiones, tiende a mejorar los parámetros antropométricos en mayor medida que un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza con una distribución polarizada de las cargas.

En lo referente al sistema inmunológico:

- Un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 8 semanas de duración, con una frecuencia semanal de 3 sesiones, y con una distribución polarizada de las cargas parece ser más efectivo que un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza tradicional en la reducción de los niveles de determinados biomarcadores del perfil inflamatorio, aunque la función inmune parece responder ligeramente mejor a un programa de entrenamiento concurrente tradicional.

En lo referente a la percepción subjetiva del esfuerzo y a las sensaciones:

- Un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza de 8 semanas de duración, con una frecuencia semanal de 3 sesiones, y con una distribución polarizada de las cargas es tan tolerable como un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza tradicional desde un punto de vista perceptivo subjetivo del esfuerzo.

En lo referente al conjunto de resultados:

- Ha de tenerse cautela a la hora de extrapolar los resultados y las conclusiones hallados en esta investigación, ya que podrían tener una interpretación diferente si la muestra no está compuesta por individuos jóvenes, sanos y moderadamente activos.

4. APLICACIONES PRÁCTICAS

Basándonos en los resultados y conclusiones extraídos de nuestra investigación, un programa de entrenamiento concurrente de resistencia y fuerza, con una organización polarizada de las cargas en ambas capacidades y realizado a lo largo de 8 semanas es, como mínimo, tan efectivo como un programa de entrenamiento concurrente basado en las recomendaciones internacionales actuales de AF saludable de cara a la mejora de diferentes parámetros compartidos por el ámbito de la salud y del rendimiento deportivo.

El hecho de haber hallado mejoras significativas en los diferentes parámetros evaluados en individuos jóvenes, sanos y moderadamente activos, hace especular que este tipo de entrenamiento podría ser más efectivo en individuos sedentarios, ya sean sujetos sanos o que padezcan algún tipo de ECNT o factores de riesgo asociados. En este sentido, consideramos que un período de intervención de mayor duración y frecuencia semanal (e.g., todos o casi todos los días de la semana) tendría un efecto dosis-respuesta mucho mayor, reportando así más beneficios para la salud y mostrando una mayor efectividad, a largo plazo, del entrenamiento concurrente polarizado frente al entrenamiento concurrente tradicional.

5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Basándonos en una exhaustiva revisión de la evidencia científica sobre el tema y en los resultados y conclusiones obtenidos en nuestra investigación, consideramos de gran interés seguir trabajando, multidisciplinariamente, en las siguientes líneas de investigación para poder arrojar un poco más de luz a diferentes incógnitas que, o bien han quedado todavía sin resolver, o bien no está claro cuál es el mecanismo específico responsable subyacente. Por ello, de cara al futuro, proponemos las siguientes líneas de investigación:

- Replicar el estudio con una mayor duración total del período de entrenamiento y/o con una mayor frecuencia de entrenamiento semanal, incluyendo en el caso del entrenamiento de resistencia, con una organización polarizada de las cargas, alguna sesión más de entrenamiento de alta intensidad (e.g., entrenamiento intermitente mediante *sprints*).
- Replicar el estudio con las características del punto anterior y con una muestra conformada por adultos sedentarios de mediana edad y con factores de riesgo para la contracción de ECNT.
- Replicar el estudio con las características de los puntos anteriores y determinar el VO_{2max} , mediante el análisis del intercambio gaseoso, el perfil lipoprotéico plasmático, los niveles de glucosa en ayunas y estudiar los efectos agudos de determinadas sesiones de entrenamiento seleccionadas sobre los biomarcadores del sistema inmune.
- Replicar el estudio con las características de los puntos anteriores realizando una intervención simultánea para controlar la nutrición y cuantificar toda la AF diaria realizada por cada participante.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Dunstan DW, Howard B, Healy GN, Owen N. Too much sitting--a health hazard. *Diabetes Res Clin Pract.* septiembre de 2012;97(3):368-76.
2. Pate RR, O'Neill JR, Lobelo F. The evolving definition of «sedentary». *Exerc Sport Sci Rev.* octubre de 2008;36(4):173-8.
3. Tremblay MS, Colley RC, Saunders TJ, Healy GN, Owen N. Physiological and health implications of a sedentary lifestyle. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme.* diciembre de 2010;35(6):725-40.
4. European Commission Directorate-General for Education and Culture. Special Eurobarometer 412. Sport and physical activity report. European Commission Directorate-General for Education and Culture; 2014 p. 135. Report No.: 2014.3314.
5. Booth FW, Chakravarthy MV, Gordon SE, Spangenburg EE. Waging war on physical inactivity: using modern molecular ammunition against an ancient enemy. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. julio de 2002;93(1):3-30.
6. Eaton SB, Konner M, Shostak M. Stone agers in the fast lane: chronic degenerative diseases in evolutionary perspective. *Am J Med.* abril de 1988;84(4):739-49.
7. O'Keefe JH, Vogel R, Lavie CJ, Cordain L. Achieving hunter-gatherer fitness in the 21(st) century: back to the future. *Am J Med.* diciembre de 2010;123(12):1082-6.
8. O'Keefe JH, Vogel R, Lavie CJ, Cordain L. Exercise like a hunter-gatherer: a prescription for organic physical fitness. *Prog Cardiovasc Dis.* junio de 2011;53(6):471-9.
9. Szostak J, Laurant P. The forgotten face of regular physical exercise: a «natural» anti-atherogenic activity. *Clin Sci Lond Engl* 1979. agosto de 2011;121(3):91-106.
10. Kohl HW 3rd, Craig CL, Lambert EV, Inoue S, Alkandari JR, Leetongin G, et al. The pandemic of physical inactivity: global action for public health. *Lancet.* 21 de julio de 2012;380(9838):294-305.
11. Cavill N, Kahlmeier S, Racioppi F. Physical Activity and Health in Europe: Evidence for Action. World Health Organization; 2006. 47 p.
12. Lavie CJ, Thomas RJ, Squires RW, Allison TG, Milani RV. Exercise training and cardiac rehabilitation in primary and secondary prevention of coronary heart disease. *Mayo Clin Proc Mayo Clin.* abril de 2009;84(4):373-83.
13. Gauer RL, O'Connor FG. How to write an exercise prescription. Department of Family Medicine, Uniformed Services University of the Health Sciences; 2001.
14. Walker ARP, Walker BF, Adam F. Nutrition, diet, physical activity, smoking, and longevity: from primitive hunter-gatherer to present passive consumer--how far can we go? *Nutr Burbank Los Angel Cty Calif.* febrero de 2003;19(2):169-73.
15. Gillen JB, Gibala MJ. Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness? *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme.* marzo de 2014;39(3):409-12.
16. Godin G, Desharnais R, Valois P, Lepage L, Jobin J, Bradet R. Differences in Perceived Barriers to Exercise Between High and Low Intenders: Observations Among Different Populations. *Am J Health Promot.* marzo de 1994;8(4):279-385.
17. Burgomaster KA, Howarth KR, Phillips SM, Rakobowchuk M, Macdonald MJ, McGee SL, et al. Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol.* 1 de enero de 2008;586(1):151-60.

18. Gibala MJ, McGee SL. Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exerc Sport Sci Rev.* abril de 2008;36(2):58-63.
19. Gibala MJ, Little JP, van Essen M, Wilkin GP, Burgomaster KA, Safdar A, et al. Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol.* 15 de septiembre de 2006;575(Pt 3):901-11.
20. Rakobowchuk M, Tanguay S, Burgomaster KA, Howarth KR, Gibala MJ, MacDonald MJ. Sprint interval and traditional endurance training induce similar improvements in peripheral arterial stiffness and flow-mediated dilation in healthy humans. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* julio de 2008;295(1):R236-242.
21. Department of Health Services D of PH, Nutrition, Physical Activity and Obesity Program. Wisconsin active community environments resource kit to prevent obesity and related chronic diseases. Madison, WI: Centers for Disease and Control Prevention; 2009.
22. Frank LD, Saelens BE, Powell KE, Chapman JE. Stepping towards causation: do built environments or neighborhood and travel preferences explain physical activity, driving, and obesity? *Soc Sci Med* 1982. noviembre de 2007;65(9):1898-914.
23. DiPietro L. Physical activity in aging: changes in patterns and their relationship to health and function. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* octubre de 2001;56 Spec No 2:13-22.
24. Verbrugge LM, Gruber-Baldini AL, Fozard JL. Age differences and age changes in activities: Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci.* enero de 1996;51(1):S30-41.
25. Albert MA, Glynn RJ, Buring J, Ridker PM. Impact of traditional and novel risk factors on the relationship between socioeconomic status and incident cardiovascular events. *Circulation.* 12 de diciembre de 2006;114(24):2619-26.
26. Cirera L, Tormo MJ, Chirlaque MD, Navarro C. Cardiovascular risk factors and educational attainment in Southern Spain: a study of a random sample of 3091 adults. *Eur J Epidemiol.* diciembre de 1998;14(8):755-63.
27. Rhodes RE, Mark RS, Temmel CP. Adult sedentary behavior: a systematic review. *Am J Prev Med.* marzo de 2012;42(3):e3-28.
28. Hamilton MT, Hamilton DG, Zderic TW. Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease. *Diabetes.* noviembre de 2007;56(11):2655-67.
29. Katzmarzyk PT, Church TS, Craig CL, Bouchard C. Sitting time and mortality from all causes, cardiovascular disease, and cancer. *Med Sci Sports Exerc.* mayo de 2009;41(5):998-1005.
30. Proper KI, Singh AS, van Mechelen W, Chinapaw MJM. Sedentary behaviors and health outcomes among adults: a systematic review of prospective studies. *Am J Prev Med.* febrero de 2011;40(2):174-82.
31. Thorp AA, Owen N, Neuhaus M, Dunstan DW. Sedentary behaviors and subsequent health outcomes in adults a systematic review of longitudinal studies, 1996-2011. *Am J Prev Med.* agosto de 2011;41(2):207-15.
32. Yates T, Khunti K, Wilmot EG, Brady E, Webb D, Srinivasan B, et al. Self-reported sitting time and markers of inflammation, insulin resistance, and adiposity. *Am J Prev Med.* enero de 2012;42(1):1-7.

33. Chau JY, van der Ploeg HP, Merom D, Chey T, Bauman AE. Cross-sectional associations between occupational and leisure-time sitting, physical activity and obesity in working adults. *Prev Med.* abril de 2012;54(3-4):195-200.
34. Yates T, Wilmot EG, Khunti K, Biddle S, Gorely T, Davies MJ. Stand up for your health: Is it time to rethink the physical activity paradigm? *Diabetes Res Clin Pract.* agosto de 2011;93(2):292-4.
35. Fletcher GF, Balady G, Blair SN, Blumenthal J, Caspersen C, Chaitman B, et al. Statement on exercise: benefits and recommendations for physical activity programs for all Americans. A statement for health professionals by the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation of the Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation.* 15 de agosto de 1996;94(4):857-62.
36. Gregg EW, Cauley JA, Stone K, Thompson TJ, Bauer DC, Cummings SR, et al. Relationship of changes in physical activity and mortality among older women. *JAMA J Am Med Assoc.* 14 de mayo de 2003;289(18):2379-86.
37. Fiuza-Luces C, Garatachea N, Berger NA, Lucia A. Exercise is the real polypill. *Physiol Bethesda Md.* septiembre de 2013;28(5):330-58.
38. Haapanen N, Miilunpalo S, Vuori I, Oja P, Pasanen M. Characteristics of leisure time physical activity associated with decreased risk of premature all-cause and cardiovascular disease mortality in middle-aged men. *Am J Epidemiol.* 1 de mayo de 1996;143(9):870-80.
39. Hamilton MT, Hamilton DG, Zderic TW. Role of low energy expenditure and sitting in obesity, metabolic syndrome, type 2 diabetes, and cardiovascular disease. *Diabetes.* noviembre de 2007;56(11):2655-67.
40. Kuller LH, Kinzel LS, Pettee KK, Kriska AM, Simkin-Silverman LR, Conroy MB, et al. Lifestyle intervention and coronary heart disease risk factor changes over 18 months in postmenopausal women: the Women On the Move through Activity and Nutrition (WOMAN study) clinical trial. *J Womens Health* 2002. octubre de 2006;15(8):962-74.
41. US Department of Health and Human Services. *Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General.* Atlanta, GA: DIANE Publishing; 1996. 292 p.
42. Williams PT. Relationship of distance run per week to coronary heart disease risk factors in 8283 male runners. The National Runners' Health Study. *Arch Intern Med.* 27 de enero de 1997;157(2):191-8.
43. Cordain L, Gotshall RW, Eaton SB, Eaton SB 3rd. Physical activity, energy expenditure and fitness: an evolutionary perspective. *Int J Sports Med.* julio de 1998;19(5):328-35.
44. O'Keefe JH, Vogel R, Lavie CJ, Cordain L. Organic fitness: physical activity consistent with our hunter-gatherer heritage. *Phys Sportsmed.* diciembre de 2010;38(4):11-8.
45. Anderson JK. *Hunting in the ancient world.* Berkeley: University of California Press; 1985.
46. Booth FW, Lees SJ. Fundamental questions about genes, inactivity, and chronic diseases. *Physiol Genomics.* 17 de enero de 2007;28(2):146-57.
47. Boullosa DA, Abreu L, Varela-Sanz A, Mujika I. Do Olympic Athletes Train as in the Paleolithic Era? *Sports Med Auckl NZ.* octubre de 2013;43(10):909-17.
48. Boullosa DA, Nakamura FY, Ruiz JR. Effectiveness of polarized training for rowing performance. *Int J Sports Physiol Perform.* diciembre de 2010;5(4):431-432; author reply 432-436.
49. Cordain L, Friel J. *The Paleo Diet for Athletes.* Rodale Books; 2005. 328 p.

