



DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

Universidad del País Vasco

BIATHLON: INFLUENCIA SOBRE EL RENDIMIENTO DE 6 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO Y UNA SEMANA DE PUESTA A PUNTO DE ALTA FRECUENCIA

Tesis doctoral presentada por Dña. Eva Ruiz Alfaro
Dirigida por las Dras. Dña. M^a Cristina Granados Domínguez y
Dña. Susana M^a Gil Orozko

Vitoria, 2011

**AUTORIZACION DE LAS DIRECTORAS DE TESIS
PARA SU PRESENTACION**

Dra. M^a CRISTINA GRANADOS DOMINGUEZ con N.I.F. 20176250-Y y Dra. SUSANA M^a GIL OROZKO con N.I.F. 30579800-N

como Directoras de la Tesis Doctoral: “BIATHLON: INFLUENCIA SOBRE EL RENDIMIENTO DE 6 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO Y UNA SEMANA DE PUESTA A PUNTO DE ALTA FRECUENCIA”.

realizada en el Departamento EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

por el Doctorando Doña. EVA RUIZ ALFARO,

autorizo la presentación de la citada Tesis Doctoral, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

En _____ a _____ de _____ de _____

LAS DIRECTORAS DE LA TESIS

Fdo.: _____ Fdo.: _____

CONFORMIDAD DEL DEPARTAMENTO

El Consejo del Departamento de _____

en reunión celebrada el día ____ de _____ de ____ ha acordado dar la conformidad a la admisión a trámite de presentación de la Tesis Doctoral titulada: “BIATHLON: INFLUENCIA SOBRE EL RENDIMIENTO DE 6 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO Y UNA SEMANA DE PUESTA A PUNTO DE ALTA FRECUENCIA”

dirigida por las Dras. M^a CRISTINA GRANADOS DOMÍNGUEZ Y SUSANA M^a GIL OROZKO y presentada por Don/ña. EVA RUIZ ALFARO ante este Departamento.

En _____ a ____ de _____ de _____

Vº Bº DIRECTOR/A DEL DEPARTAMENTO

SECRETARIO/A DEL DEPARTAMENTO

Fdo.: _____

Fdo.: _____

ACTA DE GRADO DE DOCTOR
ACTA DE DEFENSA DE TESIS DOCTORAL

DOCTORANDO DON/ÑA. EVA RUIZ ALFARO
TITULO DE LA TESIS: “BIATHLON: INFLUENCIA SOBRE EL RENDIMIENTO DE 6 SEMANAS DE ENTRENAMIENTO Y UNA SEMANA DE PUESTA A PUNTO DE ALTA FRECUENCIA”
El Tribunal designado por la Subcomisión de Doctorado de la UPV/EHU para calificar la Tesis Doctoral arriba indicada y reunido en el día de la fecha, una vez efectuada la defensa por el doctorando y contestadas las objeciones y/o sugerencias que se le han formulado, ha otorgado por _____ la calificación de:
unanimidad ó mayoría

Idioma/s defensa: _____

En _____ a _____ de _____ de _____

EL/LA PRESIDENTE/A,	EL/LA SECRETARIO/A,
Fdo.: _____ Dr/a: _____	Fdo.: _____ Dr/a: _____

VOCAL 1º,	VOCAL 2º,	VOCAL 3º,
Fdo.: _____ Dr/a: _____	Fdo.: _____ Dr/a: _____	Fdo.: _____ Dr/a: _____

EL/LA DOCTORANDO/A,

Fdo.: _____

**“El corazón tiene razones que la
razón desconoce”**

Blaise Pascal

El trabajo presentado a continuación no es tan sólo el resultado de un proceso de investigación, es un capítulo de mi vida. Durante este tiempo ha habido momentos de alegría, motivación, desesperación, felicidad, cansancio... muchas sensaciones, muchas vivencias... Me gustaría agradecer a todos los que habéis estado ahí, dándome un apoyo incondicional en esta aventura, porque esto es fruto de todos vosotros.

Mi agradecimiento al Gobierno de La Rioja por la licencia por estudios para finalizar el proyecto, al profesor Claus Behn, a Jorge Cajigal, a Oscar Araneda, a Rodrigo Vivancos y al ejército chileno por haberme dado la posibilidad de realizar la investigación en Chile y por facilitarme la estancia en ese maravilloso país.

A mis tutoras, Cristina y Susana, artífices de todo esto. A Susana por enseñarme que es posible analizar datos y sonreír. A Cristina por esa capacidad de combinar amistad y tutoría, y por estar siempre ahí. Ambas me habéis enseñado que es posible ser científico y a la vez humano. Por vuestra paciencia y vuestros ánimos en los momentos de flaqueza. Gracias jefas!

A Use, a Kike, a Arancha, a Vicky, a toda mi gente de Logroño, a mis amigos de Chile, a mis niños de India y a todos y cada uno de vosotros. Sin vuestra aportación en mi vida, esto no hubiera sido igual, eso seguro.

A mis padres y hermanos, mi gran ejemplo de vida, de quienes he aprendido todo, y los “culpables” de que sea como soy. Siempre me habéis apoyado en mis proyectos, por muy locos que fueran, y siempre habéis permanecido ahí para recogerme cuando me caía. Gracias por vuestra dedicación plena.

A la vida, el bien más preciado que tenemos los hombres, aunque en ocasiones tendemos a olvidarlo.

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) analizar el efecto de seis semanas de entrenamiento en las características antropométricas, las variables hematológicas, hormonales, de gasometría y equilibrio ácido-base, ácido láctico y de rendimiento en biathlon, 2) analizar el efecto de una puesta a punto de seis días de alta frecuencia en las características antropométricas, las variables hematológicas, hormonales, de gasometría y equilibrio ácido-base, ácido láctico y de rendimiento en biathlon y 3) analizar si la puesta a punto de alta frecuencia puede optimizar el rendimiento en un deporte que no sólo depende de parámetros de rendimiento físico, sino también de la capacidad de lograr el máximo número de aciertos en el tiro.

Tras 6 semanas de entrenamiento, 8 biathletas de la Selección Chilena de Biathlon realizaron una puesta a punto de alta frecuencia de 6 días, basada en un entrenamiento diario con una reducción progresiva no lineal del 80% del entrenamiento interválico de alta intensidad.

Se realizaron mediciones en tres ocasiones: al inicio del estudio (T₀); tras las 6 semanas de entrenamiento y previo a la puesta a punto de alta frecuencia (T₁); y después de los 6 días de puesta a punto (T₂).

En las tres mediciones se analizaron características físicas (peso y talla), parámetros en sangre (valores hematológicos, de daño muscular, metabolismo del hierro y hormonas) y de rendimiento, (medición de la altura del salto vertical: CMJ y ABK; y competición simulada de biathlon: tiempo de carrera, tiempo de tiro, nº de aciertos/fallos, tiempo de prueba y score). Además, antes (pre-test) y después (post-test) de cada medición se analizaron el equilibrio ácido-base, los gases sanguíneos y el lactato en sangre capilar.

Las seis semanas de entrenamiento produjeron aumentos significativos ($P < 0.05-0.001$) en el volumen corpuscular medio (1.1%), ancho de distribución eritrocitaria (2.9%), linfocitos (17.2%), transferrina (23.6%), ferritina (32.2%), cortisol (33.7%), ratio testosterona total/cortisol (4.4%), bicarbonato pre-test (4.6%), y ácido láctico pre-test y post-test (67.1% y 62%, respectivamente), mientras que se observaron descensos significativos ($P < 0.05-$

0.001) en el peso (3.1%), leucocitos (16.1%), plaquetas (14.8%), urea (24.9%), urato (38.4%), hierro (28.6%), porcentaje de saturación de transferrina (23.1%), ratio testosterona libre/cortisol (34.6%), presión parcial de oxígeno (18%) y saturación de oxígeno (1.9%) pre-test, CO₂ total (14.6%) y exceso de base (25%) post-test, tiempo total de carrera (10.8%), tiempo en el tiro tumbado (17.9%), tiempo total de prueba (11.3%) y score (9.9%).

La puesta a punto de alta frecuencia produjo aumentos significativos ($P < 0.05-0.001$) en los valores de hemoglobina (4.2%), urato (32.2%), testosterona total (21.5%), ratio testosterona total/cortisol (38.3%), concentración de ácido láctico pre-test (43.2%) y nº de aciertos en el tiro de pie (58%); y descensos significativos ($P < 0.05-0.001$) en los valores de creatina kinasa (30.1%), ratio testosterona libre/testosterona total (31.2%), pH post-test (0.83%), exceso de base post-test (20.7%), tiempo total de carrera (3.4%) y tiempo total de prueba (3.6%).

Se encontraron correlaciones negativas ($P < 0.05-0.001$) entre el tiempo total de carrera y los valores absolutos de hematíes en T1 ($r = -0.732$), hemoglobina en To, T1 y T2 ($r = -0.856$, $r = -0.714$ y $r = -0.851$, respectivamente) y hematocrito en To, T1 y T2 ($r = -0.846$, $r = -0.729$ y $r = -0.823$, respectivamente). Además, se encontró una correlación significativa positiva entre el tiempo de carrera y los valores absolutos de linfocitos en T1 ($r = 0.798$) y T2 ($r = 0.743$). En relación al equilibrio ácido-base, el bicarbonato correlaciono con la hemoglobina pre-test en To y T2 ($r = 0.801$ y $r = 0.772$, respectivamente), y con el exceso de base pre-test en To ($r = 0.821$) y post-test en T1 ($r = 0.781$). Se observó una correlación significativa positiva entre el bicarbonato y el pH pre-test en To ($r = 0.756$), y post-test en T1 ($r = 0.876$). El exceso de base y el pH correlacionaron en las mediciones pre-test en To y T2 ($r = 0.797$ y $r = 0.744$, respectivamente), y en los tres momentos de medición post-test ($r = 0.850$, $r = 0.945$ y $r = 0.853$, respectivamente), y también se observaron relaciones positivas entre el exceso de base y el bicarbonato en las mediciones pre-test en To y T2 ($r = 0.990$ y $r = 0.977$, respectivamente), y en las tres mediciones post-test ($r = 0.967$ en To, $r = 0.981$ en T1 y $r = 0.967$ en T2).

El entrenamiento de seis semanas mejoró no sólo el tiempo total de carrera, el tiempo de tiro tumbado y el tiempo total de la prueba, sino también el score en la competición

simulada de biathlon. Además, la puesta a punto de alta frecuencia de una semana de duración, produjo una mejora adicional en el tiempo total de carrera y en el tiempo total de prueba, y también en el número de aciertos en el tiro de pie y el score. Dichas mejoras en el rendimiento pueden ser debidas a los cambios significativos ocurridos en las características físicas, en las variables hematológicas, de equilibrio ácido-base y del ácido láctico.

Palabras clave: entrenamiento, puesta a punto, frecuencia, carrera, tiro, rendimiento, equilibrio ácido-base, biathlon.

ABSTRACT

The aims of this study were: 1) to examine the effect of six weeks of training in the anthropometric characteristics, the hematological, hormonal, blood gas and acid-base balance, lactic acid and performance parameters in biathlon, 2) to examine the influence of a 6-day high frequency taper in the anthropometric characteristics, the hematological, hormonal, blood gas and acid-base balance, lactic acid and performance parameters in biathlon, and 3) to examine if a high frequency taper can optimize performance in a sport that not only depends on physical performance parameters, but also on the ability to achieve the maximum number of successes in the shooting.

After 6 weeks of training, 8 well-trained biathletes of the Chilean Biathlon Team carried out a high frequency taper of 6 days, consisting on a daily training with an 80% nonlinear progressive reduction in high intensity interval training during the taper period.

Measurements were made on three separate occasions: at baseline (T₀), after the 6 weeks of training and prior to carrying out the high frequency taper (T₁), and after the 6-day taper (T₂).

Anthropometric characteristics (body weight and body height), blood values (hematological parameters, parameters related to muscle damage, parameters related to iron metabolism and hormones) and performance (vertical jumping height: CMJ and ABK; and a simulated biathlon competition: running time, shooting time and number of successes/failures, trial time and score) were measured on each occasion. And before (pre-test) and after (post-test) each measurement, acid-base balance, blood gases and lactic acid in capillary blood were analyzed as well.

After the six weeks of training there were significant improvements ($P < 0.05-0.001$) in the mean corpuscular volume (1.1%), red cell distribution width (2.9%), lymphocytes (17.2%), transferrin (23.6%), ferritin (32.2%), cortisol (33.7%), ratio of total testosterone/cortisol (4.4%), pre-test bicarbonate (4.6%), and pre-test and post-test lactic acid (67.1% and 62% respectively). However, significant decreases ($P < 0.05-0.001$) in body weight (3.1%), leukocytes (16.1%), platelets (14.8%), urea (24.9%), uric acid (38.4%), iron (28.6%), percentage of transferrin saturation (23.1%), free testosterone/cortisol ratio (34.6%), pre-

test oxygen partial pressure (18%) and oxygen saturation (1.9%), post-test total CO₂ (14.6%) and base excess (25%), total running time (10.8%), time in prone shooting (17.9%), total trial time (11.3%) and score (9.9%).