50. Dalleck LC, Kravitz L. The history of fitness. *IDEA Health Fit Source*. 2002;20(2):26-33.
51. Eaton SB, Shostak M, Konner M. *The Paleolithic Prescription: A Program of Diet & Exercise and a Design for Living*. New York, NY: Harper & Row; 1988. 328 p.
52. Tremblay MS, Esliger DW, Copeland JL, Barnes JD, Bassett DR. Moving forward by looking back: lessons learned from long-lost lifestyles. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme*. agosto de 2008;33(4):836-42.
53. Bird RB, Bird DW. Why women hunt: risk and contemporary foraging in a Western Desert aboriginal community. *Curr Anthropol*. agosto de 2008;49(4):655-93.
54. Hurtado AM, Hawkes K, Hill K, Kaplan H. Female subsistence strategies among Ache hunter-gatherers of Eastern Paraguay. *Hum Ecol*. 1 de marzo de 1985;13(1):1-28.
55. Konner M, Eaton SB. Paleolithic nutrition: twenty-five years later. *Nutr Clin Pract Off Publ Am Soc Parenter Enter Nutr*. diciembre de 2010;25(6):594-602.
56. Kuipers RS, Joordens JCA, Muskiet FAJ. A multidisciplinary reconstruction of Palaeolithic nutrition that holds promise for the prevention and treatment of diseases of civilisation. *Nutr Res Rev*. junio de 2012;25(1):96-129.
57. Billat VL, Demarle A, Slawinski J, Paiva M, Koralsztein JP. Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc*. diciembre de 2001;33(12):2089-97.
58. Esteve-Lanao J, Foster C, Seiler S, Lucia A. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. agosto de 2007;21(3):943-9.
59. Esteve-Lanao J, San Juan AF, Earnest CP, Foster C, Lucia A. How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med Sci Sports Exerc*. marzo de 2005;37(3):496-504.
60. Ingham SA, Fudge BW, Pringle JS. Training distribution, physiological profile, and performance for a male international 1500-m runner. *Int J Sports Physiol Perform*. junio de 2012;7(2):193-5.
61. Lucía A, Hoyos J, Carvajal A, Chicharro JL. Heart rate response to professional road cycling: the Tour de France. *Int J Sports Med*. abril de 1999;20(3):167-72.
62. Fiskerstrand A, Seiler KS. Training and performance characteristics among Norwegian international rowers 1970-2001. *Scand J Med Sci Sports*. octubre de 2004;14(5):303-10.
63. Guellich A, Seiler S, Emrich E. Training methods and intensity distribution of young world-class rowers. *Int J Sports Physiol Perform*. diciembre de 2009;4(4):448-60.
64. Laursen PB. Training for intense exercise performance: high-intensity or high-volume training? *Scand J Med Sci Sports*. octubre de 2010;20 Suppl 2:1-10.
65. Seiler KS, Kjerland GØ. Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: is there evidence for an «optimal» distribution? *Scand J Med Sci Sports*. febrero de 2006;16(1):49-56.
66. Yu H, Chen X, Zhu W, Cao C. A quasi-experimental study of Chinese top-level speed skaters' training load: threshold versus polarized model. *Int J Sports Physiol Perform*. junio de 2012;7(2):103-12.
67. Ruiz JR, Morán M, Arenas J, Lucia A. Strenuous endurance exercise improves life expectancy: it's in our genes. *Br J Sports Med*. marzo de 2011;45(3):159-61.

68. Sanchis-Gomar F, Olaso-Gonzalez G, Corella D, Gomez-Cabrera MC, Vina J. Increased average longevity among the «Tour de France» cyclists. *Int J Sports Med.* agosto de 2011;32(8):644-7.
69. Billat VL, Flechet B, Petit B, Muriaux G, Koralsztein JP. Interval training at VO₂max: effects on aerobic performance and overtraining markers. *Med Sci Sports Exerc.* enero de 1999;31(1):156-63.
70. Mann S, Beedie C, Jimenez A. Differential effects of aerobic exercise, resistance training and combined exercise modalities on cholesterol and the lipid profile: review, synthesis and recommendations. *Sports Med Auckl NZ.* febrero de 2014;44(2):211-21.
71. Taipale RS, Mikkola J, Vesterinen V, Nummela A, Häkkinen K. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *Eur J Appl Physiol.* febrero de 2013;113(2):325-35.
72. Boullosa DA, Abreu L, Tonello L, Hofmann P, Leicht AS. Exercise is medicine: case report of a woman with smoldering multiple myeloma. *Med Sci Sports Exerc.* julio de 2013;45(7):1223-8.
73. Mikkola J, Rusko H, Izquierdo M, Gorostiaga EM, Häkkinen K. Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *Int J Sports Med.* septiembre de 2012;33(9):702-10.
74. Izquierdo M, Häkkinen K, Ibáñez J, Kraemer WJ, Gorostiaga EM. Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J Appl Physiol.* mayo de 2005;94(1-2):70-5.
75. Sillanpää E, Laaksonen DE, Häkkinen A, Karavirta L, Jensen B, Kraemer WJ, et al. Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *Eur J Appl Physiol.* mayo de 2009;106(2):285-96.
76. Jiménez A. Undulating periodization models for strength training & conditioning. *Motricidade.* enero de 2009;5(3):1-5.
77. Fleck SJ. Non-Linear Periodization for General Fitness & Athletes. *J Hum Kinet.* 4 de octubre de 2011;29A:41-5.
78. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep Wash DC* 1974. abril de 1985;100(2):126-31.
79. Bouchard C, Shephard RJ. Chapter 2. Physical activity, fitness, and health: the model and key concepts. *Physical activity, fitness, and health consensus statement.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1993. p. 11-24.
80. Erikssen G. Physical fitness and changes in mortality: the survival of the fittest. *Sports Med Auckl NZ.* 2001;31(8):571-6.
81. OMS. Envejecimiento saludable. El envejecimiento y la actividad física en la vida diaria. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 1998.
82. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee I-M, et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc.* julio de 2011;43(7):1334-59.
83. Vuori I, Oja P, Cavill N, Coumans B. La actividad física para la mejora de la salud. Guía europea. 1998.

84. Devís J, Peiró C. Fundamentos para la promoción de la actividad física relacionada con la salud. La educación física, el deporte y la salud en el siglo XXI. Barcelona: Editorial Marfil; 2001. p. 300-1.
85. Güell MR, Morante F. Manual SEPAR de procedimientos. Herramientas para la medida de la calidad de vida relacionada con la salud. Barcelona: Publicaciones Permanyer; 2007.
86. Spirduso WW, Cronin DL. Exercise dose-response effects on quality of life and independent living in older adults. *Med Sci Sports Exerc.* junio de 2001;33(6 Suppl):S598-608; discussion S609-610.
87. Stewart AL, King AC. Evaluating the efficacy of physical activity for influencing quality of life outcomes in older adults. *Ann Behav Med.* 1991;13:108-16.
88. Healy GN, Dunstan DW, Salmon J, Shaw JE, Zimmet PZ, Owen N. Television time and continuous metabolic risk in physically active adults. *Med Sci Sports Exerc.* abril de 2008;40(4):639-45.
89. Owen N, Healy GN, Matthews CE, Dunstan DW. Too much sitting: the population health science of sedentary behavior. *Exerc Sport Sci Rev.* julio de 2010;38(3):105-13.
90. Healy GN, Dunstan DW, Salmon J, Cerin E, Shaw JE, Zimmet PZ, et al. Breaks in sedentary time: beneficial associations with metabolic risk. *Diabetes Care.* abril de 2008;31(4):661-6.
91. Owen N, Sugiyama T, Eakin EE, Gardiner PA, Tremblay MS, Sallis JF. Adults' sedentary behavior determinants and interventions. *Am J Prev Med.* agosto de 2011;41(2):189-96.
92. Vaes AW, Cheung A, Atakhorrami M, Groenen MTJ, Amft O, Franssen FME, et al. Effect of «activity monitor-based» counseling on physical activity and health-related outcomes in patients with chronic diseases: A systematic review and meta-analysis. *Ann Med.* septiembre de 2013;45(5-6):397-412.
93. Yach D, Hawkes C, Gould CL, Hofman KJ. The global burden of chronic diseases: overcoming impediments to prevention and control. *JAMA J Am Med Assoc.* 2 de junio de 2004;291(21):2616-22.
94. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med.* 14 de marzo de 2002;346(11):793-801.
95. Myers J, Kaykha A, George S, Abella J, Zaheer N, Lear S, et al. Fitness versus physical activity patterns in predicting mortality in men. *Am J Med.* 15 de diciembre de 2004;117(12):912-8.
96. Beavers KM, Brinkley TE, Nicklas BJ. Effect of exercise training on chronic inflammation. *Clin Chim Acta Int J Clin Chem.* 3 de junio de 2010;411(11-12):785-93.
97. Pearson TA, Mensah GA, Alexander RW, Anderson JL, Cannon RO 3rd, Criqui M, et al. Markers of inflammation and cardiovascular disease: application to clinical and public health practice: A statement for healthcare professionals from the Centers for Disease Control and Prevention and the American Heart Association. *Circulation.* 28 de enero de 2003;107(3):499-511.
98. Pedersen BK, Toft AD. Effects of exercise on lymphocytes and cytokines. *Br J Sports Med.* agosto de 2000;34(4):246-51.
99. Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med Auckl NZ.* 2003;33(7):517-38.
100. Hillebrand S, Gast KB, de Mutsert R, Swenne CA, Jukema JW, Middeldorp S, et al. Heart rate variability and first cardiovascular event in populations without