The high frequency taper produced significant increases ($P < 0.05-0.001$) in hemoglobin (4.2%), uric acid (32.2%), total testosterone (21.5%), total testosterone/cortisol ratio (38.3%) pre-test lactic acid concentration (43.2%) and accuracy in standing shooting (58%) and significant decreases ($P < 0.05-0.001$) were observed in creatine kinase (30.1%), free testosterone/total testosterone ratio (31.2%), post-test pH (0.83%) and base excess (20.7%), total running time (3.4%) and total trial time (3.6%).

Negative correlations were observed ($P < 0.05-0.001$) between the total running time and the absolute values of red cells in T₁ ($r = -0.732$), hemoglobin in T₀, T₁ and T₂ ($r = -0.856$, $r = -0.714$ and $r = -0.851$, respectively) and hematocrit in T₀, T₁ and T₂ ($r = -0.846$, $r = -0.729$ and $r = -0.823$, respectively). Furthermore, there was a significant positive correlation between the running time and the absolute values of lymphocytes in T₁ ($r = 0.798$) and T₂ ($r = 0.743$). With regard to the acid-base balance, pre-test bicarbonate correlated with the hemoglobin in T₀ and T₂ ($r = 0.801$ and $r = 0.772$, respectively), and the hemoglobin with the pre-test base excess in T₀ ($r = 0.821$) and post-test in T₁ ($r = 0.781$). There was a pre-test significant positive correlation between bicarbonate and pH in T₀ ($r = 0.756$) and post-test in T₁ ($r = 0.876$). The base excess and the pH correlated in the pre-test measurements in T₀ and T₂ ($r = 0.797$ and $r = 0.744$, respectively) and at all three post-test measurements ($r = 0.850$, $r = 0.945$ and $r = 0.853$, respectively), and positive relationships were observed between the base excess and the bicarbonate in the pre-test measurements in T₀ and T₂ ($r = 0.990$ and $r = 0.977$, respectively) and in the three post-test measurements ($r = 0.967$ at T₀, $r = 0.981$ at T₁ and $r = 0.967$ at T₂).

The six weeks of training improved not only the running time, the time in prone shooting and the trial time, but also the score in the simulated biathlon competition. In addition, the 6-day high frequency taper brought significant improvements in the running time and the trial time, in the number of hits in the standing shooting and in the score. These improvements in performance may have been due to the significant changes in the

anthropometric characteristics, the hematological variables, the acid-base balance and the acid lactic parameters.

Keywords: training, taper, frequency, running, shooting, performance, acid-base balance biathlon.

ABREVIATURAS

ABK	salto Abalakov
BE	(del inglés “base excess”) exceso de base
CK	creatina kinasa
CMJ	salto en contramovimiento
Creat	creatinina
DS	desviación estándar
ECBI	entrenamiento continuo de baja intensidad
EIAI	entrenamiento interválico de alta intensidad
FC	frecuencia cardíaca media
FC_{max}	frecuencia cardíaca máxima
Fe	hierro
FIB	Federación Internacional de Biathlon
FT	testosterona libre
FT/C	ratio testosterona libre/cortisol
FT/TT	ratio testosterona libre/testosterona total
Hb	hemoglobina
Ht	hematocrito
Hem	hematíes
HIT	(del inglés “high-intensity low-volume taper”) puesta a punto de alta intensidad y volumen reducido

La basal	concentración de lactato en reposo
[La]_{Peak}	concentración pico de lactato sanguíneo post ejercicio
LIT	(del inglés “low-intensity moderate-volume taper”) puesta a punto de baja intensidad y volumen moderado
MCH	(del inglés “mean corpuscular hemoglobin”) hemoglobina corpuscular media
MCHC	(del inglés “mean corpuscular hemoglobin concentration”) concentración de hemoglobina corpuscular media
MCV	(del inglés “mean corpuscular volumen”) volumen corpuscular medio
MEEA	máximo estado estable de ácido láctico
PAF	puesta a punto de alta frecuencia
PCO₂	presión parcial de CO ₂
PFM	puesta a punto de frecuencia moderada
PME	polimorfonucleares eosinófilos
PO₂	presión parcial de oxígeno
RDW	(del inglés “red cell distribution width”) ancho de distribución eritrocitario
ROS	(del inglés “reactive oxygen species”) radicales libres
ROT	(del inglés “rest-only taper”) reposo
Sat Trans	porcentaje de saturación de transferrina
SO₂	saturación de oxígeno
To	test inicial
T1	test tras las 6 semanas de entrenamiento (pre-puesta a punto)

T2	test tras la puesta a punto (post-puesta a punto)
TCO₂	dióxido de carbono
TT	testosterona total
TT/C	ratio testosterona total/cortisol
VO₂max	consumo máximo de oxígeno
VR	valores de referencia

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. El biathlon	3
1.1.1. Historia	3
1.1.2. Descripción general del biathlon	5
1.1.3. Modalidades en el biathlon	7
1.1.3.1. La prueba individual	7
1.1.3.2. Sprint	8
1.1.3.3. Persecución	8
1.1.3.4. Salida en masa	9
1.1.3.5. Relevos	9
1.1.3.6. Relevos mixtos	10
1.1.4. Revisión bibliográfica	11
1.1.4.1. El tiro en biathlon	12
1.1.4.2. Características físicas en biathlon	15
1.1.4.3. Variaciones hematológicas y bioquímicas en biathlon	17
1.1.4.4. Características psicológicas en biathlon	20
1.2. La puesta a punto	21
1.2.1. Influencia de los componentes de la carga de entrenamiento durante la puesta a punto	23
1.2.1.1. Influencia del volumen durante la puesta a punto	25
1.2.1.2. Influencia de la intensidad durante la puesta a punto	31
1.2.1.3. Influencia de la frecuencia durante la puesta a punto	35
1.2.1.4. Influencia de la duración de la puesta a punto	40
1.2.2. Respuestas fisiológicas a la puesta a punto	43
1.2.2.1. Variaciones hematológicas durante la puesta a punto	43
1.2.2.2. Variaciones bioquímicas y hormonales durante la puesta a punto	47
1.2.2.3. Variaciones neuromusculares durante la puesta a punto	53

1.2.3.	Variaciones psicológicas durante la puesta a punto	57
1.3.	El equilibrio ácido-base	61
1.4.	Conclusiones del marco teórico	67
1.5.	Hipótesis	69
1.6.	Objetivos	71
2.	MATERIAL Y MÉTODOS	73
2.1.	Diseño experimental	73
2.2.	Sujetos	80
2.3.	Mediciones	81
2.3.1.	Características físicas	81
2.3.2.	Medición de los valores en sangre	81
2.3.3.	Gasometría, equilibrio ácido-base y ácido láctico	83
2.3.4.	Rendimiento	84
2.3.4.1.	Medición de la altura del salto vertical	84
2.3.4.2.	Competición simulada de biathlon	85
2.3.4.2.1.	Tiempo de carrera	86
2.3.4.2.2.	Tiempo de tiro y número de aciertos/errores	87
2.3.4.2.3.	Tiempo total de la prueba	87
2.3.4.2.4.	Score (puntuación total)	88
2.4.	Análisis estadístico	89
3.	RESULTADOS	91
3.1.	Características físicas	91
3.2.	Medición de los valores en sangre	92
3.2.1.	Análisis de los parámetros hematológicos	92

3.2.2.	Análisis de los parámetros de daño muscular	95
3.2.3.	Análisis de los parámetros relacionados con el metabolismo del hierro	96
3.2.4.	Hormonas	98
3.3.	Gasometría, equilibrio ácido-base y ácido láctico	100
3.4.	Rendimiento	112
3.4.1.	Medición de la altura del salto vertical	112
3.4.2.	Competición simulada de biathlon	113
3.4.2.1.	Tiempo de carrera	113
3.4.2.2.	Tiempo de tiro y del número de aciertos/fallos	114
3.4.2.3.	Tiempo total de prueba	116
3.4.2.4.	Score	117
3.5.	Correlaciones	118
3.5.1.	Tiempo total de carrera	118
3.5.2.	Tiempo total de prueba	124
3.5.3.	Score	129
3.5.4.	Equilibrio ácido-base, daño muscular y hemoglobina	130
4.	DISCUSIÓN	137
5.	CONCLUSIONES	161
6.	BIBLIOGRAFÍA	163

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del deporte de alto nivel es la consecución de éxitos en las principales competiciones. Para poder responder a dicho fin surgió la Teoría del Entrenamiento, encargada de orientar la planificación para alcanzar el “estado de forma óptima” en los momentos claves de la temporada. Para ello, se requiere obtener un nivel máximo en la preparación física, técnico-táctica, psicológica y biológica; y es en ésta última, donde la Teoría del Entrenamiento confluye con la fisiología para poder aumentar el conocimiento sobre el estado de los atletas.

Dentro de los principios del entrenamiento, uno de los mas importante es el de “individualización”, es decir, cada deportista es único y responde de diferente forma a las cargas a las que se le somete. Además, hay que tener en cuenta la relación “carga/recuperación”, o lo que es lo mismo, la distribución correcta de cargas y recuperaciones a lo largo de la temporada, teniendo como referentes las competiciones principales. La fisiología, por tanto, va a ser un valioso instrumento para comprobar cómo afectan dichas cargas externas en el interior de nuestro organismo.

Existen muchos estudios sobre la fisiología del deporte, pero no ha sido hasta la última década cuando se ha comenzado a investigar el entrenamiento y la recuperación que se deben realizar en los días previos a las competiciones principales, lo que ha sido denominado la *puesta a punto*, factor clave del éxito deportivo.

La mayoría de los estudios sobre *puesta a punto* se han centrado en la cuantificación del volumen y la intensidad en diferentes deportes, sin embargo, apenas existen trabajos que analicen la frecuencia de entrenamiento durante dicha fase, como tampoco hay estudios sobre el entrenamiento y la *puesta a punto* en biathlon, un deporte de invierno bastante desconocido en nuestro país que combina esquí de fondo y tiro. Por tal motivo, los entrenadores de dicho deporte acostumbran a basarse en los trabajos publicados sobre esquí de fondo y atletismo.

Por tanto, el presente estudio con biathletas, tiene como punto de origen un trabajo previo realizado por la misma autora, sobre los efectos de dos tipos diferentes de puesta a punto de 6 días en atletas de medio fondo (Mujika et al., 2002). En este estudio se analizaron como afectaban una puesta a punto de alta frecuencia (PAF), y una puesta a punto de frecuencia moderada (PFM), sobre las características antropométricas, las variables hematológicas, hormonales, y de rendimiento en carrera. El resultado observado fue una mejora del rendimiento en ambos grupos, siendo únicamente significativa en el caso del grupo que realizó la PAF.

Tras observar que el tipo de puesta a punto que más optimizaba el rendimiento en mediofondistas era la de alta frecuencia (PAF) y en búsqueda de mayor información sobre como aumentar el rendimiento en biathlon, se analizaron los efectos de seis semanas de entrenamiento y una semana de PAF sobre las características antropométricas, las variables hematológicas, hormonales, fisiológicas y de rendimiento en la Selección Chilena de Biathlon.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, conocer los cambios producidos durante seis semanas de entrenamiento y las variaciones en el rendimiento tras una puesta a punto de alta frecuencia sería de crucial importancia para mejorar el conocimiento sobre dicho deporte.

1.1. EL BIATHLON

1.1.1. HISTORIA

La palabra “biathlon” proviene del griego y significa “dos pruebas”, que en concreto son: esquí de fondo y tiro.

Aunque actualmente el biathlon es un deporte olímpico, su origen es muy antiguo, aproximadamente del año 2000 a.C. y era una forma de supervivencia de los cazadores del norte de Europa ante la necesidad de deslizarse o trasladarse por superficies cubiertas de nieve. De hecho, se han encontrado restos de pinturas en cuevas de la costa norte de Noruega donde se observa la figura de un hombre con un arma sobre unos largos objetos curvados. También, en la zona de la antigua Rusia, se han encontrado pinturas neolíticas en las que aparecen cazadores con lanzas y flechas montados sobre unas largas estructuras de madera.

Sin embargo, el biathlon que hoy conocemos tiene un origen militar. A comienzos del siglo XVI, los países escandinavos y rusos comenzaron a utilizar los esquís en sus tropas para defenderse de los enemigos. Las condiciones climáticas hacían que los soldados tuvieran que saber esquiar tan bien como disparar. De tal forma que, a finales del siglo XIX, todos los soldados de los países escandinavos eran perfectos biathletas.

El biathlon de competición tiene como objetivo esquiar una distancia en el menor tiempo posible, intentando acertar el mayor número de dianas posibles y evitando las penalizaciones por cada fallo realizado. La primera competición reconocida data de 1767, y en ella se enfrentaron compañías de esquiadores que vigilaban la frontera entre Suecia y Noruega.

Su primera aparición en unos Juegos Olímpicos, fue en 1924 en Chamonix, Francia, como deporte de exhibición. Sin embargo, habría que esperar hasta los Juegos Olímpicos de Invierno de Squaw Valley, EEUU, en 1960, para que fuese olímpico en categoría

masculina. Y 30 años más para que lo fuera olímpico en categoría femenina, en los Juegos de 1992 de Albertville, Francia.

En cuanto a su sistema federativo, no fue hasta el 3 de agosto de 1948, en Sandhurst, Reino Unido, cuando se creó la Unión Internacional de Pentatlón Moderno y Biathlon (UIPM) cuyo primer presidente fue el sueco Tom Wibom. Un año más tarde, el Comité Olímpico Internacional aceptaría una propuesta sueca para incluir tanto a civiles como militares en una competición individual.