- known cardiovascular disease: meta-analysis and dose-response meta-regression. *Eur Eur Pacing Arrhythm Card Electrophysiol J Work Groups Card Pacing Arrhythm Card Cell Electrophysiol Eur Soc Cardiol.* mayo de 2013;15(5):742-9.
101. Mancia G, Fagard R, Narkiewicz K, Redon J, Zanchetti A, Böhm M, et al. 2013 ESH/ESC Guidelines for the management of arterial hypertension The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J.* 14 de junio de 2013;eht151.
 102. Jensen MK, Chiuve SE, Rimm EB, Dethlefsen C, Tjønneland A, Joensen AM, et al. Obesity, behavioral lifestyle factors, and risk of acute coronary events. *Circulation.* 17 de junio de 2008;117(24):3062-9.
 103. Kim JY, Han S-H, Yang B-M. Implication of high-body-fat percentage on cardiometabolic risk in middle-aged, healthy, normal-weight adults. *Obes Silver Spring Md.* agosto de 2013;21(8):1571-7.
 104. Abbasi F, Blasey C, Reaven GM. Cardiometabolic risk factors and obesity: does it matter whether BMI or waist circumference is the index of obesity? *Am J Clin Nutr.* 1 de septiembre de 2013;ajcn.047506.
 105. Cameron AJ, Magliano DJ, Söderberg S. A systematic review of the impact of including both waist and hip circumference in risk models for cardiovascular diseases, diabetes and mortality. *Obes Rev Off J Int Assoc Study Obes.* enero de 2013;14(1):86-94.
 106. Heyward. Evaluación de la aptitud física y prescripción del ejercicio. Ed. Médica Panamericana; 2008. 444 p.
 107. Åstrand P-O, Rodahl K. Fisiología del trabajo físico bases fisiológicas del ejercicio. 3ª ed. Buenos Aires: Panamericana; 1992. 575 p.
 108. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Fundamentos de fisiología del ejercicio. 2ª ed. Madrid: McGraw-Hill; 2004. 708 p.
 109. Araújo CGS de, Herdy AH, Stein R. Maximum oxygen consumption measurement: valuable biological marker in health and in sickness. *Arq Bras Cardiol.* abril de 2013;100(4):e51-53.
 110. Hausswirth C, Lehénaff D. Physiological demands of running during long distance runs and triathlons. *Sports Med Auckl NZ.* 2001;31(9):679-89.
 111. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation.* 2 de octubre de 2001;104(14):1694-740.
 112. Bouchard C. Parte 2c: Determinantes genéticos del rendimiento de resistencia. La resistencia en el deporte. 2ª ed. Barcelona: Paidotribo; 2007.
 113. Vaara JP, Fogelholm M, Vasankari T, Santtila M, Häkkinen K, Kyröläinen H. Associations of Maximal Strength and Muscular Endurance with Cardiovascular Risk Factors. *Int J Sports Med.* 10 de septiembre de 2013;
 114. Gleeson M, Bishop NC. The T cell and NK cell immune response to exercise. *Ann Transplant Q Pol Transplant Soc.* 2005;10(4):43-8.
 115. Libardi CA, De Souza GV, Cavaglieri CR, Madruga VA, Chacon-Mikahil MPT. Effect of resistance, endurance, and concurrent training on TNF- α , IL-6, and CRP. *Med Sci Sports Exerc.* enero de 2012;44(1):50-6.
 116. Moldoveanu AI, Shephard RJ, Shek PN. The cytokine response to physical activity and training. *Sports Med Auckl NZ.* febrero de 2001;31(2):115-44.
 117. Colbert LH, Visser M, Simonsick EM, Tracy RP, Newman AB, Kritchevsky SB, et al. Physical activity, exercise, and inflammatory markers in older adults:

- findings from the Health, Aging and Body Composition Study. *J Am Geriatr Soc.* julio de 2004;52(7):1098-104.
118. D'Elcios MM, Benagiano M, Della Bella C, Amedei A. T-cell response to bacterial agents. *J Infect Dev Ctries.* septiembre de 2011;5(9):640-5.
 119. Woods J, Lu Q, Ceddia MA, Lowder T. Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: exercise-induced modulation of macrophage function. *Immunol Cell Biol.* octubre de 2000;78(5):545-53.
 120. Banchereau J, Pascual V, O'Garra A. From IL-2 to IL-37: the expanding spectrum of anti-inflammatory cytokines. *Nat Immunol.* octubre de 2012;13(10):925-31.
 121. Geng X, Zhang R, Yang G, Jiang W, Xu C. Interleukin-2 and autoimmune disease occurrence and therapy. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* octubre de 2012;16(11):1462-7.
 122. Harrington LE, Hatton RD, Mangan PR, Turner H, Murphy TL, Murphy KM, et al. Interleukin 17-producing CD4+ effector T cells develop via a lineage distinct from the T helper type 1 and 2 lineages. *Nat Immunol.* noviembre de 2005;6(11):1123-32.
 123. Romagnani S. Type 1 T helper and type 2 T helper cells: functions, regulation and role in protection and disease. *Int J Clin Lab Res.* 1991;21(2):152-8.
 124. Miossec P, Korn T, Kuchroo VK. Interleukin-17 and type 17 helper T cells. *N Engl J Med.* 27 de agosto de 2009;361(9):888-98.
 125. Pieper K, Grimbacher B, Eibel H. B-cell biology and development. *J Allergy Clin Immunol.* abril de 2013;131(4):959-71.
 126. Koch AJ. Immune response to exercise. *Braz J Biomotricity.* 2010;4(2):92-103.
 127. Vale AM, Schroeder HW Jr. Clinical consequences of defects in B-cell development. *J Allergy Clin Immunol.* abril de 2010;125(4):778-87.
 128. Fujimoto M, Poe JC, Inaoki M, Tedder TF. CD19 regulates B lymphocyte responses to transmembrane signals. *Semin Immunol.* agosto de 1998;10(4):267-77.
 129. Otero DC, Anzelon AN, Rickert RC. CD19 function in early and late B cell development: I. Maintenance of follicular and marginal zone B cells requires CD19-dependent survival signals. *J Immunol Baltim Md 1950.* 1 de enero de 2003;170(1):73-83.
 130. Opal SM, DePalo VA. Anti-inflammatory cytokines. *Chest.* abril de 2000;117(4):1162-72.
 131. Donges CE, Duffield R, Drinkwater EJ. Effects of resistance or aerobic exercise training on interleukin-6, C-reactive protein, and body composition. *Med Sci Sports Exerc.* febrero de 2010;42(2):304-13.
 132. Stewart LK, Flynn MG, Campbell WW, Craig BA, Robinson JP, Timmerman KL, et al. The influence of exercise training on inflammatory cytokines and C-reactive protein. *Med Sci Sports Exerc.* octubre de 2007;39(10):1714-9.
 133. Ding H-S, Yang J, Yang J, Ding J-W, Chen P, Zhu P. Interleukin-17 contributes to cardiovascular diseases. *Mol Biol Rep.* julio de 2012;39(7):7473-8.
 134. Tournadre A, Miossec P. Interleukin-17 in inflammatory myopathies. *Curr Rheumatol Rep.* junio de 2012;14(3):252-6.
 135. Schroder K, Hertzog PJ, Ravasi T, Hume DA. Interferon-gamma: an overview of signals, mechanisms and functions. *J Leukoc Biol.* febrero de 2004;75(2):163-89.
 136. Lin F-C, Young HA. The talented interferon-gamma. *Adv Biosci Biotechnol.* 2013;04(07):6-13.

137. Woods JA, Vieira VJ, Keylock KT. Exercise, inflammation, and innate immunity. *Immunol Allergy Clin North Am.* mayo de 2009;29(2):381-93.
138. Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise: its role in diabetes and cardiovascular disease control. *Essays Biochem.* 2006;42:105-17.
139. Reihmane D, Dela F. Interleukin-6: Possible biological roles during exercise. *Eur J Sport Sci.* abril de 2014;14(3):242-50.
140. Petersen AMW, Pedersen BK. The role of IL-6 in mediating the anti-inflammatory effects of exercise. *J Physiol Pharmacol Off J Pol Physiol Soc.* noviembre de 2006;57 Suppl 10:43-51.
141. Arsenault BJ, Côté M, Cartier A, Lemieux I, Després J-P, Ross R, et al. Effect of exercise training on cardiometabolic risk markers among sedentary, but metabolically healthy overweight or obese post-menopausal women with elevated blood pressure. *Atherosclerosis.* diciembre de 2009;207(2):530-3.
142. Bruunsgaard H, Bjerregaard E, Schroll M, Pedersen BK. Muscle strength after resistance training is inversely correlated with baseline levels of soluble tumor necrosis factor receptors in the oldest old. *J Am Geriatr Soc.* febrero de 2004;52(2):237-41.
143. Adamopoulos S, Parissis J, Kroupis C, Georgiadis M, Karatzas D, Karavolias G, et al. Physical training reduces peripheral markers of inflammation in patients with chronic heart failure. *Eur Heart J.* mayo de 2001;22(9):791-7.
144. De Gonzalo-Calvo D, Fernández-García B, de Luxán-Delgado B, Rodríguez-González S, García-Macia M, Suárez FM, et al. Long-term training induces a healthy inflammatory and endocrine emergent biomarker profile in elderly men. *Age Dordr Neth.* junio de 2012;34(3):761-71.
145. Donges CE, Duffield R, Guelfi KJ, Smith GC, Adams DR, Edge JA. Comparative effects of single-mode vs. duration-matched concurrent exercise training on body composition, low-grade inflammation, and glucose regulation in sedentary, overweight, middle-aged men. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme.* julio de 2013;38(7):779-88.
146. Gleeson M, Bishop NC, Stensel DJ, Lindley MR, Mastana SS, Nimmo MA. The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease. *Nat Rev Immunol.* septiembre de 2011;11(9):607-15.
147. Petersen AMW, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. abril de 2005;98(4):1154-62.
148. Prestes J, Shiguemoto G, Botero JP, Frollini A, Dias R, Leite R, et al. Effects of resistance training on resistin, leptin, cytokines, and muscle force in elderly post-menopausal women. *J Sports Sci.* diciembre de 2009;27(14):1607-15.
149. Reed JL, De Souza MJ, Williams NI. Effects of exercise combined with caloric restriction on inflammatory cytokines. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme.* octubre de 2010;35(5):573-82.
150. Roubenoff R. Exercise and inflammatory disease. *Arthritis Care Res.* 2003;49(2):263-6.
151. Rubin DA, Hackney AC. Inflammatory cytokines and metabolic risk factors during growth and maturation: influence of physical activity. *Med Sport Sci.* 2010;55:43-55.
152. Thompson D, Markovitch D, Betts JA, Mazzatti D, Turner J, Tyrrell RM. Time course of changes in inflammatory markers during a 6-mo exercise intervention in sedentary middle-aged men: a randomized-controlled trial. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. abril de 2010;108(4):769-79.

153. Balducci S, Zanuso S, Nicolucci A, Fernando F, Cavallo S, Cardelli P, et al. Anti-inflammatory effect of exercise training in subjects with type 2 diabetes and the metabolic syndrome is dependent on exercise modalities and independent of weight loss. *Nutr Metab Cardiovasc Dis NMCD*. octubre de 2010;20(8):608-17.
154. Hopps E, Canino B, Caimi G. Effects of exercise on inflammation markers in type 2 diabetic subjects. *Acta Diabetol*. septiembre de 2011;48(3):183-9.
155. Kadoglou NPE, Fotiadis G, Kapelouzou A, Kostakis A, Liapis CD, Vrabas IS. The differential anti-inflammatory effects of exercise modalities and their association with early carotid atherosclerosis progression in patients with type 2 diabetes. *Diabet Med J Br Diabet Assoc*. febrero de 2013;30(2):e41-50.
156. Teixeira-Lemos E, Nunes S, Teixeira F, Reis F. Regular physical exercise training assists in preventing type 2 diabetes development: focus on its antioxidant and anti-inflammatory properties. *Cardiovasc Diabetol*. 2011;10:12.
157. Leggate M, Carter WG, Evans MJC, Vennard RA, Sribala-Sundaram S, Nimmo MA. Determination of inflammatory and prominent proteomic changes in plasma and adipose tissue after high-intensity intermittent training in overweight and obese males. *J Appl Physiol*. 15 de abril de 2012;112(8):1353-60.
158. Koh KK, Han SH, Quon MJ. Inflammatory markers and the metabolic syndrome: insights from therapeutic interventions. *J Am Coll Cardiol*. 6 de diciembre de 2005;46(11):1978-85.
159. Gielen S, Adams V, Möbius-Winkler S, Linke A, Erbs S, Yu J, et al. Anti-inflammatory effects of exercise training in the skeletal muscle of patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol*. 3 de septiembre de 2003;42(5):861-8.
160. Munk PS, Breland UM, Aukrust P, Ueland T, Kvaløy JT, Larsen AI. High intensity interval training reduces systemic inflammation in post-PCI patients. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil Off J Eur Soc Cardiol Work Groups Epidemiol Prev Card Rehabil Exerc Physiol*. diciembre de 2011;18(6):850-7.
161. Niebauer J. Effects of exercise training on inflammatory markers in patients with heart failure. *Heart Fail Rev*. febrero de 2008;13(1):39-49.
162. Pereira DAG, Ribeiro-Samora GA, Vieira DSR, Pereira LSM, Coelho FM, Parreira VF, et al. Evaluation of the inflammatory response to two different intensities of exercise in individuals with heart failure. *Inflammation*. abril de 2012;35(2):509-15.
163. Ribeiro F, Alves AJ, Teixeira M, Miranda F, Azevedo C, Duarte JA, et al. Exercise training increases interleukin-10 after an acute myocardial infarction: a randomised clinical trial. *Int J Sports Med*. marzo de 2012;33(3):192-8.
164. Golzari Z, Shabkhiz F, Soudi S, Kordi MR, Hashemi SM. Combined exercise training reduces IFN- γ and IL-17 levels in the plasma and the supernatant of peripheral blood mononuclear cells in women with multiple sclerosis. *Int Immunopharmacol*. noviembre de 2010;10(11):1415-9.
165. Nader GA, Lundberg IE. Exercise as an anti-inflammatory intervention to combat inflammatory diseases of muscle. *Curr Opin Rheumatol*. noviembre de 2009;21(6):599-603.
166. Forsythe LK, Wallace JMW, Livingstone MBE. Obesity and inflammation: the effects of weight loss. *Nutr Res Rev*. diciembre de 2008;21(2):117-33.
167. Markovitch D, Tyrrell RM, Thompson D. Acute moderate-intensity exercise in middle-aged men has neither an anti- nor proinflammatory effect. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. julio de 2008;105(1):260-5.
168. Hay JB, Andrade WN. Lymphocyte recirculation, exercise, and immune responses. *Can J Physiol Pharmacol*. mayo de 1998;76(5):490-6.

169. Pedersen BK, Hoffman-Goetz L. Exercise and the immune system: regulation, integration, and adaptation. *Physiol Rev.* julio de 2000;80(3):1055-81.
170. Shephard RJ, Shek PN. Potential impact of physical activity and sport on the immune system--a brief review. *Br J Sports Med.* diciembre de 1994;28(4):247-55.
171. Shephard RJ, Shek PN. Effects of exercise and training on natural killer cell counts and cytolytic activity: a meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ.* septiembre de 1999;28(3):177-95.
172. Rykova MP, Antropova EN, Vinogradova OL, Larina IM. [The adaptive potential of human immunity during strength training]. *Fiziol Cheloveka.* febrero de 2007;33(1):101-8.
173. Berntson GG, Bigger JT Jr, Eckberg DL, Grossman P, Kaufmann PG, Malik M, et al. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology.* noviembre de 1997;34(6):623-48.
174. Rodas G, Pedret C, Ramos J, Capdevila L. Variabilidad de la frecuencia cardiaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (I). *Arch Med Deporte.* 2008;25(123):41-7.
175. De la Cruz Torres B, López López C, Naranjo Orellana J. Analysis of heart rate variability at rest and during aerobic exercise: a study in healthy people and cardiac patients. *Br J Sports Med.* septiembre de 2008;42(9):715-20.
176. Carter JB, Banister EW, Blaber AP. Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. *Sports Med Auckl NZ.* 2003;33(1):33-46.
177. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J.* marzo de 1996;17(3):354-81.
178. Boullosa DA, Abreu L, Nakamura FY, Muñoz VE, Domínguez E, Leicht AS. Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *Int J Sports Physiol Perform.* julio de 2013;8(4):400-9.
179. Da Silva DF, Verri SM, Nakamura FY, Machado FA. Longitudinal changes in cardiac autonomic function and aerobic fitness indices in endurance runners: A case study with a high-level team. *Eur J Sport Sci.* 2 de septiembre de 2013;
180. Leicht AS, Allen GD, Hoey AJ. Influence of intensive cycling training on heart rate variability during rest and exercise. *Can J Appl Physiol Rev Can Physiol Appliquée.* diciembre de 2003;28(6):898-909.
181. Boutcher SH, Park Y, Dunn SL, Boutcher YN. The relationship between cardiac autonomic function and maximal oxygen uptake response to high-intensity intermittent-exercise training. *J Sports Sci.* 2013;31(9):1024-9.
182. Cipryan L, Litschmannova M. Intra-day and inter-day reliability of heart rate variability measurement. *J Sports Sci.* 2013;31(2):150-8.
183. Rodas G, Pedret C, Ramos J, Capdevila L. Variabilidad de la frecuencia cardiaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (II). *Arch Med Deporte.* 2008;25(124):119-27.
184. Nussinovitch U, Cohen O, Kaminer K, Ilani J, Nussinovitch N. Evaluating reliability of ultra-short ECG indices of heart rate variability in diabetes mellitus patients. *J Diabetes Complications.* octubre de 2012;26(5):450-3.
185. Sacre JW, Jellis CL, Marwick TH, Coombes JS. Reliability of heart rate variability in patients with type 2 diabetes mellitus. *Diabet Med J Br Diabet Assoc.* julio de 2012;29(7):e33-40.

186. Turker Y, Aslantas Y, Aydin Y, Demirin H, Kutlucan A, Tibilli H, et al. Heart rate variability and heart rate recovery in patients with type 1 diabetes mellitus. *Acta Cardiol.* abril de 2013;68(2):145-50.
187. Assoumou HGN, Pichot V, Barthelemy JC, Dauphinot V, Celle S, Gosse P, et al. Metabolic syndrome and short-term and long-term heart rate variability in elderly free of clinical cardiovascular disease: the PROOF study. *Rejuvenation Res.* diciembre de 2010;13(6):653-63.
188. Currie KD, Rosen LM, Millar PJ, McKelvie RS, Macdonald MJ. Heart rate recovery and heart rate variability are unchanged in patients with coronary artery disease following 12 weeks of high-intensity interval and moderate-intensity endurance exercise training. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme.* junio de 2013;38(6):644-50.
189. Goernig M, Schroeder R, Roth T, Truebner S, Palutke I, Figulla HR, et al. Peripheral arterial disease alters heart rate variability in cardiovascular patients. *Pacing Clin Electrophysiol PACE.* julio de 2008;31(7):858-62.
190. Huikuri HV, Mäkikallio TH. Heart rate variability in ischemic heart disease. *Auton Neurosci.* 20 de julio de 2001;90(1-2):95-101.
191. Kleiger RE, Stein PK, Bigger JT Jr. Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Ann Noninvasive Electrocardiol Off J Int Soc Holter Noninvasive Electrocardiol Inc.* enero de 2005;10(1):88-101.
192. Koufaki P, Mercer TH, George KP, Nolan J. Low-volume high-intensity interval training vs continuous aerobic cycling in patients with chronic heart failure: A pragmatic randomised clinical trial of feasibility and effectiveness. *J Rehabil Med Off J UEMS Eur Board Phys Rehabil Med.* 20 de enero de 2014;
193. Oliveira NL, Ribeiro F, Alves AJ, Teixeira M, Miranda F, Oliveira J. Heart rate variability in myocardial infarction patients: effects of exercise training. *Rev Port Cardiol Orgão Of Soc Port Cardiol Port J Cardiol Off J Port Soc Cardiol.* septiembre de 2013;32(9):687-700.
194. Figueroa A, Kingsley JD, McMillan V, Panton LB. Resistance exercise training improves heart rate variability in women with fibromyalgia. *Clin Physiol Funct Imaging.* enero de 2008;28(1):49-54.
195. Hassett AL, Radvanski DC, Vaschillo EG, Vaschillo B, Sigal LH, Karavidas MK, et al. A pilot study of the efficacy of heart rate variability (HRV) biofeedback in patients with fibromyalgia. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* marzo de 2007;32(1):1-10.
196. Dutra SGV, Pereira APM, Tezini GCSV, Mazon JH, Martins-Pinge MC, Souza HCD. Cardiac autonomic modulation is determined by gender and is independent of aerobic physical capacity in healthy subjects. *PloS One.* 2013;8(10):e77092.
197. Hynynen E, Konttinen N, Kinnunen U, Kyröläinen H, Rusko H. The incidence of stress symptoms and heart rate variability during sleep and orthostatic test. *Eur J Appl Physiol.* mayo de 2011;111(5):733-41.
198. Kokkinos PF, Giannelou A, Manolis A, Pittaras A. Physical activity in the prevention and management of high blood pressure. *Hell J Cardiol HJC Hellēnikē Kardiologikē Epitheōrēsē.* febrero de 2009;50(1):52-9.
199. Stensvold D, Tjønnå AE, Skaug E-A, Aspenes S, Stølen T, Wisløff U, et al. Strength training versus aerobic interval training to modify risk factors of metabolic syndrome. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985.* abril de 2010;108(4):804-10.
200. Fagard RH. Exercise intensity and blood pressure response to endurance training. *Hipertens Riesgo Vasc.* 2011;28(1):20-3.

201. Cornelissen VA, Fagard RH. Effects of endurance training on blood pressure, blood pressure-regulating mechanisms, and cardiovascular risk factors. *Hypertension*. octubre de 2005;46(4):667-75.
202. Chobanian, Bakris GL, Black HR, et al. The seventh report of the joint national committee on prevention, detection, evaluation, and treatment of high blood pressure: The jnc 7 report. *JAMA*. 21 de mayo de 2003;289(19):2560-71.
203. Haapanen N, Miilunpalo S, Vuori I, Oja P, Pasanen M. Association of leisure time physical activity with the risk of coronary heart disease, hypertension and diabetes in middle-aged men and women. *Int J Epidemiol*. agosto de 1997;26(4):739-47.
204. Yung LM, Laher I, Yao X, Chen ZY, Huang Y, Leung FP. Exercise, vascular wall and cardiovascular diseases: an update (part 2). *Sports Med Auckl NZ*. 2009;39(1):45-63.
205. OMS. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. 2000 p. 1-253. Report No.: 894: i-xii.
206. Pouliot MC, Després JP, Lemieux S, Moorjani S, Bouchard C, Tremblay A, et al. Waist circumference and abdominal sagittal diameter: best simple anthropometric indexes of abdominal visceral adipose tissue accumulation and related cardiovascular risk in men and women. *Am J Cardiol*. 1 de marzo de 1994;73(7):460-8.
207. Ross R, Léger L, Morris D, de Guise J, Guardo R. Quantification of adipose tissue by MRI: relationship with anthropometric variables. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. febrero de 1992;72(2):787-95.
208. Lean ME, Han TS, Morrison CE. Waist circumference as a measure for indicating need for weight management. *BMJ*. 15 de julio de 1995;311(6998):158-61.
209. Sclavo M. [Cardiovascular risk factors and prevention in women: similarities and differences]. *Ital Heart J Suppl Off J Ital Fed Cardiol*. febrero de 2001;2(2):125-41.
210. Alvero JR, Cabañas MD, Herrero A, Martínez L, Moreno C, Porta 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;26(131):166-79.
211. Seidell JC. Waist circumference and waist/hip ratio in relation to all-cause mortality, cancer and sleep apnea. *Eur J Clin Nutr*. enero de 2010;64(1):35-41.
212. Ratamess NA, Alvar BA, Evetoch TK, Housh TJ, Kibler WB, Kraemer WJ, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*. marzo de 2009;41(3):687-708.
213. Balady GJ, Chaitman B, Driscoll D, Foster C, Froelicher E, Gordon N, et al. Recommendations for cardiovascular screening, staffing, and emergency policies at health/fitness facilities. *Circulation*. 9 de junio de 1998;97(22):2283-93.
214. Pate R, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, et al. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA J Am Med Assoc*. 1 de febrero de 1995;273(5):402-7.
215. Pollock M, Gaesser G, Butcher J, Després J, Dishman R, Franklin BA, et al. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and

- muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* junio de 1998;30(6):975-91.
216. Esteve-Lanao J. Capítulo IV. Prescripción de ejercicio aeróbico. *Personal Training Entrenamiento Personal Bases, fundamentos y aplicaciones.* 2^a ed. Barcelona: Editorial Inde; 2007. p. 69-86.
 217. Haskell WL, Lee I-M, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc.* agosto de 2007;39(8):1423-34.
 218. Thompson PD, Franklin BA, Balady GJ, Blair SN, Corrado D, Estes NAM 3rd, et al. Exercise and acute cardiovascular events placing the risks into perspective: a scientific statement from the American Heart Association Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism and the Council on Clinical Cardiology. *Circulation.* 1 de mayo de 2007;115(17):2358-68.
 219. Hill A, Ward S, Deino A, Curtis G, Drake R. Earliest Homo. *Nature.* 20 de febrero de 1992;355(6362):719-22.
 220. Panter-Brick C. Sexual division of labor: energetic and evolutionary scenarios. *Am J Hum Biol Off J Hum Biol Counc.* octubre de 2002;14(5):627-40.
 221. Booth FW, Laye MJ, Lees SJ, Rector RS, Thyfault JP. Reduced physical activity and risk of chronic disease: the biology behind the consequences. *Eur J Appl Physiol.* marzo de 2008;102(4):381-90.
 222. O'Keefe JH Jr, Cordain L. Cardiovascular disease resulting from a diet and lifestyle at odds with our Paleolithic genome: how to become a 21st-century hunter-gatherer. *Mayo Clin Proc.* enero de 2004;79(1):101-8.
 223. Ruiz JR, Fiuza-Luces C, Garatachea N, Lucia A. Reduced Mortality in Former Elite Endurance Athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 28 de febrero de 2014;
 224. Bouchard C, Shephard RJ. Chapter 10. Dose-response issues. *Physical activity, fitness, and health consensus statement.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1993. p. 93-6.
 225. Boone-Heinonen J, Evenson KR, Taber DR, Gordon-Larsen P. Walking for prevention of cardiovascular disease in men and women: a systematic review of observational studies. *Obes Rev Off J Int Assoc Study Obes.* marzo de 2009;10(2):204-17.
 226. Byberg L, Melhus H, Gedeberg R, Sundström J, Ahlbom A, Zethelius B, et al. Total mortality after changes in leisure time physical activity in 50 year old men: 35 year follow-up of population based cohort. *BMJ.* 2009;338:b688.
 227. Paffenbarger RS Jr, Hyde RT, Wing AL, Hsieh CC. Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni. *N Engl J Med.* 6 de marzo de 1986;314(10):605-13.
 228. Tanasescu M, Leitzmann MF, Rimm EB, Willett WC, Stampfer MJ, Hu FB. Exercise type and intensity in relation to coronary heart disease in men. *JAMA J Am Med Assoc.* 23 de octubre de 2002;288(16):1994-2000.
 229. Warburton DER, Nicol CW, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: the evidence. *CMAJ Can Med Assoc J J Assoc Medicale Can.* 14 de marzo de 2006;174(6):801-9.
 230. Rodríguez F. Prescripción de ejercicio para la salud (I). Resistencia cardiorrespiratoria. *apunts.* 1995;39:87-102.
 231. Lamonte MJ, Ainsworth BE. Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *Med Sci Sports Exerc.* junio de 2001;33(6 Suppl):S370-378; discussion S419-420.

232. Sesso HD, Paffenbarger RS, Ha T, Lee IM. Physical activity and cardiovascular disease risk in middle-aged and older women. *Am J Epidemiol.* 15 de agosto de 1999;150(4):408-16.
233. Wood PD, Haskell WL, Blair SN, Williams PT, Krauss RM, Lindgren FT, et al. Increased exercise level and plasma lipoprotein concentrations: a one-year, randomized, controlled study in sedentary, middle-aged men. *Metabolism.* enero de 1983;32(1):31-9.
234. Boraita A, Baño A, Berrazueta J, Lamiel R, Luengo E, Manonelles P, et al. Guías de práctica clínica de la Sociedad Española de Cardiología sobre la actividad física en el cardiópata. *Rev Esp Cardiol.* 2000;53:684-726.
235. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, Smith BK, et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc.* febrero de 2009;41(2):459-71.
236. Westcott WL. Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Curr Sports Med Rep.* agosto de 2012;11(4):209-16.
237. Hu F, Willett WC, Li T, Stampfer MJ, Colditz GA, Manson JE. Adiposity as Compared with Physical Activity in Predicting Mortality among Women. *N Engl J Med.* 2004;351(26):2694-703.
238. Jakicic JM, Marcus BH, Gallagher KI, Napolitano M, Lang W. Effect of exercise duration and intensity on weight loss in overweight, sedentary women: a randomized trial. *JAMA J Am Med Assoc.* 10 de septiembre de 2003;290(10):1323-30.
239. Izquierdo M, Hakkinen K, Ibanez J, Anton A, Garrues M, Ruesta M, et al. Effects of strength training on submaximal and maximal endurance performance capacity in middle-aged and older men. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* febrero de 2003;17(1):129-39.
240. Okura T, Nakata Y, Yamabuki K, Tanaka K. Regional body composition changes exhibit opposing effects on coronary heart disease risk factors. *Arterioscler Thromb Vasc Biol.* mayo de 2004;24(5):923-9.
241. Donnelly JE, Honas JJ, Smith BK, Mayo MS, Gibson CA, Sullivan DK, et al. Aerobic exercise alone results in clinically significant weight loss for men and women: midwest exercise trial 2. *Obes Silver Spring Md.* marzo de 2013;21(3):E219-228.
242. Botero JP, Prado WL, Guerra RLF, Speretta GFF, Leite RD, Prestes J, et al. Does aerobic exercise intensity affect health-related parameters in overweight women? *Clin Physiol Funct Imaging.* marzo de 2014;34(2):138-42.
243. Shore S, Shinkai S, Rhind S, Shephard RJ. Immune responses to training: how critical is training volume? *J Sports Med Phys Fitness.* marzo de 1999;39(1):1-11.
244. Wenger HA, Bell GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med Auckl NZ.* octubre de 1986;3(5):346-56.
245. Nakamura Y, Tanaka K, Yabushita N, Sakai T, Shigematsu R. Effects of exercise frequency on functional fitness in older adult women. *Arch Gerontol Geriatr.* abril de 2007;44(2):163-73.
246. Pavey TG, Peeters G, Bauman AE, Brown WJ. Does vigorous physical activity provide additional benefits beyond those of moderate? *Med Sci Sports Exerc.* octubre de 2013;45(10):1948-55.

247. Siscovick DS, Weiss NS, Fletcher RH, Lasky T. The incidence of primary cardiac arrest during vigorous exercise. *N Engl J Med.* 4 de octubre de 1984;311(14):874-7.
248. Chomistek AK, Chiuve SE, Jensen MK, Cook NR, Rimm EB. Vigorous physical activity, mediating biomarkers, and risk of myocardial infarction. *Med Sci Sports Exerc.* octubre de 2011;43(10):1884-90.
249. Sesso HD, Paffenbarger RS Jr, Lee IM. Physical activity and coronary heart disease in men: The Harvard Alumni Health Study. *Circulation.* 29 de agosto de 2000;102(9):975-80.
250. Wannamethee SG, Shaper AG. Physical activity in the prevention of cardiovascular disease: an epidemiological perspective. *Sports Med Auckl NZ.* febrero de 2001;31(2):101-14.
251. Albert CM, Mittleman MA, Chae CU, Lee IM, Hennekens CH, Manson JE. Triggering of sudden death from cardiac causes by vigorous exertion. *N Engl J Med.* 9 de noviembre de 2000;343(19):1355-61.
252. Kohl HW 3rd, Powell KE, Gordon NF, Blair SN, Paffenbarger RS Jr. Physical activity, physical fitness, and sudden cardiac death. *Epidemiol Rev.* 1992;14:37-58.
253. Ehlen KA, Reiser RF 2nd, Browning RC. Energetics and biomechanics of inclined treadmill walking in obese adults. *Med Sci Sports Exerc.* julio de 2011;43(7):1251-9.
254. Daussin FN, Ponsot E, Dufour SP, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, Geny B, et al. Improvement of VO₂max by cardiac output and oxygen extraction adaptation during intermittent versus continuous endurance training. *Eur J Appl Physiol.* octubre de 2007;101(3):377-83.
255. Daussin FN, Zoll J, Dufour SP, Ponsot E, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, et al. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* julio de 2008;295(1):R264-272.
256. Hazell TJ, Macpherson REK, Gravelle BMR, Lemon PWR. 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. *Eur J Appl Physiol.* septiembre de 2010;110(1):153-60.
257. Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* abril de 2007;39(4):665-71.
258. Nybo L, Sundstrup E, Jakobsen MD, Mohr M, Hornstrup T, Simonsen L, et al. High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. *Med Sci Sports Exerc.* octubre de 2010;42(10):1951-8.
259. Boullosa DA, Leicht AS, Tuimil JL. Impact of fire-fighters training on a female with smoldering multiple myeloma. *J Sports Med Phys Fitness.* septiembre de 2010;50(3):326-9.
260. Williams PT. Relationship of running intensity to hypertension, hypercholesterolemia, and diabetes. *Med Sci Sports Exerc.* octubre de 2008;40(10):1740-8.
261. Wisløff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognmo Ø, Haram PM, et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation.* 19 de junio de 2007;115(24):3086-94.

262. Ciolac EG, Bocchi EA, Bortolotto LA, Carvalho VO, Greve JM, Guimarães GV. Effects of high-intensity aerobic interval training vs. moderate exercise on hemodynamic, metabolic and neuro-humoral abnormalities of young normotensive women at high familial risk for hypertension. *Hypertens Res Off J Jpn Soc Hypertens.* agosto de 2010;33(8):836-43.
263. Earnest CP. Exercise interval training: an improved stimulus for improving the physiology of pre-diabetes. *Med Hypotheses.* noviembre de 2008;71(5):752-61.
264. Irving BA, Davis CK, Brock DW, Weltman JY, Swift D, Barrett EJ, et al. Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition. *Med Sci Sports Exerc.* noviembre de 2008;40(11):1863-72.
265. Nemoto K, Gen-no H, Masuki S, Okazaki K, Nose H. Effects of high-intensity interval walking training on physical fitness and blood pressure in middle-aged and older people. *Mayo Clin Proc.* julio de 2007;82(7):803-11.
266. O'Donovan G, Owen A, Bird SR, Kearney EM, Nevill AM, Jones DW, et al. Changes in cardiorespiratory fitness and coronary heart disease risk factors following 24 wk of moderate- or high-intensity exercise of equal energy cost. *J Appl Physiol Bethesda Md 1985.* mayo de 2005;98(5):1619-25.
267. Raymond MJ, Bramley-Tzerefos RE, Jeffs KJ, Winter A, Holland AE. Systematic review of high-intensity progressive resistance strength training of the lower limb compared with other intensities of strength training in older adults. *Arch Phys Med Rehabil.* agosto de 2013;94(8):1458-72.
268. Wallman K, Plant LA, Rakimov B, Maiorana AJ. The effects of two modes of exercise on aerobic fitness and fat mass in an overweight population. *Res Sports Med Print.* 2009;17(3):156-70.
269. Whyte LJ, Gill JMR, Cathcart AJ. Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism.* octubre de 2010;59(10):1421-8.
270. Williams PT. Relationships of heart disease risk factors to exercise quantity and intensity. *Arch Intern Med.* 9 de febrero de 1998;158(3):237-45.
271. Heydari M, Boutcher YN, Boutcher SH. High-intensity intermittent exercise and cardiovascular and autonomic function. *Clin Auton Res Off J Clin Auton Res Soc.* febrero de 2013;23(1):57-65.
272. Shinton R, Sagar G. Lifelong exercise and stroke. *BMJ.* 24 de julio de 1993;307(6898):231-4.
273. Gaesser GA, Angadi SS. High-intensity interval training for health and fitness: can less be more? *J Appl Physiol Bethesda Md 1985.* diciembre de 2011;111(6):1540-1.
274. Hawley JA, Myburgh KH, Noakes TD, Dennis SC. Training techniques to improve fatigue resistance and enhance endurance performance. *J Sports Sci.* junio de 1997;15(3):325-33.
275. Seiler S, Hetlelid KJ. The impact of rest duration on work intensity and RPE during interval training. *Med Sci Sports Exerc.* septiembre de 2005;37(9):1601-7.
276. Seals DR, Hagberg JM, Hurley BF, Ehsani AA, Holloszy JO. Endurance training in older men and women. I. Cardiovascular responses to exercise. *J Appl Physiol.* octubre de 1984;57(4):1024-9.
277. Eriksen L, Dahl-Petersen I, Haugaard SB, Dela F. Comparison of the effect of multiple short-duration with single long-duration exercise sessions on glucose homeostasis in type 2 diabetes mellitus. *Diabetologia.* noviembre de 2007;50(11):2245-53.