El 17 de noviembre de 1956 se establecieron las reglas de competición del biathlon moderno en Melbourne, Australia. Además, se añadió una B a las siglas de la federación, pasando a ser UIPMB, dando así la importancia que el biathlon merecía.

El primer Campeonato del Mundo de biathlon masculino se celebró en 1958 en Saalfelden, Austria. Y el primero femenino, en 1984 en Chamonix, Francia. Y no ha sido hasta 1994 cuando se ha celebrado el primer Campeonato de Europa en Kontiolahti, Finlandia.

1.1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL BIATHLON

En la competición de biathlon, las distancias a recorrer por los biathletas varían entre 6 y 20 km esquiando, con dos o cuatro paradas para las rondas de tiro. La distancia y las paradas para el tiro variarán en función del tipo de prueba.

Las diferentes modalidades de competición son: prueba individual, sprint, persecución, salida en masa o “mass start competition”, relevos y relevos mixtos.

La distancia de tiro, distancia entre la zona de disparo donde se coloca el biathleta y la diana, es siempre de 50 metros. Los deportistas disponen de 5 balas en el rifle y el objetivo será acertar en las 5 dianas en cada ronda de tiro. El tiro se hace desde dos posiciones diferentes: tumbado y de pie, cuya secuencia variará en función de la competición.

Las dianas son muy pequeñas, 115 milímetros de diámetro para el tiro de pie y 45 milímetros para el tiro tumbado. Durante toda la competición el reloj está en marcha, de principio a fin, no parándose en ningún momento el cronómetro para el disparo.

El rifle diseñado para biathlon es del calibre 22. Tiene un peso mínimo de 3,5 kilogramos y una correa para transportarlo colgado a la espalda. Tiene una capacidad para 5 cartuchos en la recámara, y la velocidad máxima de salida de los cartuchos es de $380 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Cada tiro errado supone una penalización, y ésta va a ser diferente en función del tipo de prueba. Así, para las pruebas individuales, la penalización será de 1 minuto a añadir al tiempo total de la prueba que realice el competidor, mientras que para otras competiciones, será de 150 metros adicionales a recorrer esquiando inmediatamente después de los fallos realizados en el tiro.

En general, el atleta parte de la línea de salida, realiza una vuelta al circuito esquiando, se detiene para realizar una ronda de tiro, y repite la misma secuencia otra vez

más. La longitud de la vuelta a realizar dependerá del tipo de prueba, así como la posición corporal para realizar la primera y segunda ronda de tiro.

Para las pruebas individuales y la prueba de sprint, las salidas se realizan sucesivamente, saliendo un competidor cada 30 segundos. En las competiciones de persecución las salidas serán interválicas en función de la competición previa de calificación. En la prueba de salida en grupo o “mass start” todos los competidores salen a la vez. En la competición de relevos, los primeros miembros de cada equipo comienzan a la vez y, una vez finalizada su parte, saldrá el siguiente miembro del equipo. En los relevos mixtos las mujeres harán la primera y la segunda ronda mientras que la tercera y la cuarta serán realizadas por los hombres.

Para una mayor claridad de las diferentes modalidades, a continuación se describen las características principales de cada una de ellas.

1.1.3. MODALIDADES EN EL BIATHLON

Las modalidades de biathlon en las diferentes competiciones internacionales son:

- Individual
- Sprint
- Persecución
- Salida en masa (“mass start competition”, o salida en grupo)
- Relevos
- Relevos mixtos

1.1.3.1. LA PRUEBA INDIVIDUAL

Es la prueba más tradicional del biathlon. Originariamente se utilizaban dianas de papel y se puntuaba una vez realizado el último disparo. Cada competidor tenía una penalización de tiempo añadido por cada error. Hoy en día se aplican los mismos principios, con la ventaja de que el atleta puede ver sus propios fallos inmediatamente después de su ejecución.

En las competiciones individuales, es más importante acertar en el tiro que en el resto de competiciones, dado que cada fallo se penaliza con un minuto de tiempo, mientras que en el resto de competiciones la penalización es de una vuelta de 150 m, lo que supone solamente entre 21 y 26 segundos de esquí.

La prueba individual es la de mayor distancia del biathlon, siendo para los hombres de 20 km y de 15 km para las mujeres. Es una prueba contrarreloj, y los atletas salen cada 30 segundos y tienen que realizar cinco vueltas al circuito, de 4 y 3 km, hombres y mujeres respectivamente, realizando sus correspondientes paradas para realizar las rondas de tiro, primero de pie y después tumbado. Como se ha señalado anteriormente, cada fallo

en tiro se penaliza con un minuto de tiempo a añadir al tiempo final del biathleta. El deportista que tenga la menor combinación del tiempo total, resultante del tiempo de la prueba más el tiempo de penalización, es el ganador.

La mayor dificultad para el espectador radica en no saber claramente quién es el primero en un momento dado, aunque se estén dando en marcadores electrónicos los tiempos parciales de los atletas durante la prueba.

1.1.3.2. SPRINT

La prueba de sprint puede considerarse como la versión corta de la prueba individual, donde prevalece la velocidad esquiando sobre el tiro. La duración de la prueba es de aproximadamente 30 minutos para los biathletas de elite.

En la prueba de sprint los atletas también salen cada 30 s. Sin embargo, la longitud varía con respecto a las pruebas individuales, siendo de 7.5 km para las mujeres y de 10 km para los hombres. Ambos realizan 3 vueltas y 2 rondas de tiro, primero tumbados y después de pie. En lugar de una penalización de un minuto por cada fallo en el tiro, el competidor debe esquiar una vuelta adicional de 150 metros inmediatamente después de la ronda de tiro.

El deportista con el menor tiempo, incluido el tiempo en realizarse los metros de penalización, es el ganador.

1.1.3.3. PERSECUCIÓN

El orden de salida y los intervalos en la competición de persecución están basados en las pruebas de sprint, generalmente realizadas el día previo.

El ganador de la prueba de sprint sale el primero y el resto de competidores

saldrán sucesivamente según la diferencia de tiempo respecto al ganador.

La prueba femenina es de 10 km y la prueba masculina es de 12.5 km. Todos los competidores deben parar cuatro veces en la zona de tiro para realizar los 5 tiros a las dianas. La secuencia del tiro será: tumbado, tumbado, de pie, de pie.

Cada fallo en el tiro se penaliza con una vuelta de 150 m. El primer atleta en cruzar la línea de meta es el vencedor.

1.1.3.4. SALIDA EN MASA

También llamada prueba de “salida en grupo” o “Mass Start Competition”. En esta prueba, de 12.5 km para las mujeres y 15 km para los hombres, los 30 mejores biathletas según el ranking salen todos a la vez y deben parar cuatro veces en la zona de tiro. El formato de la prueba es similar a la individual excepto que las distancias son menores y la secuencia de tiro será: de pie, de pie, tumbado, tumbado. Cada fallo en el tiro supone una vuelta adicional de 150 m. Si un atleta es doblado durante la competición deberá abandonar inmediatamente. El primer atleta en cruzar la línea de meta es el ganador.

1.1.3.5. RELEVOS

En la prueba de relevos, los biathletas participan por equipos, siendo compuestos por cuatro deportistas. Cada uno de ellos realiza una distancia de 7.5 km y 6 km, hombres y mujeres respectivamente, con dos rondas de tiro.

Los primeros competidores de cada equipo saldrán en una salida común, realizarán 2.5 km de esquí (2 km para las mujeres), el tiro tumbado, 2.5 km esquiando, el tiro de pie y los últimos 2.5 km de esquí para finalizar, dando el relevo al segundo miembro del equipo, que realizará la misma secuencia. Y así hasta acabar la prueba el

cuarto biathleta. En esta prueba, cada atleta en lugar de cinco tiros en cada ronda de tiro, tiene tres tiros extra para intentar tirar al blanco en el que haya fallado, es decir, que podrá realizar un máximo de 8 disparos. Si, a pesar de los tiros extras no acierta, la penalización será de una vuelta de 150 m por cada tiro errado.

1.1.3.6. RELEVOS MIXTOS

La prueba de relevos mixtos, aunque no es una competición olímpica, sí es oficial y consiste en una prueba por equipos compuestos por 2 hombres y 2 mujeres. Las dos mujeres esquían una distancia de 6 km y los hombres de 7.5 km con dos rondas de tiro (tumbado y de pie) cada uno de ellos. La salida es común para todos los equipos, siendo siempre las dos primeras relevistas las mujeres, y finalizando la prueba los dos hombres.

1.1.4. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El número de trabajos publicados en la literatura científica internacional sobre el biathlon no es muy abundante. A modo de ejemplo señalar que para el presente estudio se han encontrado aproximadamente unos 35 artículos publicados sobre biathlon, y cuyo rango de publicación va desde 1986 hasta la fecha, mientras que para la misma época se han publicado unos 350 artículos sobre esquí de fondo. Además, se observa que no existen trabajos dedicados al estudio del entrenamiento específico y la puesta a punto del biathlon, por lo que todos los aspectos relacionados con el entrenamiento provienen del esquí de fondo y del atletismo.

Dadas las características del deporte, el entrenamiento de los biathletas se centra en el perfeccionamiento de ambas habilidades, el esquí de fondo y el tiro. En general, los deportistas de alto nivel entrenan una media de 13 sesiones semanales de dos horas y media, incidiendo en el esquí, en el tiro, o en ambas disciplinas.

Aunque la distancia más larga en competición del biathlon en los Juegos Olímpicos es de 20 km para los hombres y de 15 km para las mujeres, en sus entrenamientos habitualmente recorren distancias mayores, en ocasiones de más de 35 km por sesión.

Las características del biathlon hacen necesaria la implicación de todo el cuerpo. Consecuentemente, los deportistas requieren un completo trabajo cardiovascular con gran control de la respiración, además de un buen trabajo de fuerza, tanto del miembro superior como del inferior.

A continuación se describen los principales estudios encontrados sobre biathlon. En un primer apartado se muestran los estudios relacionados con el tiro, seguido por los estudios sobre características físicas, las variaciones hematológicas y hormonales, para finalizar con las características psicológicas.

1.1.4.1. EL TIRO EN BIATHLON

El éxito en la competición de biathlon depende de la velocidad de desplazamiento y de la puntería del disparo. Por tanto, uno de los objetivos de entrenamiento del biathleta es acertar el mayor número de tiros en la diana, tanto tumbado como de pie, para así evitar ser penalizado con un minuto o 150m adicionales. En consecuencia, no es de extrañar que la mayor parte de los artículos publicados se centren en esta habilidad.

Diversos autores han estudiado el tiro en biathlon, describiéndolo como una acción motriz compleja que requiere una buena estabilidad postural y una ejecución rápida (Grebot et al., 2003; Gros Lambert et al., 1999; Hoffman et al., 1992; Lakie, 2009). Sin embargo, las habilidades requeridas para el tiro de pie y el tiro tumbado no son las mismas. En el primero, la estabilidad del sistema cuerpo-rifle es fundamental, y se ha observado que realizar un ejercicio intenso previo al disparo puede disminuir el control postural del biathleta y por tanto afectar a la puntería (Hoffman et al., 1992). No obstante, lo que no parece ser afectado con la intensidad de ejercicio es la estimación perceptual del éxito en el tiro en competición (Grebot et al., 2003). Por otro lado, en el tiro tumbado, lo importante es la habilidad para discriminar y controlar la motricidad fina. Una técnica que se utiliza y que es eficaz en el control de la estabilidad y la habilidad, aparte de los métodos tradicionales de entrenamiento, es el llamado “entrenamiento en imaginación” (Gros Lambert et al., 2003). La práctica imaginada está formada por un conjunto de técnicas mentales que se utilizan para facilitar el aprendizaje o para mejorar el rendimiento. Estas técnicas trabajan sobre todos los sentidos para crear o recrear una experiencia en la mente, en forma de pensamiento con imágenes, de una actividad física en ausencia de práctica física simultánea. Esta técnica es una de las más utilizadas en psicología del deporte (Williams, 1991).

Debido a la dificultad de poder realizar test de laboratorio con sistemas de medición (laser o vídeo) para evaluar la habilidad en el tiro, Gros Lambert et al. (1999) estudiaron diferentes pruebas que pudieran ser fácilmente utilizados como test de campo, observando que el test con un medidor de temblor adaptado al rifle mostraba

gran especificidad, sensibilidad y era relativamente fácil de realizar, sobre todo en el tiro de pie.

Recientemente Lakie (2009), en una revisión sobre la influencia del temblor muscular en el rendimiento en tiro, señaló los altos niveles de adrenalina y el calentamiento local muscular como posibles causas del aumento del temblor muscular durante la competición, lo que llevaba consigo un empeoramiento de la puntería. No obstante, cuando se realizaba una refrigeración muscular local se reducían estos factores y aumentaba, por tanto, el rendimiento.

Aunque se ha estudiado el coste energético requerido para transportar una carga caminando o corriendo, apenas existen trabajos que analicen el coste energético necesario para transportar el rifle durante la prueba de biathlon. Rundell y Szmedra (1998) observaron un incremento del 8% en el coste metabólico debido al transporte del rifle en biathlon, sugiriendo que para una mejora de la economía de transporte, se debería reducir el peso del mismo al mínimo permitido (3.5 kg), colocarlo adecuadamente en la espalda, cerca del centro de masas del cuerpo, y evitar los movimientos verticales del rifle durante el ciclo de esquí.