278. Shephard RJ. Intensity, duration and frequency of exercise as determinants of the response to a training regime. *Int Z Für Angew Physiol Einschl Arbeitsphysiologie*. 1968;26(3):272-8.
279. Brockman L, Berg K, Latin R. Oxygen uptake during recovery from intense intermittent running and prolonged walking. *J Sports Med Phys Fitness*. diciembre de 1993;33(4):330-6.
280. Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, Boutcher SH. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes* 2005. abril de 2008;32(4):684-91.
281. Unal M, Erdem S, Deniz G. The effects of chronic aerobic and anaerobic exercises on lymphocyte subgroups. *Acta Physiol Hung*. 2005;92(2):163-71.
282. Tulppo MP, Hautala AJ, Mäkikallio TH, Laukkanen RT, Nissilä S, Hughson RL, et al. Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. julio de 2003;95(1):364-72.
283. Cornelissen VA, Arnout J, Holvoet P, Fagard RH. Influence of exercise at lower and higher intensity on blood pressure and cardiovascular risk factors at older age. *J Hypertens*. abril de 2009;27(4):753-62.
284. Lamina S. Comparative effect of interval and continuous training programs on serum uric acid in management of hypertension: a randomized controlled trial. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. marzo de 2011;25(3):719-26.
285. Kessler HS, Sisson SB, Short KR. The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Med Auckl NZ*. 1 de junio de 2012;42(6):489-509.
286. Grediagin A, Cody M, Rupp J, Benardot D, Shern R. Exercise intensity does not effect body composition change in untrained, moderately overfat women. *J Am Diet Assoc*. junio de 1995;95(6):661-5.
287. Ratel S, Gryson C, Rance M, Penando S, Bonhomme C, Le Ruyet P, et al. Detraining-induced alterations in metabolic and fitness markers after a multicomponent exercise-training program in older men. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme*. febrero de 2012;37(1):72-9.
288. Uchida MC, Nosaka K, Ugrinowitsch C, Yamashita A, Martins E Jr, Moriscot AS, et al. Effect of bench press exercise intensity on muscle soreness and inflammatory mediators. *J Sports Sci*. marzo de 2009;27(5):499-507.
289. Boullosa DA, Abreu L, Tuimil JL, Leicht AS. Impact of a soccer match on the cardiac autonomic control of referees. *Eur J Appl Physiol*. junio de 2012;112(6):2233-42.
290. Guerra ZF, Peçanha T, Moreira DN, Silva LP, Laterza MC, Nakamura FY, et al. Effects of load and type of physical training on resting and postexercise cardiac autonomic control. *Clin Physiol Funct Imaging*. marzo de 2014;34(2):114-20.
291. Gist NH, Fedewa MV, Dishman RK, Cureton KJ. Sprint interval training effects on aerobic capacity: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med Auckl NZ*. febrero de 2014;44(2):269-79.
292. Di Prampero PE, Capelli C, Pagliaro P, Antonutto G, Girardis M, Zamparo P, et al. Energetics of best performances in middle-distance running. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. mayo de 1993;74(5):2318-24.
293. Weir J. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol*. agosto de 1949;109(1-2):1-9.
294. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, Christman NT. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr*. septiembre de 1988;48(3):552-9.

295. Impellizzeri FM, Rampinini E, Marcora SM. Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sports Sci.* junio de 2005;23(6):583-92.
296. Overend TJ, Paterson DH, Cunningham DA. The effect of interval and continuous training on the aerobic parameters. *Can J Sport Sci J Can Sci Sport.* junio de 1992;17(2):129-34.
297. Banister E. Modeling elite athletic performance. *Physiological testing of elite athletes.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1991. p. 403-24.
298. Edwards S. The heart rate monitor book. *The heart rate monitor book.* Sacramento: Fleet Fleet Press; 1993. p. 113-29.
299. Lucia A, Hoyos J, Santalla A, Earnest C, Chicharro JL. Tour de France versus Vuelta a España: which is harder? *Med Sci Sports Exerc.* mayo de 2003;35(5):872-8.
300. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-81.
301. 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 Natl Strength Cond Assoc.* febrero de 2001;15(1):109-15.
302. Pollock M, Wilmore J. Exercise in health and disease: evaluation and prescription for prevention and rehabilitation. 2^a ed. Philadelphia: Saunders, WB; 1990. 91-160 p.
303. Robertson RJ, Noble BJ. Perception of physical exertion: methods, mediators, and applications. *Exerc Sport Sci Rev.* 1997;25:407-52.
304. Hardy C, Rejeski W. Not what, but how one feels: The measurement of affect during exercise. *J Sport Exerc Physiol.* 1989;11:304-17.
305. Rejeski WJ, Best DL, Griffith P, Kenney E. Sex-Role Orientation and the Responses of Men to Exercise Stress. *Res Q Exerc Sport.* 1987;58(3):260-4.
306. Gilman MB, Wells CL. The use of heart rates to monitor exercise intensity in relation to metabolic variables. *Int J Sports Med.* agosto de 1993;14(6):339-44.
307. Rathnow KM, Mangum M. A comparison of single-versus multi-modal exercise programs: effects on aerobic power. *J Sports Med Phys Fitness.* diciembre de 1990;30(4):382-8.
308. Pollock ML, Dimmick J, Miller HS Jr, Kendrick Z, Linnerud AC. Effects of mode of training on cardiovascular function and body composition of adult men. *Med Sci Sports.* 1975;7(2):139-45.
309. Egaña M, Donne B. Physiological changes following a 12 week gym based stair-climbing, elliptical trainer and treadmill running program in females. *J Sports Med Phys Fitness.* junio de 2004;44(2):141-6.
310. Clausen JP, Trap-Jensen J, Lassen NA. The effects of training on the heart rate during arm and leg exercise. *Scand J Clin Lab Invest.* noviembre de 1970;26(3):295-301.
311. Bompa T. *Periodización: teoría y metodología del entrenamiento.* Barcelona: Hispano Europea; 2003. 429 p.
312. Kiely J. Periodization paradigms in the 21st century: evidence-led or tradition-driven? *Int J Sports Physiol Perform.* septiembre de 2012;7(3):242-50.
313. Lorenz DS, Reiman MP, Walker JC. Periodization: current review and suggested implementation for athletic rehabilitation. *Sports Health.* noviembre de 2010;2(6):509-18.
314. García J, Navarro M, Ruiz J. *Planificación del entrenamiento deportivo.* Madrid: Gymnos; 1996. 169 p.
315. Zintl F. *Entrenamiento de la resistencia.* Barcelona: Martínez Roca; 1991.

316. Marcora SM, Staiano W, Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. marzo de 2009;106(3):857-64.
317. Casas A. Capítulo IX. Evaluación de la aptitud física: selección, administración de protocolos y valores de referencia. *Entrenamiento personal Bases, fundamentos y aplicaciones*. Madrid: Inde Publicaciones; 2007.
318. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc*. febrero de 1994;26(2):254-7.
319. Berthoin S, Pelayo P, Lensele-Corbeil G, Robin H, Gerbeaux M. Comparison of maximal aerobic speed as assessed with laboratory and field measurements in moderately trained subjects. *Int J Sports Med*. octubre de 1996;17(7):525-9.
320. Lacour JR, Padilla-Magunacelaya S, Chatard JC, Arsac L, Barthélémy JC. Assessment of running velocity at maximal oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol*. 1991;62(2):77-82.
321. Brue F. Une variante du test progressif et maximal de Léger et Boucher: le test vitesse maximale aérobie derrière cycliste (test VMA). *Bull Med Fed Fr Athlet*. 1985;7:1-18.
322. Léger L, Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montréal track test. *Can J Appl Sport Sci J Can Sci Appliquées Au Sport*. junio de 1980;5(2):77-84.
323. Boullosa DA, Tuimil JL. Postactivation potentiation in distance runners after two different field running protocols. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. agosto de 2009;23(5):1560-5.
324. Boullosa D, Tuimil J. Relación entre la velocidad aeróbica máxima y el rendimiento en 1000 m. *Actas del XXIII Congreso Nacional de Educación Física*. 2004. p. 27.
325. Billat V, Lepretre P-M, Heugas A-M, Laurence M-H, Salim D, Koralsztein JP. Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Med Sci Sports Exerc*. febrero de 2003;35(2):297-304; discussion 305-306.
326. Boullosa D, Tuimil J. Relación entre la velocidad aeróbica máxima de carrera y el rendimiento en pruebas atléticas de resistencia en atletas jóvenes. *Actas del I Congreso Internacional UEM*. 2005. p. 940-6.
327. Bragada JA, Santos PJ, Maia JA, Colaco PJ, Lopes VP, Barbosa TM. Longitudinal Study in 3,000 m Male Runners: Relationship between Performance and Selected Physiological Parameters. *J Sports Sci Med*. 1 de septiembre de 2010;9(3):439-44.
328. Lacour J, Montmayeur A, Domois D, Gaçon G, Padilla S, Viale C. Validation de l'épreuve de mesure de la vitesse maximale aérobie (VMA) dans un groupe de coureurs de haut niveau. *Sci Mot*. 1989;7:3-8.
329. Rodríguez F, Aragonés M. Valoración funcional de la capacidad de rendimiento físico. *Fisiología de la actividad física y el deporte*. Madrid: Interamericana/McGraw-Hill; 1992. p. 237-78.
330. García J, Navarro M, Ruiz J. Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte. Madrid: Gymnos; 1996. 272 p.
331. García M, Leibar X. Entrenamiento de la resistencia de los corredores de medio fondo y fondo. Madrid: Gymnos; 1997.
332. Tuimil J, Rodríguez F. La velocidad aeróbica máxima de carrera (VAM). *RED*. 2003;XVIII(I):31-5.

333. Tuimil J, Fernández M, Martín R, Iglesias X, Rodríguez F. Running efficiency parameters during a track test for the determination of maximal aerobic speed. Proceedings of the 6th annual Congress of the ECSS. Colonia: Sport und Buch Strauss; 2001.
334. Léger L, Mercier D. Coût énergétique de la course sur tapis roulant et sur piste. *Mot Hum.* 1983;2:66-9.
335. González-Badillo J, Izquierdo M. Capítulo 27. Fuerza muscular: propiedades biomecánicas del músculo. *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte.* Madrid: Médica Panamericana; 2008.
336. Naclerio F. Capítulo V. Entrenamiento de fuerza y prescripción de ejercicio. *Entrenamiento personal Bases, fundamentos y aplicaciones.* Barcelona: Inde Publicaciones; 2007.
337. Magyari P. Resistance training intensity. *ACSMs Certif News.* 2010;20(2):3-4.
338. González-Badillo J, Izquierdo M. Capítulo 30. Evaluación de la fuerza en el control del entrenamiento y el rendimiento deportivo. *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte.* Madrid: Médica Panamericana; 2008.
339. Matuszak ME, Fry AC, Weiss LW, Ireland TR, McKnight MM. Effect of rest interval length on repeated 1 repetition maximum back squats. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* noviembre de 2003;17(4):634-7.
340. ACSM. ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription. 7th ed. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
341. Mayhew J, Ball T, Arnold M, Bowen J. Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *J Appl Sport Sci Res.* 1992;6:200-6.
342. Wathan D. Load assignment. *Essentials of strength training and conditioning.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1994. p. 435-9.
343. Brown L, Weir J. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. *J Exerc Physiol.* 2001;4(3):1-21.
344. LeSuer D, McCormick J, Mayhew J, Wasserstein R, Arnold M. The accuracy of prediction equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat, and deadlift. *J Strength Cond Res.* 1997;11(4):211-3.
345. Feltner ME, MacRae PG. Time course of changes in novice jumpers' countermovement vertical jump performance. *Percept Mot Skills.* febrero de 2011;112(1):228-42.
346. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc.* diciembre de 1990;22(6):825-33.
347. Aboodarda SJ, Yusof A, Abu Osman NA, Thompson MW, Mokhtar AH. Enhanced performance with elastic resistance during the eccentric phase of a countermovement jump. *Int J Sports Physiol Perform.* marzo de 2013;8(2):181-7.
348. Dalleau G, Belli A, Bourdin M, Lacour JR. The spring-mass model and the energy cost of treadmill running. *Eur J Appl Physiol.* febrero de 1998;77(3):257-63.
349. Bobbert MF, Gerritsen KG, Litjens MC, Van Soest AJ. Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Med Sci Sports Exerc.* noviembre de 1996;28(11):1402-12.
350. Hunter I, Smith GA. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. *Eur J Appl Physiol.* agosto de 2007;100(6):653-61.

351. Saunders PU, Pyne DB, Telford RD, Hawley JA. Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med Auckl NZ*. 2004;34(7):465-85.
352. Picerno P, Camomilla V, Capranica L. Countermovement jump performance assessment using a wearable 3D inertial measurement unit. *J Sports Sci*. enero de 2011;29(2):139-46.
353. Williams MD, Bradshaw EJ, Maschette WE. Measurement agreement (repeatability) for a countermovement jump protocol using a portable forceplate. *Int J Sports Physiol Perform*. diciembre de 2007;2(4):445-8.
354. Docherty D, Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med Auckl NZ*. diciembre de 2000;30(6):385-94.
355. Hawley JA. Molecular responses to strength and endurance training: are they incompatible? *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme*. junio de 2009;34(3):355-61.
356. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol*. 1980;45(2-3):255-63.
357. Hausswirth C, Argentin S, Bieuzen F, Le Meur Y, Couturier A, Brisswalter J. Endurance and strength training effects on physiological and muscular parameters during prolonged cycling. *J Electromyogr Kinesiol Off J Int Soc Electrophysiol Kinesiol*. abril de 2010;20(2):330-9.
358. Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM, Kurowski TT, Foster C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. noviembre de 1988;65(5):2285-90.
359. Izquierdo-Gabarren M, González De Txabarri Expósito R, García-pallarés J, Sánchez-medina L, De Villarreal ESS, Izquierdo M. Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc*. junio de 2010;42(6):1191-9.
360. Paavolainen L, Häkkinen K, Hämaläinen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. mayo de 1999;86(5):1527-33.
361. Paavolainen L, Häkkinen K, Rusko H. Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol*. 1991;62(4):251-5.
362. Yamamoto LM, Lopez RM, Klau JF, Casa DJ, Kraemer WJ, Maresh CM. The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: a systematic review. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. noviembre de 2008;22(6):2036-44.
363. Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol*. marzo de 2000;81(5):418-27.
364. Chtara M, Chaouachi A, Levin GT, Chaouachi M, Chamari K, Amri M, et al. Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. julio de 2008;22(4):1037-45.
365. Davis WJ, Wood DT, Andrews RG, Elkind LM, Davis WB. Concurrent training enhances athletes' cardiovascular and cardiorespiratory measures. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. septiembre de 2008;22(5):1503-14.
366. Kang J, Ratamess N. Which comes first? Resistance before aerobic exercise or vice versa? *ACSMs Health Fit J*. 2014;18(1):9-14.

367. Simão R, de Salles BF, Figueiredo T, Dias I, Willardson JM. Exercise order in resistance training. *Sports Med Auckl NZ*. 1 de marzo de 2012;42(3):251-65.
368. Spinetti J, de Salles BF, Rhea MR, Lavigne D, Matta T, Miranda F, et al. Influence of exercise order on maximum strength and muscle volume in nonlinear periodized resistance training. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. noviembre de 2010;24(11):2962-9.
369. Chtara M, Chamari K, Chaouachi M, Chaouachi A, Koubaa D, Feki Y, et al. Effects of intra-session concurrent endurance and strength training sequence on aerobic performance and capacity. *Br J Sports Med*. agosto de 2005;39(8):555-60.
370. Gary RA, Cress ME, Higgins MK, Smith AL, Dunbar SB. Combined aerobic and resistance exercise program improves task performance in patients with heart failure. *Arch Phys Med Rehabil*. septiembre de 2011;92(9):1371-81.
371. Beckers PJ, Denollet J, Possemiers NM, Wuyts FL, Vrints CJ, Conraads VM. Combined endurance-resistance training vs. endurance training in patients with chronic heart failure: a prospective randomized study. *Eur Heart J*. agosto de 2008;29(15):1858-66.
372. Praet SFE, Jonkers RAM, Schep G, Stehouwer CDA, Kuipers H, Keizer HA, et al. Long-standing, insulin-treated type 2 diabetes patients with complications respond well to short-term resistance and interval exercise training. *Eur J Endocrinol Eur Fed Endocr Soc*. febrero de 2008;158(2):163-72.
373. Ho SS, Dhaliwal SS, Hills AP, Pal S. The effect of 12 weeks of aerobic, resistance or combination exercise training on cardiovascular risk factors in the overweight and obese in a randomized trial. *BMC Public Health*. 2012;12:704.
374. Shaw I, Shaw BS, Brown GA. Concurrent training and pulmonary function in smokers. *Int J Sports Med*. octubre de 2011;32(10):776-80.
375. Asikainen T-M, Suni JH, Pasanen ME, Oja P, Rinne MB, Miilunpalo SI, et al. Effect of brisk walking in 1 or 2 daily bouts and moderate resistance training on lower-extremity muscle strength, balance, and walking performance in women who recently went through menopause: a randomized, controlled trial. *Phys Ther*. julio de 2006;86(7):912-23.
376. Valkeinen H, Alén M, Häkkinen A, Hannonen P, Kukkonen-Harjula K, Häkkinen K. Effects of concurrent strength and endurance training on physical fitness and symptoms in postmenopausal women with fibromyalgia: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*. septiembre de 2008;89(9):1660-6.
377. Izquierdo M, Ibañez J, Häkkinen K, Kraemer WJ, Larrión JL, Gorostiaga EM. Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc*. marzo de 2004;36(3):435-43.
378. Skinner JS, McLellan TH. The Transition from Aerobic to Anaerobic Metabolism. *Res Q Exerc Sport*. 1980;51(1):234-48.
379. Neal CM, Hunter AM, Brennan L, O'Sullivan A, Hamilton DL, De Vito G, et al. Six weeks of a polarized training-intensity distribution leads to greater physiological and performance adaptations than a threshold model in trained cyclists. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. 15 de febrero de 2013;114(4):461-71.
380. Enoksen E, Shalfawi SAI, Tønnessen E. The effect of high- vs. low-intensity training on aerobic capacity in well-trained male middle-distance runners. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. marzo de 2011;25(3):812-8.
381. Mejuto G, Arratibel I, Cámara J, Puente A, Iturriaga G, Calleja-González J. The effect of a 6-week individual anaerobic threshold based programme in a traditional rowing crew. *Biol Sport*. 2012;29:297-301.

382. Denis C, Dormois D, Lacour JR. Endurance training, VO₂ max, and OBLA: a longitudinal study of two different age groups. *Int J Sports Med.* agosto de 1984;5(4):167-73.
383. Gaskill SE, Walker AJ, Serfass RA, Bouchard C, Gagnon J, Rao DC, et al. Changes in ventilatory threshold with exercise training in a sedentary population: the HERITAGE Family Study. *Int J Sports Med.* noviembre de 2001;22(8):586-92.
384. Londeree BR. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* junio de 1997;29(6):837-43.
385. Kim HS, Tanaka K, Maeda K. Effects of exercise training at an intensity relative to lactate threshold in mildly obese women. *Ann Physiol Anthropol Seiri Jinruigaku Kenkyūkai Kaishi.* octubre de 1991;10(4):229-36.
386. Duscha BD, Slentz CA, Johnson JL, Houmard JA, Bensimhon DR, Knetzger KJ, et al. Effects of exercise training amount and intensity on peak oxygen consumption in middle-age men and women at risk for cardiovascular disease. *Chest.* octubre de 2005;128(4):2788-93.
387. Muñoz I, Seiler S, Bautista J, España J, Larumbe E, Esteve-Lanao J. Does polarized training improve performance in recreational runners? *Int J Sports Physiol Perform.* marzo de 2014;9(2):265-72.
388. Muñoz I, Cejuela R, Seiler S, Larumbe E, Esteve-Lanao J. Training-intensity distribution during an ironman season: relationship with competition performance. *Int J Sports Physiol Perform.* marzo de 2014;9(2):332-9.
389. Duncan GE, Anton SD, Sydemann SJ, Newton RL Jr, Corsica JA, Durning PE, et al. Prescribing exercise at varied levels of intensity and frequency: a randomized trial. *Arch Intern Med.* 14 de noviembre de 2005;165(20):2362-9.
390. Hood MS, Little JP, Tarnopolsky MA, Myslik F, Gibala MJ. Low-volume interval training improves muscle oxidative capacity in sedentary adults. *Med Sci Sports Exerc.* octubre de 2011;43(10):1849-56.
391. Little JP, Gillen JB, Percival ME, Safdar A, Tarnopolsky MA, Punthakee Z, et al. Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. diciembre de 2011;111(6):1554-60.
392. Tjønnå AE, Lee SJ, Rognum Ø, Stølen TO, Bye A, Haram PM, et al. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: a pilot study. *Circulation.* 22 de julio de 2008;118(4):346-54.
393. Gorostiaga EM, Walter CB, Foster C, Hickson RC. Uniqueness of interval and continuous training at the same maintained exercise intensity. *Eur J Appl Physiol.* 1991;63(2):101-7.
394. Billat VL, Slawinski J, Bocquet V, Demarle A, Lafitte L, Chassaing P, et al. Intermittent runs at the velocity associated with maximal oxygen uptake enables subjects to remain at maximal oxygen uptake for a longer time than intense but submaximal runs. *Eur J Appl Physiol.* febrero de 2000;81(3):188-96.
395. Clark JE. Examining matched acute physiological responses to various modes of exercise in individuals who are overweight. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* agosto de 2010;24(8):2239-48.
396. Perry CGR, Heigenhauser GJF, Bonen A, Spriet LL. High-intensity aerobic interval training increases fat and carbohydrate metabolic capacities in human skeletal muscle. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme.* diciembre de 2008;33(6):1112-23.

397. Talanian JL, Galloway SDR, Heigenhauser GJF, Bonen A, Spriet LL. Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. abril de 2007;102(4):1439-47.
398. Denadai BS, Ortiz MJ, Greco CC, de Mello MT. Interval training at 95% and 100% of the velocity at VO₂ max: effects on aerobic physiological indexes and running performance. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme*. diciembre de 2006;31(6):737-43.
399. Seiler S, Haugen O, Kuffel E. Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Med Sci Sports Exerc*. agosto de 2007;39(8):1366-73.
400. Stöggl T, Sperlich B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training. *Front Physiol*. 2014;5:33.
401. Bougard C, Moussay S, Gauthier A, Espié S, Davenne D. Effects of waking time and breakfast intake prior to evaluation of psychomotor performance in the early morning. *Chronobiol Int*. febrero de 2009;26(2):324-36.
402. Sagiv M, Sagiv A, Soudry M, Ben-Sira D, Ben-Gal S, Rudoy J. Influence of the time of day on physical performance in patients with coronary artery disease. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1995;71(6):530-4.
403. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*. enero de 2001;37(1):153-6.
404. Boullosa DA, Tuimil JL, Alegre LM, Iglesias E, Lusquiños F. Concurrent fatigue and potentiation in endurance athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. marzo de 2011;6(1):82-93.
405. Aragonés M, Casajús J, Rodríguez F, Cabañas M. Protocolos de medidas antropométricas. *Manual de Cineantropometría*. Pamplona: GREC-FEMEDE; 1993.
406. Eknayan G. Adolphe Quetelet (1796-1874)--the average man and indices of obesity. *Nephrol Dial Transplant Off Publ Eur Dial Transpl Assoc - Eur Ren Assoc*. enero de 2008;23(1):47-51.
407. Poole DC, Wilkerson DP, Jones AM. Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *Eur J Appl Physiol*. marzo de 2008;102(4):403-10.
408. Midgley AW, McNaughton LR, Polman R, Marchant D. Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. *Sports Med Auckl NZ*. 2007;37(12):1019-28.
409. Robertson RJ, Goss FL, Rutkowski J, Lenz B, Dixon C, Timmer J, et al. Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. febrero de 2003;35(2):333-41.
410. Tuimil JL, Boullosa DA, Fernández-del-Olmo MA, Rodríguez FA. Effect of equated continuous and interval running programs on endurance performance and jump capacity. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. agosto de 2011;25(8):2205-11.
411. Ahtiainen JP, Pakarinen A, Alen M, Kraemer WJ, Häkkinen K. Short vs. long rest period between the sets in hypertrophic resistance training: influence on muscle strength, size, and hormonal adaptations in trained men. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. agosto de 2005;19(3):572-82.
412. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.