Según Hoffman y Street (1992) la intensidad de carrera óptima requerida por los biathletas durante la competición es del 90% de la frecuencia cardiaca máxima (FC_{max}). Sin embargo, la frecuencia cardiaca media va a disminuir de 10 a 12 latidos por minuto (85-87% FC_{max}) durante aproximadamente el último minuto previo a la llegada a la zona de disparo debido a que los biathletas disminuyen el ritmo de carrera cuando se van aproximando a la zona de tiro. Durante el tiro, la frecuencia cardiaca media va a disminuir hasta el 61-73% de la FC_{max} , siendo más pronunciado durante la realización del tiro tumbado, donde la media decae aproximadamente unos 20 latidos por minuto respecto al tiro de pie (61% vs 69-73% de la FC_{max} , respectivamente). En su estudio con 14 biathletas de la Selección de Estados Unidos, los atletas que mostraron una frecuencia cardiaca media menor durante el tiro tumbado, fueron aquellos atletas que emplearon más tiempo en la zona de tiro, y también los que mostraron un descenso más rápido de la frecuencia cardiaca media en el

tiro tumbado.

Similares resultados también fueron observados en la revisión realizada por Coote (2009), quien señaló que un buen control del sistema nervioso parasimpático, con una disminución de la frecuencia cardíaca, podría ser una adecuada estrategia para obtener un mayor control en la estabilidad del rifle, proporcionando mayores aciertos en el tiro.

1.1.4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS EN BIATHLON

Como se ha señalado anteriormente, dos son las características importantes en la consecución del éxito en biathlon: el tiro y la velocidad de desplazamiento. En referencia al estudio de esta última, hay trabajos que intentan correlacionar los test de carrera en tapiz rodante (ya sea corriendo o patinando) con el rendimiento en competición. Rundell (1995) en su estudio con 7 mujeres biathletas de elite de EEUU, observó que un test de patinaje sobre tapiz rodante tenía un mayor valor predictivo del rendimiento en competición que un test de carrera en cinta. En una búsqueda de mayor especificidad en los test, Vergès et al. (2006) concluyeron que los test de campo son los más indicados para predecir el rendimiento, ya que en un estudio realizado con siete biathletas en el que se comparaba un test de rendimiento en carrera en laboratorio y otro test sobre patines en carretera al principio de temporada y 6 meses después, no encontraron cambios significativos en el VO_2 max, frecuencia cardiaca y concentración de lactato tras el periodo de entrenamiento, ni en carrera ni patinando, por lo que atribuyeron la ausencia de diferencias a la poca especificidad del test de laboratorio, debido a una menor utilización del miembro superior en comparación con el test de campo.

En cuanto a la resistencia aeróbica, en un estudio realizado con 12 biathletas de elite americanos, Rundell y Bacharach (1995) sugirieron que no sólo es fundamental la potencia aeróbica del miembro superior e inferior de cara al rendimiento, sino también la potencia anaeróbica para poder desarrollar distancias relativamente cortas a máxima velocidad.

Además del trabajo de piernas, el trabajo del miembro superior es muy importante. Terzis et al. (2006) analizaron si un aumento de entrenamiento extensivo del miembro superior en 6 esquiadores de fondo provocaba una adaptación de las fibras del músculo tríceps, y si esto, consecuentemente, afectaría al rendimiento. Los autores observaron aumentos significativos de 11.3% y 24.0% en las fibras tipo I y IIa, respectivamente, y una mejora significativa del 10.4% en el tiempo de la prueba de 10 km patinando con la técnica de doble empuje. Observaron que los sujetos que mostraron las

mayores mejoras de rendimiento eran los que tenían mayores adaptaciones musculares en el miembro superior.

Similares resultados hallaron Larsson y Henriksson-Larsén (2008) en un estudio que analizaba la relación entre la composición corporal y el rendimiento en esquí de fondo. Los autores encontraron que una mayor cantidad de masa muscular, especialmente en los brazos, mejoraba el rendimiento en los 10 esquiadores de fondo que realizaron el estudio. Anteriormente Ploetz y Rundell (1998) compararon durante 4 años los resultados de un test de laboratorio y uno de competición en biathletas de la Selección Nacional Americana. Curiosamente, no encontraron cambios significativos en $VO_2\text{max}$, pero sí hubo un aumento significativo de la potencia del tren superior tanto en hombres como en mujeres, por lo que concluyeron que la mejora de su rendimiento pudiera deberse, en gran parte, al incremento de potencia del miembro superior.

Y en relación al trabajo de fuerza, Hoff et al. (2002) estudiaron los efectos del entrenamiento de fuerza máxima sobre el rendimiento en esquiadores de fondo. Durante 8 semanas un grupo de 9 esquiadores de fondo realizó un entrenamiento de fuerza, que consistió en realizar 3 sesiones por semana, cada una de ella compuesta de 3 series de 6 repeticiones al 85% de la fuerza máxima. Para ello se utilizó una polea que simulaba los movimientos de esquí de fondo. Dicho entrenamiento de fuerza obtuvo una mejora significativa en la fuerza máxima, y en el ratio de fuerza desarrollada. Así como una mejora del 20.5% en el tiempo al agotamiento sobre un esquí-ergómetro, mejorando así su rendimiento en resistencia. Los autores sugirieron que el entrenamiento de fuerza máxima mejoraba el rendimiento en el esquí de fondo, debido a una mejora de la economía del esfuerzo.

1.1.4.3. VARIACIONES HEMATOLÓGICAS Y BIOQUÍMICAS EN BIATHLON

En 1994 la Federación Internacional de Biathlon (FIB), con el objetivo de luchar contra el dopaje, salvaguardar la salud de los competidores y asegurar una competición limpia, inició un programa de análisis sanguíneo para suspender de la competición a aquellos deportistas con unos valores hematológicos que excedieran de los valores normales establecidos. Manfredini et al. (1999), a petición de la FIB, iniciaron un estudio con una primera fase de 3 años de duración, en la que se midió los valores de hematocrito de todos los biathletas que participaron en los Campeonatos del Mundo desde 1994 hasta 1997 (n = 452 atletas), con el objetivo de determinar los valores aceptables para dicha variable en competición. Tras el seguimiento, los autores sugirieron a la FIB que un valor de hematocrito por encima del 52% en hombres y del 48% en mujeres estaba fuera de los límites legales de participación en competición.

En la segunda fase del estudio, cuya duración fue de 4 años, los autores tomaron muestras de sangre antes de las principales competiciones internacionales, observando que había muy pocos biathletas que superasen los límites legales de hematocrito. Del total de 809 muestras analizadas a lo largo de los 4 años del estudio, el porcentaje medio de hematocrito observado, fue de 46.3% en los biathletas y 42% en el caso de las mujeres (Manfredini et al., 2003).

Los mismos autores, Manfredini et al. (2009), han observado en un reciente estudio que existe un escaso número de atletas que estén por encima de los porcentajes hematológicos permitidos, si bien hay un número estable de deportistas con valores “relativamente altos”.

En un programa antidopaje similar al llevado a cabo anteriormente por la FIB en los años 1994-1997, Morkeberg et al. (2009) realizaron el seguimiento de los valores hematológicos de 1074 esquiadores de fondo durante 6 años (2001-2007). Los valores analizados fueron la concentración de hemoglobina y el porcentaje de reticulocitos. Entre 1997-1999 y 2001-2002 la concentración de hemoglobina se redujo significativamente.

Mientras que entre 2002-2003 y 2006-2007 hubo un aumento de la concentración de hemoglobina y un descenso del porcentaje de reticulocitos, lo que parecía indicar un cambio en la forma de manipulación utilizada para elevar los niveles de hemoglobina de forma exógena.

Se sabe que una forma legal comúnmente utilizada para elevar los niveles de hemoglobina en sangre es el entrenamiento en altitud. Si bien hay numerosos autores que han reportado los beneficios de este método de entrenamiento en diferentes deportes, no parece claro cuál es la magnitud de los efectos sobre el organismo en biathlon. Así, en un estudio de Heinicke et al. (2005) realizado con biathletas de elite se observó que tres semanas de entrenamiento en altura produjeron un incremento en la eritropoyesis, en los glóbulos rojos (12% en hombres y 13% en mujeres) y en la hemoglobina (9.3%), aunque dichos valores retornaban a niveles normales tras 16 días a una altura al nivel del mar. Los autores concluyeron que una correcta planificación del entrenamiento es necesaria de cara a transferir los beneficios del entrenamiento en altura a la competición.

No obstante, Gore y Hahn (2005), en una revisión sobre la cuantificación del incremento de la hemoglobina por efecto del entrenamiento en altura, indicaron que los aumentos de hemoglobina no eran tan elevados y que resultaba difícil distinguir entre el efecto del entrenamiento en altura o el causado por el propio entrenamiento.

Chapman et al. (2009) consideraron el tiempo de aclimatación previo a la competición como algo fundamental. Dicho tiempo puede variar de 3 a 5 días para competiciones realizadas a baja altitud (500-2000 m), de una a dos semanas para competiciones a moderada altitud (2000-3000 m) y de un mínimo de 2 semanas para competiciones a gran altitud (más de 3000 m). Además, los autores recomendaban aumentar el ratio de ejercicio/descanso, en 1:3, si es posible.

Al igual que existen pocos estudios sobre el entrenamiento en altitud en biathlon, tampoco se encuentran demasiados trabajos que analicen las variables hematológicas y

hormonales en relación con el rendimiento en biathlon. Así, Manfredini et al. (2009), en un intento de hallar una relación entre el rendimiento y los cambios producidos en los parámetros sanguíneos, no observaron ninguna relación entre las variaciones individuales de dichos parámetros y el rendimiento en competición, por lo que dichos autores recalcaron la importancia de realizar más estudios sobre el rendimiento y las variables sanguíneas.

En cuanto a los parámetros bioquímicos se refiere, un estudio realizado por Vergès et al. (2003) con 8 esquiadores de fondo, compararon la concentración pico de lactato y frecuencia cardíaca en un test de laboratorio (carrera en cinta), y un test de campo (patinaje). Los autores vieron que, para una frecuencia cardíaca dada, los valores de la concentración pico de lactato en el test de campo eran significativamente más altos a los obtenidos en el test de laboratorio, remarcando la importancia de la especificidad del ejercicio de cara a la optimización del rendimiento.

En la misma línea de estudio encontramos a McNair et al. (2001) con un grupo de 5 biathletas, cuyo objetivo era la búsqueda de un test de campo que pudiera predecir la frecuencia cardíaca y la concentración de lactato en competición. Su trabajo consistió en varios test de rendimiento en patines durante 4 meses alrededor de un circuito de 1.5 km, y al finalizar dicho periodo se realizó, también en patines, una competición de biathlon que consistió en realizar 4 vueltas a un circuito de 2.5 km con 4 paradas para realizar el tiro. Sin embargo, la competición no mostró diferencias significativas en la concentración de lactato ni en la frecuencia cardíaca respecto a los valores de los test de los 4 meses anteriores. Por todo ello, los autores sugirieron que los test de campo son más sensibles que los test en laboratorio para predecir el rendimiento.

1.1.4.4. CARACTERÍSTICAS PSICOLÓGICAS EN BIATHLON

En los últimos años se ha observado un incremento del número de competiciones por temporada aunque la duración de la misma permanezca igual, aproximadamente de 100 días al año. Esto implica un incremento total del número de kilómetros recorridos, así como un aumento del número de disparos, lo que se traduce en un mayor nivel de estrés en los competidores. Con el fin de cuantificar el nivel medio de estrés, Manfredini et al. (2002), a partir de los resultados de un cuestionario hecho a los biathletas, desarrollaron un modelo teórico que predecía dicho nivel de estrés, lo que ha supuesto un instrumento muy útil a la hora de planificar el calendario de competiciones para las federaciones nacionales e internacionales.

1.2. LA PUESTA A PUNTO

La puesta a punto es una fase fundamental en la periodización del entrenamiento, es decir, es el momento clave en el que se debe hacer una correcta reducción de la carga de entrenamiento (volumen, intensidad, duración y/o frecuencia), y una buena combinación entrenamiento- recuperación.

A pesar de que hay muchos estudios que hablan de la importancia de la puesta a punto para optimizar el rendimiento de los deportistas, en la literatura se observa una confusión a la hora de definir el término. Por ello, en el presente estudio, se va a diferenciar entre:

- **Entrenamiento reducido (“step-taper” o “reducción por ruptura”):** reducción estándar no progresiva de la cantidad de entrenamiento, que puede mantener o incluso mejorar muchas de las adaptaciones positivas de rendimiento y fisiológicas ganadas con el entrenamiento (Mujika y Padilla, 2000a).
- **Puesta a punto (“taper”):** reducción progresiva no lineal de la carga de entrenamiento durante un periodo de tiempo variable, con el objetivo de reducir el estrés fisiológico y psicológico del entrenamiento diario, y de optimizar el rendimiento deportivo (Mujika y Padilla, 2000a).

En la literatura, ambos términos de puesta a punto han sido utilizados. De hecho, en un estudio reciente de Bosquet et al. (2007) se señaló que, para nadadores y corredores, las máximas mejoras de rendimiento se daban cuando el volumen de entrenamiento se reducía progresivamente (taper), y en cambio, para los ciclistas, el entrenamiento reducido (step-taper) parecía ser más adecuado para mejorar el rendimiento. Además, los autores concluyeron que otras estrategias de puesta a punto alternativas, como la de reducir inicialmente la carga de entrenamiento e incrementarla al final de la puesta a punto, podría a su vez mejorar el rendimiento.

Las diferentes investigaciones relacionadas con la puesta a punto se centran en

aspectos muy diversos, como la influencia del volumen e intensidad de la carga de entrenamiento, y las variaciones hematológicas, hormonales y psicológicas que se producen durante esta fase del entrenamiento. Existen estudios en los que se analiza el efecto aislado de la intensidad (Shepley et al. 1992) y el volumen de entrenamiento durante la puesta a punto (Mujika et al. 2000c), sugiriendo porcentajes aproximados de reducción de la carga. Sin embargo, hasta la fecha apenas existen estudios que analicen la influencia de la frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto.

Hay que tener en cuenta que una reducción de la carga de entrenamiento, no se trata simplemente de una reducción porcentual del volumen, sino que se deberá realizarse una correcta combinación porcentual de los elementos que componen dicha carga (volumen, intensidad y/o frecuencia).

Conociendo los porcentajes medios de reducción del volumen y la intensidad de entrenamiento, sería interesante controlar la variable frecuencia durante la puesta a punto, y analizar sus consecuencias a nivel sanguíneo, hormonal y de rendimiento en deportes de resistencia.

A continuación, se presentan los diferentes estudios en los que se han analizado los componentes de la carga de entrenamiento (volumen, intensidad, frecuencia), la duración de la puesta a punto, las variaciones fisiológicas (bioquímicas, hormonales, neuromusculares), y los efectos psicológicos de la puesta a punto en deportistas.

Este tipo de análisis va a permitir una comprensión global de los conocimientos actuales sobre planificación de la puesta a punto y poner de manifiesto las lagunas existentes.

1.2.1. INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DE LA CARGA DE ENTRENAMIENTO DURANTE LA PUESTA A PUNTO

Tal como se ha indicado en la definición de puesta a punto de los autores Mujika y Padilla (2000, 2000b), esta fase del proceso de entrenamiento debería caracterizarse, en primer lugar, por una reducción de la carga de trabajo. En efecto, un estudio demostró mediante una modelización matemática que el principal efecto beneficioso de la puesta a punto es la reducción de la influencia negativa del entrenamiento, es decir, la eliminación de la fatiga acumulada (Mujika et al., 1996c).

Como se ha indicado previamente, los componentes básicos del entrenamiento deportivo son el volumen, la intensidad, frecuencia y duración. Por lo tanto, la reducción de la carga de entrenamiento podría llevarse a cabo mediante la reducción aislada de alguno de estos componentes o mediante las posibles reducciones combinadas de los mismos. En un meta-análisis de Bosquet et al. (2007) sobre la puesta a punto, señalaron que la duración óptima del “taper” era de dos semanas, la reducción semanal idónea del volumen de entrenamiento era del 41 al 60%, y no debería haber una disminución de la intensidad y la frecuencia. Aunque Houmard (1991), señala que es posible mejorar o mantener el rendimiento con reducciones mayores del volumen de entrenamiento (70-90%) entre una y tres semanas.

En otro estudio, Thomas y Busso (2005) investigaron los factores del entrenamiento que pueden afectar a la eficacia de la puesta a punto, y analizaron si era mejor una reducción estándar no progresiva de la carga de entrenamiento (entrenamiento reducido o “step-taper”) o una reducción progresiva no lineal de la carga de entrenamiento (puesta a punto o “taper”). Los autores sugirieron que para un mayor rendimiento, justo antes de la puesta a punto se debería aumentar el volumen y la intensidad de entrenamiento, disminuyéndose de forma progresiva durante la misma.

Analizando la bibliografía sobre la puesta a punto, se puede observar que la mayor parte de los estudios tienen dos puntos en común: la necesidad de reducir la carga de

entrenamiento para permitir a los deportistas que la fatiga acumulada disminuya, y mejorar el rendimiento de los deportistas en la competición. Por tanto, la puesta a punto tratará de reducir la fatiga fisiológica y psicológica, mejorar las adaptaciones al entrenamiento, y optimizar el rendimiento en competición (Mujika, 2009).

A continuación se detalla la influencia de cada uno de los componentes del entrenamiento sobre la adaptación a la puesta a punto.

1.2.1.1. INFLUENCIA DEL VOLUMEN DURANTE LA PUESTA A PUNTO

Como ya se ha comentado anteriormente, una reducción del volumen de entrenamiento durante la puesta a punto produce una mejora del rendimiento, pero ¿cuál es la cuantía óptima del descenso de dicho volumen? La literatura indica porcentajes aproximados sobre la reducción del volumen de entrenamiento. A continuación se exponen los principales estudios realizados en los diferentes deportes.

Shepley et al. (1992) analizaron los efectos fisiológicos de tres tipos diferentes de puesta a punto en nueve mediodfondistas: una puesta a punto de alta intensidad y volumen reducido (high-intensity low-volume taper, HIT), una segunda de baja intensidad y volumen moderado (low-intensity moderate-volume taper, LIT), y una tercera basada en el reposo (rest-only taper, ROT). Todos los sujetos realizaron las tres puestas a punto intercalando periodos de cuatro semanas de entrenamiento entre cada una de ellas. Los resultados obtenidos mostraron que el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) no se vio afectado por ninguno de los tres tipos de puesta a punto, aunque en el grupo HIT hubo una mejora significativa (22%) en el tiempo hasta el agotamiento comparado con los valores previos a la puesta a punto. Los autores observaron que los atletas bien entrenados podían aumentar su rendimiento con una puesta a punto que mantuviese la intensidad, pero que disminuyera en gran cantidad el volumen de entrenamiento.

La importancia de una reducción del volumen de entrenamiento durante la puesta a punto ha sido también analizada y confirmada por otros autores. Así, Mujika et al. (2000c) analizaron las respuestas fisiológicas y de rendimiento a una puesta a punto de 6 días en 8 mediodfondistas. Utilizaron dos puestas a punto diferentes, una de volumen moderado y otra de bajo volumen, comprobando que se puede realizar un descenso progresivo del volumen de entrenamiento de hasta el 75% durante la puesta a punto, sin que esto implique un riesgo de desentrenamiento o pérdida de adaptaciones. No existieron mejoras significativas en el rendimiento en la prueba de 800 m tras la puesta a punto en ninguno de los dos grupos, aunque hubo una ligera mejora no significativa del tiempo de prueba del 0.32% (de 125.9 ± 5.1 a 125.5 ± 6.0 s) para todo el grupo de atletas.

Houmard et al. (1994a) analizaron el efecto de siete días de puesta a punto con una marcada reducción del volumen sobre el rendimiento de 24 fondistas. Para ello utilizaron tres tipos de puesta a punto: una primera corriendo, otra segunda realizada en bicicleta, ambas consistentes en un trabajo interválico de alta intensidad y una reducción del 85% del volumen de entrenamiento, y una tercera donde se continuó con el entrenamiento normal. El rendimiento se midió mediante un test de 5 km en tapiz rodante. Sólo el grupo de atletas que realizó la puesta a punto corriendo mejoró su rendimiento con un descenso del 3% en los tiempos del test y mejoró la economía de carrera en un 6%, lo que indica que la puesta a punto de 7 días en corredores fue efectiva. Child et al. (2000) utilizaron el mismo diseño de puesta a punto que Houmard con el objetivo de ver los efectos de la puesta a punto sobre el rendimiento en 14 atletas de media maratón, pues apenas existen estudios sobre pruebas de resistencia de larga duración. Sin embargo, los autores no encontraron diferencias de rendimiento entre el grupo que redujo el volumen en un 85% durante la puesta a punto y el grupo control que continuó con el entrenamiento normal.

Similares resultados de mejora se han encontrado en natación. Mujika et al. (1996c) observaron mejoras del rendimiento del $2.9 \pm 1.5\%$ y del $3.2 \pm 1.7\%$ en un grupo de nadadores ($n=18$) tras tres y cuatro semanas de puesta a punto con el volumen de entrenamiento de alta intensidad marcadamente reducido.

D'Acquisto et al. (1992) analizaron los cambios metabólicos en esfuerzos máximos y submáximos durante una puesta a punto en 13 nadadores, dividiéndolos en dos grupos, uno que realizó un descenso del volumen del 65% (grupo 1) y otro que lo redujo en un 80% (grupo 2). Ambos grupos mantuvieron su potencia aeróbica (de $3.59 \pm 0.13 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ a $3.78 \pm 0.10 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ en el grupo 1, y de 3.48 ± 0.02 a $3.30 \pm 0.09 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ en el grupo 2) y mejoraron su rendimiento entre el 4 y el 8% a pesar del descenso del volumen. Estos autores vieron que una puesta a punto que reducía el volumen, pero mantenía la intensidad y la frecuencia, aumentaba el rendimiento y no deterioraba la potencia aeróbica. En la misma línea de investigación, Papoti et al. (2007) vieron que una reducción del volumen del 48%,

manteniendo intensidad y frecuencia, llevó a un aumento del 3.6% en la potencia de nado y del 1.6% en el rendimiento en 200 m en competición.

Opuesta a la tendencia de reducir el volumen de entrenamiento durante la puesta a punto, Faude et al. (2008) realizó un estudio con 10 nadadores a los que incrementó el volumen de entrenamiento, en un 30% a un grupo (n=5) y en un 40% a un segundo grupo (n=5), durante 4 semanas de puesta a punto. No se observó mejoras de rendimiento en ninguno de los grupos, ni se encontraron diferencias significativas entre ambos.

En cuanto a la forma óptima de reducción del volumen en la puesta a punto, en un deporte complejo como es el triatlón, Zarkadas et al. (1995) analizaron diferentes tipos de reducción del volumen de entrenamiento en 11 triatletas de Ironman: reducción progresiva (taper) contra reducción por ruptura (entrenamiento reducido o “step-taper”) durante una primera puesta a punto de 10 días (Taper 1), y reducción progresiva rápida exponencial contra reducción progresiva lenta lineal en una segunda puesta a punto de 13 días (Taper 2). Tras el Taper 1 observaron que el grupo que realizó la puesta a punto exponencial (con reducción del volumen de entrenamiento en un 50%), aumento el rendimiento en un 4% en el test de carrera de 5 km, y en un 5% en el test en cicloergómetro, mientras que en el grupo que realizó la puesta a punto con reducción del 30% del volumen por ruptura, sólo obtuvo mejoras del 2% en cicloergómetro y del 1% en carrera. Tras el Taper 2, el grupo que realizó la reducción progresiva rápida obtuvo mayores mejoras de rendimiento que el que realizó la reducción progresiva lenta, tanto en carrera (74 s de mejora, frente a los 28 s del grupo de reducción lenta), como en la potencia en bicicleta (34 W frente a 15 W del grupo de reducción lenta). Estos autores comprobaron que una reducción exponencial y rápida del volumen de entrenamiento durante la puesta a punto era la más adecuada para optimizar el rendimiento. Así mismo, comprobaron que era fundamental una correcta disminución del volumen durante la puesta a punto, y que dicho descenso de volumen debía ser exponencial y nunca menor del 50% del volumen realizado en el periodo de entrenamiento. Los mismos autores en otro artículo posterior (Banister et al., 1999), confirmaron que la puesta a punto óptima

debía realizar un marcado descenso del volumen de entrenamiento y aconsejaban mantener una intensidad igual o superior al 70% de la frecuencia cardíaca máxima.

En cuanto al ciclismo, Farhangimaleki et al. (2009) realizaron un estudio de 8 semanas de entrenamiento y 3 de puesta a punto con 24 ciclistas. Dividieron a los deportistas en dos grupos, un grupo control que no realizó una puesta a punto, y otro que redujo el volumen de entrenamiento al 50%. El rendimiento mejoró significativamente en el grupo que realizó la puesta a punto con reducción de volumen, y no existió mejora en el grupo control.

Referente a sujetos sedentarios, Hickson et al. (1982) investigaron las respuestas fisiológicas de un entrenamiento reducido en 13 sujetos. Durante 10 semanas entrenaron en bicicleta o corriendo, 40 min al día, 6 días a la semana, y después realizaron 15 semanas más de entrenamiento reducido divididos en dos grupos que mantuvieron la frecuencia y la intensidad de los entrenamientos, pero descendieron el volumen a 26 min al día un grupo y 13 min al día el otro. Los incrementos medios en el VO_2 max como respuesta a las 10 semanas de entrenamiento se situaron entre el 10 y el 20% durante los test en bicicleta y corriendo, y dichos incrementos se mantuvieron en ambos grupos tras el entrenamiento reducido, al igual que la concentración pico de lactato en sangre, la masa ventricular izquierda, y la resistencia de corta duración (aproximadamente 5 min). Sin embargo, la resistencia de larga duración (2 horas o más) empeoró significativamente en un 10% (de 139 a 123 min) en el grupo que entrenaba 13 min al día. Los autores concluyeron que una reducción del volumen de entrenamiento de más de dos tercios podía mantener la mayoría de las adaptaciones logradas con el entrenamiento (VO_2 max y resistencia de corta duración), pero que tal reducción iba a afectar negativamente a otras adaptaciones del entrenamiento, como la resistencia de larga duración.

A modo de revisión sobre la puesta a punto, diversos autores han tratado de cuantificar la reducción adecuada del volumen de entrenamiento en función de la recopilación de datos de diversas investigaciones, encontrando cierto consenso en cuanto a que dicha reducción debe ser grande. Houmard y Johns (1994), en una revisión

sobre la puesta a punto en natación, hicieron referencia a un aumento del rendimiento del 3% con una puesta a punto que descendía el volumen de entrenamiento del 50 al 90%. Pyne (1995) cuantificó como óptima una reducción del volumen del 50-66% del máximo realizado en nadadores; Rushall (1997) habló de una reducción de al menos el 60% del entrenamiento normal; Peak (2000) situó el descenso del 60 al 90%, y de forma progresiva; y Reaburn (1998) señaló como mínimo el 60% de descenso de volumen, manteniendo la intensidad durante la puesta a punto.

En un reciente meta-análisis del efecto de la puesta a punto en el rendimiento, Bosquet et al. (2007) confirmaban que las mejoras del rendimiento son muy sensibles a las reducciones del volumen de entrenamiento. Las máximas mejoras de rendimiento se obtienen con reducciones del volumen de entrenamiento del 41% al 60% respecto a los volúmenes previos a la puesta a punto, aunque también se han observado mejoras de rendimiento con reducciones del volumen de entrenamiento menores e incluso mayores.

Tras todos los estudios analizados, consideramos que si bien todavía hay dudas en lo relativo a otros elementos de la carga de entrenamiento, en el caso del volumen está claro que su reducción durante la puesta a punto va a ser un factor clave de cara a la mejora del rendimiento.

Para una mayor claridad de lo expuesto, en la siguiente página se presenta una tabla resumen (Tabla 1.1) con los principales estudios sobre la variación del volumen de entrenamiento durante la puesta a punto y sus efectos en el rendimiento.

Tabla 1.1. Efectos de la variación del volumen durante la puesta a punto sobre el rendimiento.

DEPORTE	AUTOR (Año)	n	% ↓ VOLUMEN	TEST	CAMBIO (%)
Atletismo	Shepley et al. (1992)	9	90.6 (HIT)	Tiempo al agotamiento	↑ 22
			62.5 (LIT)		↑ 6
	Mujika et al. (2000c)	8	100 (ROT)	Competición de 800 m	↓ 3
			50 (MVT)		↓ 0.40
	Houmard et al. (1994)	24	75 (LVT)	5 km en cinta rodante	↑ 0.95
Child et al. (2000)	14	85	Media maratón	↑ 3	
Natación	Mujika et al. (1996c)	18	22.6 (3wT)	100-200 m	↑ 2.9
			35.2 (4wT)		↑ 3.2
	D'Acquisto et al. (1992)	13	65 (GP1)	100-400 m	↑ 8-4
			80 (GP2)		↑ 7.7-6.4
	Papoti et al. (2007)	14	48	Potencia de nado	↑ 3.6
200 m				↑ 1.6	
Fraude et al. (2008)	10	↑ 30 (HVT)	100-400 m	↔	
		↑ 40 (HIT)		↔	
Triatlón	Zarkadas et al. (1995)	11	50 (GP1)	5 km carrera – cicloergómetro	↑ 4-5
			30 (GP2)		↑ 1-2
Ciclismo	Farhangimaleki et al. (2009)	24	50	40 min carrera	↑?
Sedent	Hickson et al. (1982)	13	33 (GP1)	RLD (+2h)	↔
			66 (GP2)		↓10

HIT, puesta a punto de alta intensidad y volumen reducido; **LIT**, puesta a punto baja intensidad y volumen moderado; **ROT**, reposo; **MVT**, puesta a punto de volumen moderado; **LVT**, puesta a punto de bajo volumen; **3wT**, puesta a punto de 3 semanas; **4wT**, puesta a punto de 4 semanas; **GP1**, grupo 1; **GP2**, grupo 2; **HVT**, puesta a punto de alto volumen; **HIT**, puesta a punto de alta intensidad; **Sedent**, sedentarios; **RLD**, resistencia de larga duración; **↑**, mejora en el rendimiento; **↓**, descenso en el rendimiento; **↔** sin cambios en el rendimiento.

1.2.1.2. INFLUENCIA DE LA INTENSIDAD DURANTE LA PUESTA A PUNTO

En lo referente a la influencia de la intensidad de entrenamiento durante los periodos de puesta a punto en atletismo, y como se ha indicado en el apartado anterior, Shepley et al. (1992) examinaron, en un grupo de 9 mediodfondistas bien entrenados, tres tipos de puesta a punto de intensidad variable: alta intensidad y volumen reducido (HIT), baja intensidad y moderado volumen (LIT) y descanso (ROT). El $VO_2\text{max}$ no resultó afectado por ninguna de las tres puestas a punto, hallando los resultados más significativos en el grupo que realizó la puesta a punto HIT; el tiempo hasta llegar al agotamiento aumentó un 22% con HIT (y no varió en los otros dos grupos), además de aumentar significativamente la actividad de la citrato-sintetasa (18%), la concentración de glucógeno muscular (15%) y el hematocrito (de $42.8 \pm 0.2\%$ a $43.9 \pm 0.2\%$) en el mismo grupo, lo que les llevó a concluir que una puesta a punto óptima, además de un descenso marcado del volumen de entrenamiento, debía mantener una alta intensidad.

Entre los estudios realizados con nadadores encontramos a Van Haendel et al. (1988) quienes realizaron el seguimiento a 9 nadadores de elite durante 60 días de entrenamiento y 20 días de puesta a punto. Durante dicha puesta a punto, realizaron un descenso marcado de volumen (de 10000-12000 m/día a 2000-3000 m/día), y mantuvieron la intensidad, o incluso la incrementaron, a través de parciales más rápidos y poco descanso. No observaron cambios en las variables $VO_2\text{max}$, frecuencia cardiaca, ni en la concentración de ácido láctico en sangre tras la puesta a punto. Desafortunadamente los datos del rendimiento durante las diferentes fases del entrenamiento no fueron expuestos en el estudio. En vista de los resultados sugirieron que, para optimizar los efectos de la puesta a punto, la intensidad debería reducirse un poco para permitir descansos y recuperaciones adecuadas.

D'Acquisto et al. (1992), en un estudio sobre las variaciones de la carga durante el entrenamiento en 13 nadadores, observaron que una puesta a punto que mantenía el trabajo de potencia aeróbica, con los consiguientes descensos de volumen (65% y 80%), mejoraba el rendimiento de sus deportistas entre el 4 y el 8%, respectivamente, mientras

que la potencia aeróbica no se vio afectada. Del mismo modo, Mujika et al., (1995) observaron las relaciones entre volumen, intensidad y frecuencia y las variaciones del rendimiento en 18 nadadores de élite, encontrando una correlación entre el rendimiento y la intensidad del entrenamiento. Los autores señalaron la intensidad del entrenamiento como el factor clave para la mejora del rendimiento.

Trinity et al. (2008) analizaron cómo afectaba la variación de la intensidad de entrenamiento durante la puesta a punto a la potencia máxima y el rendimiento en 7 nadadoras, concluyendo que una reducción del trabajo de alta intensidad durante ese periodo disminuía el periodo de tiempo que el nadador era capaz de mantener su potencia máxima y su rendimiento en competición. También observaron que una puesta a punto con entrenamiento de alta intensidad era mucho más efectiva que una puesta a punto con entrenamiento de baja intensidad.

Tras 21 días de puesta a punto con una reducción de la intensidad y del volumen del entrenamiento en 12 ciclistas, Rietjens et al. (2001) observaron que todas las adaptaciones fisiológicas logradas con el entrenamiento se mantuvieron, tanto en ejercicio máximo como en submáximo.

Hickson et al. (1985) realizaron una reducción de la intensidad de entrenamiento en bicicleta y corriendo, a un grupo de 12 sujetos moderadamente activos que había llevado a cabo 10 semanas de entrenamiento, 40 min/día, 6 días/semana. La reducción fue del 33 y el 66% durante 15 semanas, mientras que el volumen y la frecuencia de entrenamiento se mantuvieron. El grupo que redujo la intensidad un 33% no logró mantener el VO_2 max a los niveles posteriores a las 10 semanas de entrenamiento, aunque todavía permanecía por encima de los valores base. Con una reducción del 66%, el VO_2 max descendió en mayor medida que en el anterior grupo. La resistencia de corta duración se mantuvo en el grupo que redujo 1/3 la intensidad, pero tuvo un notable descenso en el grupo que redujo 2/3. La resistencia de larga duración empeoró significativamente un 21% en el grupo 1/3, y 30% en el 2/3. Los autores señalaron la intensidad de entrenamiento como el factor esencial para mantener los incrementos de

potencia aeróbica durante periodos de entrenamiento reducido.

En relación a revisiones bibliográficas realizadas sobre el tema, Houmard y Johns (1994) en una revisión sobre la puesta a punto en natación, señalaron el trabajo interválico de alta intensidad, además del citado descenso de volumen, como factor muy importante de cara a aumentar la efectividad de dicha puesta a punto. En una posterior revisión bibliográfica sobre la puesta a punto, Mujika (1998) citó la intensidad de entrenamiento durante la puesta a punto y el nivel inicial del deportista al comienzo de la temporada como los dos factores más importantes de cara al máximo rendimiento en competición.

Rushall (1997) habló en su revisión sobre la puesta a punto de la necesidad de una intensidad elevada; Peak (2000) situó el porcentaje de intensidad durante la puesta a punto en el 70% del VO_2 max como mínimo; y Reaburn (1998) indicó que se debe mantener la intensidad, mediante series de alta intensidad con recuperación completa, durante la puesta a punto. En la misma línea Houmard (2009), en su artículo sobre la óptima estrategia de entrenamiento en resistencia para maximizar el rendimiento, señaló que los entrenamientos de alta intensidad eran mucho más indicados que los de alto volumen.

La literatura pone de manifiesto la importancia de mantener el entrenamiento de alta intensidad para mejorar el rendimiento durante la puesta a punto. Es más, en una revisión reciente McNeely and Sandler (2007) no sólo confirmaban esta teoría, sino que señalaban que un aumento de la intensidad del entrenamiento durante los últimos días de la puesta a punto era fundamental tanto a nivel fisiológico como psicológico de cara a la mejora del rendimiento. Dicho aumento de la intensidad proporcionaba a los deportistas mejores sensaciones de velocidad, potencia y les generaba una mayor confianza. Como se ha visto en apartados anteriores, en ocasiones la reducción de la carga de entrenamiento durante la puesta a punto genera inseguridad en los atletas de resistencia y algunos sujetos reportan una pérdida de sensaciones dada la reducción de la carga. El incremento de la intensidad en los últimos días de la puesta a punto va a intentar paliar esos efectos, y va a intentar generar que el deportista se sienta menos fatigado y

con más energía.

En resumen y como señalaba Mujika (2009), el mantenimiento de la intensidad del entrenamiento durante la puesta a punto va a ser un factor clave de cara a evitar el riesgo de desentrenamiento, ya que este componente de la carga es fundamental para mantener la potencia aeróbica, las hormonas anabólicas circulantes, y las sensaciones de velocidad y potencia. Además, el entrenamiento de “alta calidad” durante la puesta a punto puede aumentar las adaptaciones fisiológicas y de rendimiento. Por el contrario, si la intensidad es disminuida, algunas de las adaptaciones provocadas por el entrenamiento pueden ser perdidas.

Al igual que en el apartado relativo al volumen, a continuación se expone una tabla (Tabla 1.2) con los principales estudios expuestos en el presente apartado sobre la variación de la intensidad de entrenamiento durante la puesta a punto y sus efectos en el rendimiento.

Tabla 1.2. Efectos de la variación de la intensidad durante la puesta a punto sobre el rendimiento.

DEPORTE	AUTOR (Año)	n	% CAMBIO INTENSIDAD	TEST	CAMBIO (%)
Atletismo	Shepley et al. (1992)	9	↔ (HIT)	Tiempo al agotamiento	↑ 22
			↓ (LIT)		↑ 6
			100 (ROT)		↓ 3
Natación	Van Haendel et al. (1988)	9	↔↑	400 m	↔
	D'Acquisto et al. (1992)	13	↔	100-400 m	↑ 8-4
	Trinity et al. (2008)	7	↑50-60	Potencia máxima	↑ 8-14
Ciclismo	Rietjens et al. (2001)	12	↔	VO ₂ max	↔
Sedent	Hickson et al. (1985)	12	↓ 33 (GP1)	RLD (+2h)	↓ 21
			↓ 66 (GP2)		↓ 30

HIT, puesta a punto de alta intensidad y volumen reducido; **LIT**, puesta a punto baja intensidad y volumen moderado; **ROT**, reposo; **GP1**, grupo 1; **GP2**, grupo 2; **Sedent**, sedentarios; **RLD**, resistencia de larga duración; **↑**, aumento o mejora en el rendimiento; **↓**, disminución o descenso en el rendimiento; **↔** sin cambios.

1.2.1.3. INFLUENCIA DE LA FRECUENCIA DURANTE LA PUESTA A PUNTO

Houmard et al. (1989) analizaron los efectos de un entrenamiento reducido durante 10 días en un grupo de 5 fondistas bien entrenados. Los sujetos realizaron un entrenamiento medio 110 km/semana durante 3 meses, para reducirlo durante a la puesta a punto a 8 km/día, 5 días/semana durante 10 días (5 días de entrenamiento y 5 de descanso). No se observaron variaciones en VO_2 max, VO_2 submax, frecuencia cardiaca máxima ni en el tiempo en llegar al agotamiento, por lo que sugirieron que quizás la reducción de entrenamiento empleada no había sido suficiente.

En un estudio posterior del mismo autor con atletas, Houmard et al. (1990b) realizaron 3 semanas de entrenamiento reducido en 10 fondistas, durante las cuales el descenso de volumen semanal fue del 70% (de 81 ± 5 a 24 ± 2 km/semana, de los que 17 km eran al 75% del VO_2 max) y el descenso de la frecuencia fue del 17% (de 6 a 5 sesiones semanales). La frecuencia cardiaca máxima aumentó 4 latidos/min tras el entrenamiento reducido, lo que podría asociarse a un descenso del volumen plasmático de $5,62 \pm 6,43\%$. El VO_2 max no varió, ni tampoco los valores de potencia muscular. No se observaron variaciones significativas en el rendimiento, con lo que concluyeron que un entrenamiento reducido de estas características podía mantener las adaptaciones logradas con el entrenamiento durante, al menos, 3 semanas.

McConnell et al. (1993) tampoco encontraron variaciones del VO_2 max en 10 fondistas durante 4 semanas de entrenamiento que redujo un 66% el volumen de entrenamiento y un 50% la frecuencia, pero mantuvo la intensidad. Tras ese periodo, observaron un aumento significativo de la concentración de lactato sanguíneo (de 8.39 a 9.89 mmol·l⁻¹). El rendimiento en el test de 5 km empeoró, al aumentar el tiempo de 16.6 ± 0.3 a 16.8 ± 0.3 minutos, comprobando que 9 de los 10 atletas corrieron más despacio tras el entrenamiento reducido. Aunque la capacidad aeróbica se mantuvo, los autores señalaron que la intensidad durante el entrenamiento reducido era muy importante de cara a mantener el rendimiento.

En lo relativo a la puesta a punto en natación, Neuffer et al. (1987) estudiaron los efectos de 4 semanas de entrenamiento reducido sobre la fuerza muscular y la resistencia en 24 nadadores, tras 5 meses de entrenamiento. Durante los 5 meses anteriores, los nadadores realizaban 8300 m/día, 6 días/semana, y después el entrenamiento se redujo a 2800 m/día en dos grupos, uno que entrenaba 3 días/semana (RT3), y otro que entrenó 1 día/semana (RT1) durante las últimas 4 semanas. Un tercer grupo no entrenó. El $VO_2\text{max}$ descendió significativamente en RT1 tras las 4 semanas (de 4.75 a 4.62 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) y no hubo cambios en los valores de RT3, y la capacidad aeróbica y la fuerza pudieron mantenerse al menos durante 4 semanas de entrenamiento reducido en sujetos bien entrenados. Sin embargo la potencia de nado descendió (13%) en todos ellos.

En los estudios realizados con sujetos sedentarios o moderadamente activos encontramos resultados similares. Así, Hickson y Rosenkoetter (1981) estudiaron la mínima frecuencia de entrenamiento necesaria durante un periodo de entrenamiento reducido para mantener las ganancias de $VO_2\text{max}$ logradas. Doce sujetos participaron en un programa de entrenamiento de 40 min/día, 6 días/semana (3 días en bicicleta y 3 días corriendo), durante 10 semanas, y después continuaron entrenando 4 días/semana o 2 días/semana otras 15 semanas. La intensidad y el volumen de los entrenamientos se mantuvieron, y observaron que no había cambios significativos entre los valores de $VO_2\text{max}$ al final de las 15 semanas de entrenamiento reducido, en comparación con los valores tras las 10 semanas de entrenamiento. Los incrementos de los valores de $VO_2\text{max}$ a nivel grupal tras las 10 semanas de entrenamiento fueron de aproximadamente 25% en bicicleta, y 20% corriendo. El rendimiento, tanto en bicicleta como en carrera en cinta, tampoco sufrió cambios significativos tras el entrenamiento reducido, comparando con los resultados tras las 10 semanas de entrenamiento normal. Los autores concluyeron que es necesario realizar más ejercicio para incrementar el $VO_2\text{max}$ en atletas entrenados que el ejercicio requerido para mantenerlo, ya que vieron que es posible mantener los incrementos ganados con el entrenamiento durante, al menos, 15 semanas con entrenamientos de alta intensidad y con frecuencias de 2 ó 4 días a la semana.

Graves et al. (1988) analizaron los cambios en los niveles de fuerza muscular durante un periodo de entrenamiento reducido en 50 sujetos sedentarios. Tras 10 semanas de entrenamiento de fuerza con resistencia variable con una frecuencia de 2 ó 3 días/semana, realizaron 12 semanas en las que la frecuencia de entrenamiento se redujo a 2, 1 ó 0 días/semana para los que antes entrenaron 3 días/semana, y a 1 ó 0 días para los que antes entrenaron 2 días/semana. Las ganancias en fuerza fueron medidas con un test de extensión isométrica de rodilla, y con las variaciones de las cargas en el entrenamiento dinámico, y tras las 10 semanas de entrenamiento las ganancias de fuerza para dichos test fueron de $21.4 \pm 17.5\%$ y de $49.5 \pm 14.7\%$. Con el entrenamiento reducido el grupo que no entrenó perdió el 68% de la fuerza isométrica ganada. No hubo variaciones significativas en los sujetos que redujeron a 2 y 1 día respecto a los valores que obtuvieron tras las 10 semanas de entrenamiento. Los autores concluyeron que la fuerza muscular se podía mantener más de 12 semanas con un entrenamiento reducido en frecuencia.

Las revisiones indican que una puesta a punto efectiva además de un descenso progresivo del volumen del 60 al 90%, realizado a una intensidad mínima del 70% del $VO_2\text{max}$, debe reducir su frecuencia un 20-50%, pero nunca más del 50%, para evitar caer en desentrenamiento (Peak, 2000). Reaburn (1998) señaló que la frecuencia de entrenamiento no se debe reducir más del 40%, situando la reducción óptima entre el 20 y el 40%.

Así mismo, parece que las adaptaciones ganadas con el entrenamiento pueden mantenerse durante la puesta a punto con un gran descenso de la frecuencia en sujetos sedentarios o moderadamente entrenados, pero se necesitan frecuencias de entrenamiento superiores para no producir desentrenamiento en deportistas entrenados.

En su meta-análisis Bosquet et al. (2007) señalaban que el descenso de la frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto no ha demostrado mejorar el rendimiento. Los autores indicaban que el descenso de la frecuencia de entrenamiento a menudo estaba relacionado con otras variables del entrenamiento, sobre todo el

volumen y la intensidad, por lo que resultaba complicado aislar el efecto de la reducción de la frecuencia de entrenamiento sobre el rendimiento.

Según Mujika (2009), los estudios que evalúan los efectos de la reducción de la frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto señalan que, para deportistas bien entrenados, es mejor mantener las frecuencias de entrenamiento similares a las realizadas antes de la puesta a punto. De no ser así, podría aumentarse el riesgo de perder las “sensaciones” del deporte, sobre todo en los deportes cíclicos más dependientes de la técnica.

Como se ha podido comprobar, en la mayoría de los estudios anteriores sobre la variación de la frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto apenas se produjeron cambios en el rendimiento. En una investigación anterior a esta tesis (Mujika et al., 2002), se compararon dos formas diferentes de frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto con el objetivo de saber cuál era la que mayores aumentos de rendimiento producía. Así, tras 18 semanas de entrenamiento, 9 atletas fueron divididos en dos grupos, uno que realizó una puesta a punto de 6 días de alta frecuencia (PAF) consistente en entrenamiento diario, y un segundo grupo que descansó cada tres días durante la puesta a punto (puesta a punto de frecuencia moderada, PFM). La puesta a punto de alta frecuencia consistió en una reducción lineal no progresiva en el entrenamiento interválico de alta intensidad hasta valores del 20% respecto al volumen de entrenamiento previo (55%, 40%, 30%, 25%, 20%, 20% del día 1 al 6, respectivamente), mientras que en la puesta a punto de frecuencia moderada se siguió el mismo patrón, pero los sujetos descansaron cada tres días (50%, 40%, descanso, 25%, 20%, descanso, del día 1 al 6, respectivamente), lo que supuso una reducción de la frecuencia de entrenamiento del 33%. El rendimiento mejoró de forma significativa un 1.93% tras PAF, y también se observó una mejora del 0.39% en el grupo PFM, pero esta mejora no fue significativa. Por tanto, entrenar diariamente durante una puesta a punto de 6 días llevó a los atletas a unas mejoras significativas en el rendimiento.

Para finalizar el presente apartado, adjuntamos la tabla (Tabla 1.3) de los principales estudios analizados sobre los efectos de la variación de la frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto y sus efectos en el rendimiento.

Tabla 1.3. Efectos de la variación de la frecuencia durante la puesta a punto sobre el rendimiento.

DEPORTE	AUTOR (Año)	n	% CAMBIO FRECUENCIA	TEST	RENDIMIENTO (%)
Atletismo	Houmard et al. (1989)	5	↓ 50	VO ₂ max	↔
	Houmard et al. (1990b)	10	↓ 17	VO ₂ max	↔
	McConell et al. (1993)	10	↓ 50	Competición 5 km	↓ 1.2
	Mujika et al. (2002)	9	↓ 33 (PFM) ↓ 0 (PAF)	Competición 800 m	↑ 0.39 (ns) ↑ 1.93
Natación	Neufer et al. (1987)	24	↓ 50-80	Potencia de nado	↓ 13
Sedent	Hickson y Rosenkoetter (1981)	12	↓ 33 (GP1) ↓ 66 (GP2)	VO ₂ max	↔
	Graves et al. (1988)	50	↓ 33 (GP1)	Extensión de rodilla isométrica	↔
			↓ 66 (GP2)		↔
			↓ 100 (GP3)		↓ 68

PFM, puesta a punto de frecuencia moderada; **PAF**, puesta a punto de alta frecuencia; **GP1**, grupo 1; **GP2**, grupo 2; **GP3**, grupo 3; **Sedent**, sedentarios; ↑, aumento o mejora en el rendimiento; ↓, disminución o descenso en el rendimiento; ↔ sin cambios en el rendimiento.

1.2.1.4. INFLUENCIA DE LA DURACIÓN DE LA PUESTA A PUNTO

La duración de la puesta a punto, de cara a optimizar al máximo las adaptaciones ganadas con el entrenamiento previo, parece ser un parámetro difícil de cuantificar. Los resultados encontrados en la bibliografía muestran diferencias considerables en función del tipo de deporte realizado, las semanas de entrenamiento previas y la cantidad de entrenamiento realizado durante esas semanas, sin olvidar las diferencias individuales de cada uno de los deportistas.

En un estudio tratando de determinar la óptima duración de la puesta a punto en 15 nadadoras de velocidad, media distancia y de resistencia, Kenitzer (1998) analizó las últimas 4 semanas de la temporada para tratar de identificar el periodo óptimo de descenso de la carga de entrenamiento, basándose en los cambios de las concentraciones de lactato y los tiempos de rendimiento en los test. No encontraron diferencias significativas en función de la especialidad de natación, pero sí hubo un punto de inflexión significativo al final de la segunda semana y principios de la tercera donde los tiempos de rendimiento y los valores de lactato, que habían estado disminuyendo, comenzaron a retornar a los valores de inicio. Los hallazgos del estudio sugirieron que una puesta a punto de aproximadamente dos semanas podía ser el tiempo límite de recuperación y compensación antes de entrar en una fase de desentrenamiento.

Con resultados positivos tras una puesta a punto de mayor duración encontramos a Mujika et al. (1996c). En un estudio que analizó tres puestas a punto de 3, 4 y 6 semanas en 17 nadadores, en el que se utilizó un modelo matemático que unía entrenamiento y rendimiento, y estimaba las influencias positivas y negativas del entrenamiento. El rendimiento mejoró el 2.9% y el 3.2% en las puestas a punto de 3 y 4 semanas respectivamente, mientras que con la de 6 semanas hubo una mejora no significativa del 1.8%. Las influencias negativas del entrenamiento se redujeron con las dos primeras puestas a punto, pero no tras la de 6 semanas. Existió una gran variabilidad entre los nadadores, por lo que los autores concluyeron que la duración de la puesta a punto debe ser determinada individualmente, en función de las características personales de los

deportistas, del grado de asimilación del entrenamiento y de la pérdida de las adaptaciones generadas por dicho entrenamiento.

En lo relativo a revisiones bibliográficas, en su estudio sobre técnicas de entrenamiento para mejorar el rendimiento en deportes de resistencia, Kubukeli et al. (2002) señalaban que la puesta a punto óptima iba a depender de la intensidad del entrenamiento precedente realizado por los atletas y de su necesidad de recuperarse del ejercicio intenso de cara a la competición. Situaban en dos semanas el tiempo necesario para recuperarse completamente del entrenamiento previo y mejorar el rendimiento en atletas que habían entrenado intensamente durante largo tiempo, y aconsejaban una puesta a punto más corta para aquellos atletas que habían reducido el entrenamiento de alta intensidad durante la puesta a punto para no perder el estado de forma.

Mujika y Padilla (2003) señalaban una duración de la puesta a punto de entre 4 y 28 o más días como la óptima duración, añadiendo que la puesta a punto progresiva no lineal iba a ser más beneficiosa que el entrenamiento reducido. En su artículo sobre las bases científicas de la puesta a punto indicaban que la puesta a punto generaba adaptaciones positivas psicológicas, fisiológicas y de rendimiento, y que dichas mejoras se habían observado en puestas a punto con duraciones de entre 4 y 14 días en ciclistas y triatletas, de 6-7 días en mediofondistas y fondistas, de 10 días en deportes de fuerza, y de 10 a 35 días en nadadores.

Por su parte, Bosquet et al. (2007) en su meta-análisis sobre la puesta a punto señalaban una duración de 8 a 14 días como la duración óptima que va a permitir eliminar la fatiga acumulada y asimilar las adaptaciones generadas por el entrenamiento previo. Una puesta a punto de mayor duración podría generar la pérdida de dichas adaptaciones y el desentrenamiento.

Para una mayor claridad de lo expuesto, a continuación se adjunta una tabla (Tabla 1.4.) a modo de resumen.

Tabla 1.4. Duración óptima de la puesta a punto según diferentes autores.

DEPORTE	AUTOR (Año)	n	DURACIÓN ÓPTIMA
Natación	Kenitzer (1998)	15	aprox. 2 semanas
	Mujika et al. (1996c)	17	3 semanas (2.9% mejora)
			4 semanas (3.2% mejora)
Reviews	Kubukeli et al. (2002)		aprox. 2 semanas en deportistas bien entrenados
	Mujika y Padilla (2003)		4-14 días en ciclismo y triatlón
			6-7 días en atletismo (medio fondo y fondo)
			10 días en deportes de fuerza
Bosquet et al. (2007)		10-35 días en natación	
			8-14 días

1.2.2. RESPUESTAS FISIOLÓGICAS A LA PUESTA A PUNTO

1.2.2.1. VARIACIONES HEMATOLÓGICAS DURANTE LA PUESTA A PUNTO

Durante la puesta a punto se ha visto un incremento del volumen total de sangre y del volumen de glóbulos rojos, como señalaron Shepley et al. (1992) en su estudio con nueve atletas de medio fondo. El volumen sanguíneo total tuvo un pequeño descenso en el grupo que descansó durante la puesta a punto (rest-only taper, ROT), y un pequeño incremento en el grupo de puesta a punto de alta intensidad y volumen reducido (high-intensity low-volume taper, HIT), ambos significativos; tendencia similar a la que se observó en los glóbulos rojos, pero en este caso sólo los resultados en el grupo HIT fueron significativos. El hematocrito aumentó de 42.8 ± 0.2 a $43.9 \pm 0.2\%$ en el grupo HIT. No observaron cambios significativos en el grupo de puesta a punto de baja intensidad y moderado volumen (low-intensity moderate-volume taper, LIT). Los autores sugirieron que el rendimiento se podía mejorar con la puesta a punto de alta intensidad y bajo volumen, y que dichas mejoras podían deberse al aumento de la actividad de las enzimas oxidativas, y/o a los aumentos del volumen de sangre y glóbulos rojos.

En cambio, Mujika et al. (2000c) en un estudio realizado con 8 fondistas, apreciaron un descenso significativo del volumen de glóbulos rojos de 5.04 ± 0.12 a $4.94 \pm 0.11 \times 10^6 \cdot \text{mm}^3$ tras la puesta a punto de 6 días, y también observaron descensos significativos en la hemoglobina (15.8 ± 0.9 a $15.3 \pm 0.8 \text{ g} \cdot \text{dl}^{-1}$), la hemoglobina corpuscular media (31.3 ± 1.6 a $30.9 \pm 1.6 \text{ pg}$) y la concentración de hemoglobina corpuscular media (34.0 ± 0.3 a $33.5 \pm 0.5 \text{ g} \cdot \text{dl}^{-1}$) comparado con los valores previos a la puesta a punto, mientras que los reticulocitos aumentaron significativamente ($12.8 \pm 3.2\%$ a $18.4 \pm 3.5\%$). Los autores interpretaron que estos hallazgos observados eran el resultado de una hemodilución relativa provocada por la expansión del volumen de plasma junto con una estimulación de la eritropoyesis.

En otro estudio realizado también con atletas, pero esta vez centrado en las variaciones de la serie blanca, Kajijura et al. (1995) realizaron varios tipos de

entrenamientos a los 12 participantes: bajo volumen-baja intensidad, alto volumen-baja intensidad y alto volumen-alta intensidad, con el objetivo de ver los efectos crónicos y agudos de los cambios en la intensidad y volumen de entrenamiento sobre el porcentaje de linfocitos e inmunoglobulinas en corredores. Concluyeron que el ejercicio provoca descensos temporales en los valores de los linfocitos y que dichas variaciones eran más dependientes de la intensidad de entrenamiento que del volumen.

Algunas investigaciones se han centrado en explicar e investigar la llamada “anemia o pseudoanemia del deportista”, situación debida a las citadas alteraciones de los glóbulos rojos y a los cambios del volumen sanguíneo durante el ejercicio. Así, Pizza et al. (1997) analizaron los índices de ferritina, haptoglobina y glóbulos rojos durante una temporada completa de atletismo y natación. En el grupo de 8 atletas observaron un descenso significativo durante el periodo de entrenamiento intenso en hemoglobina ($14.3 \pm 0.3 \text{ g}\cdot\text{dl}^{-1}$), hematocrito ($41.2 \pm 0.8\%$) y el número de glóbulos rojos ($4.6 \pm 0.09 \times 10^6 \cdot \text{ml}^{-1}$) respecto a los valores del test realizado antes de iniciar el entrenamiento (hemoglobina $14.9 \pm 0.3 \text{ g}\cdot\text{dl}^{-1}$; hematocrito $43.4 \pm 0.9\%$; glóbulos rojos $4.8 \pm 0.10 \times 10^6 \cdot \text{ml}^{-1}$), pero dichos valores retornaban a niveles base con la puesta a punto, mientras que la hemoglobina corpuscular media aumentó en el mismo periodo para descender posteriormente y volver a aumentar tras la puesta a punto ($31.1 \pm 0.5 \text{ pg}$ tanto en entrenamiento intenso como tras la puesta a punto). En los 5 nadadores se produjo un descenso significativo de la concentración de hemoglobina corpuscular media al principio de la puesta a punto y tras ella, respecto a los valores iniciales ($33.4 \pm 0.5 \text{ vs } 35.0 \pm 0.7 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$), y se observó una tendencia similar del volumen corpuscular medio ($93.4 \pm 2.0 \text{ vs } 92.4 \pm 2.0 \mu\text{m}^3$). Los autores, en vista de los resultados, concluyeron que no se veían alteraciones en los glóbulos rojos que sugirieran un estado de anemia.

En otras investigaciones, Mujika et al. (1997) observaron un mantenimiento del estado hematológico durante la puesta a punto en 8 nadadores (el volumen de glóbulos rojos varió de $5.03 \pm 0.31 \times 10^6 \cdot \text{mm}^{-3}$ pre-puesta a punto, a $5.06 \pm 0.44 \times 10^6 \cdot \text{mm}^{-3}$ post-puesta a punto), y una correlación positiva glóbulos rojos post-puesta a punto–

variaciones del rendimiento. Estos autores sugirieron que la puesta a punto favorecía un balance positivo entre la eritropoyesis y la hemólisis, lo cual se confirmó con el aumento de reticulocitos durante la puesta a punto observado en el estudio con atletas señalado anteriormente (Mujika et al., 2000c). Yamamoto et al. (1988) también observaron un aumento significativo de la hemoglobina y el hematocrito con la puesta a punto en nadadores de competición.

En cuanto a la serie blanca, Mujika et al. (1996a) observaron un descenso del porcentaje de neutrófilos en un grupo de 8 nadadores de elite (5.7% comparando con valores de antes de la puesta a punto), y una tendencia también al descenso en los basófilos y el porcentaje de granulocitos, mientras que los linfocitos tendieron a aumentar, al parecer en relación con el descenso de volumen de entrenamiento durante la puesta a punto. Sin embargo, los autores de este estudio indicaron que estas variaciones carecían probablemente de importancia a nivel clínico.

En una revisión sobre la puesta a punto, McNeely y Sandler (2007) señalan que se han observado incrementos del 14 y del 2.6% en el hematocrito y la concentración de hemoglobina, respectivamente, durante los primeros 7 días de una puesta a punto, lo que indica una mejora de la capacidad de la sangre para transportar oxígeno.

Para finalizar, en nuestro estudio precedente (Mujika et al., 2002) con atletas, donde se compararon una puesta a punto de alta frecuencia con una puesta a punto de frecuencia moderada, no se encontraron cambios significativos en ninguna de las variables hematológicas de la serie roja, pero sí se observó un aumento significativo de neutrófilos con la puesta a punto del 18.2% en el grupo PAF y del 10% en el grupo PFM. Si bien se observó un incremento moderado similar en cada uno de los participantes, la significatividad inmunológica o biológica de estos cambios es cuestionable, debido a que el número de neutrófilos tras la puesta a punto permaneció dentro de los niveles bajos de los valores normales, lo cual indica que el cambio observado difícilmente pudiera tener significatividad inmunológica.

A continuación se adjunta la tabla (Tabla 1.5.) que contiene las investigaciones descritas en el presente apartado.

Tabla 1.5. Efectos de la puesta a punto sobre las variables hematológicas.

DEPORTE	AUTOR (Año)	n	CAMBIOS
Atletismo			↑ Ht
	Shepley et al. (1992)	9	↑ Volumen de sangre ↑ Hematíes
	Mujika et al. (2000c)	8	↓ Hb ↓ MCH y MCHC ↑ Hematíes
	Kajiura et al. (1995)	12	↓ Linfocitos
	Pizza et al. (1997)	8	↑ MCH
	Mujika et al. (2002)	9	↑ Neutrófilos
Natación	Pizza et al. (1997)	5	↓ MCHC ↓ MCV
	Mujika et al. (1997)	8	Mantenimiento del estado hematológico
	Yamamoto et al. (1988)	20	↑ Hb ↑ Ht
	Mujika et al. (1996a)	8	↓ Neutrófilos ↑ Linfocitos
Review	McNeely y Sandler (2007)		↑ Hb ↑ Ht

Ht, hematocrito; **Hb**, hemoglobina; **MCH**, hemoglobina corpuscular media; **MCHC**, concentración de hemoglobina corpuscular media; **MCV**, volumen corpuscular medio; ↑, aumento; ↓, disminución.

1.2.2.2. VARIACIONES BIOQUÍMICAS Y HORMONALES DURANTE LA PUESTA A PUNTO

Diversos estudios han investigado las posibles modificaciones hormonales asociadas a los periodos de puesta a punto en deportistas. Así Houmard et al. (1990a) analizaron los efectos de un entrenamiento reducido (de 81 km/semana, 6 días/semana, a 24 km/semana, 5 días/semana) en los valores de testosterona, cortisol y creatina kinasa en 10 fondistas. Los valores medios de testosterona total durante el periodo de entrenamiento fueron de 5.10 ± 0.21 ng·ml, y durante el entrenamiento reducido no variaron, lo mismo que los niveles de cortisol, que alcanzaron sus valores máximos durante el entrenamiento (23.61 ± 1.18 ng·dl) y después no se vieron modificados (23.14 ± 1.56 ng·dl). Mientras tanto, la creatina kinasa aumentó durante el periodo de entrenamiento (168 ± 15 UI·L⁻¹), y durante el entrenamiento reducido descendió significativamente (99 ± 9 UI·L⁻¹). Estos investigadores concluyeron que los valores de testosterona en fondistas eran normales tendiendo a bajos, y los de cortisol normales tendiendo a altos, y que los niveles de dichas hormonas en reposo no se vieron afectados por el entrenamiento reducido, mientras que la creatina kinasa sí fue afectada por la reducción del entrenamiento.

El mismo descenso de los valores de CK encontraron Child et al. (2000), quienes analizaron los efectos de la puesta a punto en el daño muscular en 14 atletas de resistencia de larga duración. Los autores encontraron que durante dicho periodo se generaban mecanismos para reducir los daños miocelulares provocados por el ejercicio. Dos grupos de fondistas realizaron dos medias maratones en cinta de laboratorio. Tras el primer test fueron divididos en dos grupos, uno que continuó con el entrenamiento normal, y un segundo grupo que realizó una puesta a punto con un descenso del 85% del volumen de entrenamiento. Los valores basales de creatina kinasa aumentaron en el grupo que continuó con el entrenamiento de 90 ± 32 UI·L⁻¹ antes del primer test a 106 ± 23 UI·L⁻¹ antes de la segunda media maratón, mientras que el grupo que realizó la puesta a punto mostró un descenso de 115 ± 24 a 108 ± 24 UI·L⁻¹ antes del primer y segundo test

respectivamente. Los valores de CK inmediatamente después del segundo test también fueron significativamente menores en el grupo que realizó la puesta a punto. Los autores concluyeron que aunque el rendimiento no mejoró, la puesta a punto redujo el daño muscular.

Por su parte, Flynn et al. (1997) analizaron las respuestas hormonales en sangre provocadas por el aumento del volumen de entrenamiento en 11 atletas, con un entrenamiento corriendo o en bicicleta, no observando resultados significativos en los niveles de