413. Carnethon MR, Liao D, Evans GW, Cascio WE, Chambless LE, Rosamond WD, et al. Does the cardiac autonomic response to postural change predict incident coronary heart disease and mortality? The Atherosclerosis Risk in Communities Study. *Am J Epidemiol.* 1 de enero de 2002;155(1):48-56.
414. Srinivasan K, Sucharita S, Vaz M. Effect of standing on short term heart rate variability across age. *Clin Physiol Funct Imaging.* noviembre de 2002;22(6):404-8.
415. García JJ, Bote E, Hinchado MD, Ortega E. A single session of intense exercise improves the inflammatory response in healthy sedentary women. *J Physiol Biochem.* marzo de 2011;67(1):87-94.
416. Meckel Y, Eliakim A, Seraev M, Zaldivar F, Cooper DM, Sagiv M, et al. The effect of a brief sprint interval exercise on growth factors and inflammatory mediators. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* enero de 2009;23(1):225-30.
417. Scott JPR, Sale C, Greeves JP, Casey A, Dutton J, Fraser WD. Effect of exercise intensity on the cytokine response to an acute bout of running. *Med Sci Sports Exerc.* diciembre de 2011;43(12):2297-306.
418. Pataky Z, Bobbioni-Harsch E, Makoundou V, Golay A. [Enlarged waist circumference and cardiovascular risk factors]. *Rev Médicale Suisse.* 25 de marzo de 2009;5(196):671-2, 674-5.
419. McMahon TA, Cheng GC. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *J Biomech.* 1990;23 Suppl 1:65-78.
420. Tuimil J. Efectos del entrenamiento continuo e interválico sobre la velocidad aeróbica máxima de carrera. [La Coruña]: Universidade da Coruña; 1999.
421. Boullosa DA, Tuimil JL, Leicht AS, Crespo-Salgado JJ. Parasympathetic modulation and running performance in distance runners. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* marzo de 2009;23(2):626-31.
422. Cermak NM, van Loon LJC. The use of carbohydrates during exercise as an ergogenic aid. *Sports Med Auckl NZ.* noviembre de 2013;43(11):1139-55.
423. Tuimil J, Iglesias E, Dopico J, Morenilla L. Efectos del entrenamiento continuo e interválico de carga externa similar sobre la frecuencia cardiaca. *Motricidad.* 2005;13:107-18.
424. Sloth M, Sloth D, Overgaard K, Dalgas U. Effects of sprint interval training on VO₂max and aerobic exercise performance: A systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports.* diciembre de 2013;23(6):e341-352.
425. Weston KS, Wisløff U, Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 21 de octubre de 2013;
426. De Feo P, Di Loreto C, Lucidi P, Murdolo G, Parlanti N, De Cicco A, et al. Metabolic response to exercise. *J Endocrinol Invest.* septiembre de 2003;26(9):851-4.
427. Powers S, Howley E. Section I: Physiology of exercise. *Bioenergetics. Exercise physiology: theory and application to fitness and performance.* 7th ed. McGraw-Hill; 2009.
428. Hawley JA. Nutritional strategies to modulate the adaptive response to endurance training. *Nestlé Nutr Inst Workshop Ser.* 2013;75:1-14.
429. Morris JN, Hardman AE. Walking to health. *Sports Med Auckl NZ.* mayo de 1997;23(5):306-32.

430. Ogilvie D, Foster CE, Rothnie H, Cavill N, Hamilton V, Fitzsimons CF, et al. Interventions to promote walking: systematic review. *BMJ*. 9 de junio de 2007;334(7605):1204.
431. Murphy MH, Nevill AM, Murtagh EM, Holder RL. The effect of walking on fitness, fatness and resting blood pressure: a meta-analysis of randomised, controlled trials. *Prev Med*. mayo de 2007;44(5):377-85.
432. Astorino TA, Allen RP, Roberson DW, Jurancich M. Effect of high-intensity interval training on cardiovascular function, VO₂max, and muscular force. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. enero de 2012;26(1):138-45.
433. Hovanloo F, Arefirad T, Ahmadizad S. Effects of sprint interval and continuous endurance training on serum levels of inflammatory biomarkers. *J Diabetes Metab Disord*. 2013;12(1):22.
434. Leicht AS. Bradycardia: changes in intrinsic rate rather than cardiac autonomic modulation. *Clin Auton Res Off J Clin Auton Res Soc*. diciembre de 2013;23(6):343.
435. Leicht AS, Allen GD, Hoey AJ. Influence of age and moderate-intensity exercise training on heart rate variability in young and mature adults. *Can J Appl Physiol Rev Can Physiol Appliquée*. junio de 2003;28(3):446-61.
436. Gormley SE, Swain DP, High R, Spina RJ, Dowling EA, Kotipalli US, et al. Effect of intensity of aerobic training on VO₂max. *Med Sci Sports Exerc*. julio de 2008;40(7):1336-43.
437. Ciolac EG, Bocchi EA, Greve JMD, Guimarães GV. Heart rate response to exercise and cardiorespiratory fitness of young women at high familial risk for hypertension: effects of interval vs continuous training. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil Off J Eur Soc Cardiol Work Groups Epidemiol Prev Card Rehabil Exerc Physiol*. diciembre de 2011;18(6):824-30.
438. Ciolac EG. High-intensity interval training and hypertension: maximizing the benefits of exercise? *Am J Cardiovasc Dis*. 2012;2(2):102-10.
439. Cornelissen VA, Fagard RH. Effect of resistance training on resting blood pressure: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Hypertens*. febrero de 2005;23(2):251-9.
440. Jackson NP, Hickey MS, Reiser RF 2nd. High resistance/low repetition vs. low resistance/high repetition training: effects on performance of trained cyclists. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. febrero de 2007;21(1):289-95.
441. Otto WH 3rd, Coburn JW, Brown LE, Spiering BA. Effects of weightlifting vs. kettlebell training on vertical jump, strength, and body composition. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. mayo de 2012;26(5):1199-202.
442. Alcaraz PE, Perez-Gomez J, Chavarrias M, Blazevich AJ. Similarity in adaptations to high-resistance circuit vs. traditional strength training in resistance-trained men. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. septiembre de 2011;25(9):2519-27.
443. De Villarreal ESS, Izquierdo M, Gonzalez-Badillo JJ. Enhancing jump performance after combined vs. maximal power, heavy-resistance, and plyometric training alone. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. diciembre de 2011;25(12):3274-81.
444. Jakobsen MD, Sundstrup E, Randers MB, Kjær M, Andersen LL, Krstrup P, et al. The effect of strength training, recreational soccer and running exercise on stretch-shortening cycle muscle performance during countermovement jumping. *Hum Mov Sci*. agosto de 2012;31(4):970-86.

445. Kubo K, Yata H, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of isometric squat training on the tendon stiffness and jump performance. *Eur J Appl Physiol*. febrero de 2006;96(3):305-14.
446. Deane RS, Chow JW, Tillman MD, Fournier KA. Effects of hip flexor training on sprint, shuttle run, and vertical jump performance. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc*. agosto de 2005;19(3):615-21.
447. Korff T, Horne SL, Cullen SJ, Blazevich AJ. Development of lower limb stiffness and its contribution to maximum vertical jumping power during adolescence. *J Exp Biol*. noviembre de 2009;212(Pt 22):3737-42.
448. Kubo K, Kawakami Y, Fukunaga T. Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. diciembre de 1999;87(6):2090-6.
449. Toumi H, Poumarat G, Best TM, Martin A, Fairclough J, Benjamin M. Fatigue and muscle-tendon stiffness after stretch-shortening cycle and isometric exercise. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme*. octubre de 2006;31(5):565-72.
450. Palmer TB, Jenkins NDM, Thompson BJ, Smith DB, Cramer JT. The relationship between passive stiffness and muscle power output: influence of muscle cross-sectional area normalization. *Muscle Nerve*. enero de 2014;49(1):69-75.
451. Witowski J, Ksiazek K, Jörres A. Interleukin-17: a mediator of inflammatory responses. *Cell Mol Life Sci CMLS*. marzo de 2004;61(5):567-79.
452. Giraldo E, Garcia JJ, Hinchado MD, Ortega E. Exercise intensity-dependent changes in the inflammatory response in sedentary women: role of neuroendocrine parameters in the neutrophil phagocytic process and the pro-/anti-inflammatory cytokine balance. *Neuroimmunomodulation*. 2009;16(4):237-44.
453. Host CR, Norton KI, Olds TS, Lowe EL, Mulligan SP. The effects of altered exercise distribution on lymphocyte subpopulations. *Eur J Appl Physiol*. 1995;72(1-2):157-64.
454. Lee SJ, Hidler J. Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. marzo de 2008;104(3):747-55.
455. Marsh AP, Katula JA, Pacchia CF, Johnson LC, Koury KL, Rejeski WJ. Effect of treadmill and overground walking on function and attitudes in older adults. *Med Sci Sports Exerc*. junio de 2006;38(6):1157-64.

7. ANEXOS

7.1. ANEXO I

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA PARTICIPACIÓN EN UN ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN DENTRO DEL SEMINARIO ORGANIZADO POR LA FACULTAD DE CIENCIAS DO DEPORTE E A EDUCACIÓN FÍSICA DA UDC: “ESTUDO DOS PARÁMETROS DE AVALIACIÓN E CONTROL DA CARGA INTERNA E EXTERNA NO DEPORTE”.

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN: “La AF para la mejora de la salud. ¿Qué actividades son las mejores?”.

a. He leído la documentación informativa que se me entregó referente al estudio, la comprendo y estoy de acuerdo en todos sus términos. He consultado todas mis dudas con los investigadores y considero que he recibido información suficiente sobre la investigación.

b. Entiendo y asumo los riesgos que conlleva la realización de esfuerzos máximos.

c. Comprendo que mi participación es completamente voluntaria y puedo abandonar el estudio en cualquier momento sin tener que dar explicaciones.

d. Accedo a que se utilicen los datos obtenidos en el estudio para compartir y/o divulgar en medios de difusión científica, siempre que no se ceda ningún dato de carácter personal que pueda identificarme.

e. Presto libremente mi conformidad para la participación en esta investigación.

f. En cuanto a los resultados de las pruebas realizadas,

Deseo conocer los resultados de mis pruebas.

No deseo conocer los resultados de mis pruebas.

El/la participante,
[Firma del/a participante]

El Director de la investigación,
[Firma del Director de la investigación]

Fdo.: [nombre y apellidos del/a participante]
Fecha: [fecha de la firma del/a participante]

Fdo.: Dr. José Luis Tuimil López
Fecha: [fecha de la firma del Director de la investigación]

7.2. ANEXO II

Ejemplo de ficha de control para la monitorización individualizada del entrenamiento durante la etapa de familiarización.

FICHA CONTROL ETAPA DE FAMILIARIZACIÓN					
Fecha				Hora	
Nombre y apellidos				Grupo	
Ejercicio	Nº de series	Nº repeticiones	RPE-OMNI	kg	
Press banca	1	15	2		
Media sentadilla					
Barra al pecho					
Flexión de piernas					
Curl bíceps					
Extensión de piernas					
Ejercicio	Nº de series	Nº repeticiones	RPE-OMNI	kg	
Press banca	1	10	3		
Media sentadilla					
Barra al pecho					
Flexión de piernas					
Curl bíceps					
Extensión de piernas					
Ejercicio	Nº de series	Nº repeticiones	RPE-OMNI	kg	
Press banca	1	8	3-4		
Media sentadilla					
Barra al pecho					
Flexión de piernas					
Curl bíceps					
Extensión de piernas					
Duración sesión (min)			RPE Borg sesión		
			Feeling Scale sesión		

Nombre y apellidos del participante:

Firma:

Nombre y apellidos del colaborador:

Firma:

7.3. ANEXO III

Ejemplo de ficha de control para la monitorización individualizada del entrenamiento durante el período de intervención/entrenamiento.

MESOCICLO 1																										
1º Microciclo																										
Ficha control resistencia+fuerza:																										
Fecha																				Hora						
Nombre y apellidos																				Grupo						
Calentamiento	Parte principal																			Vuelta a la calma						
	<i>Resistencia</i>									<i>Fuerza: F.Máx 1</i>																
	Nº vueltas	Vuelta	Ritmo por vuelta	Acumulado	Ritmo real	FC máx	FC media	RPE Borg	Feeling Scale	Ejercicio	Nº series	Nº repeticiones	kg en cada serie		RPE-OMNI en cada serie			r/R	FC máx		FC media	RPE Borg	Feeling Scale			
													1ª	2ª	2-3											
										25 Abd.																
										Press B.																
										S. Squat																
										B. Pecho																
										Isquios																
									Bíceps																	
									Cuádr.																	
									Ejercicio			kg	Repeticiones / serie			RPE-OMNI en cada serie										
									Press B.				1ª	2ª	3ª	1ª	2ª	3ª								
									S. Squat																	
									Duración (min) parte fuerza																	
									Feeling Scale total de la sesión																	
									RPE Borg total de la sesión																	

Nombre y apellidos del participante:

Firma:

Nombre y apellidos del colaborador:

Firma:

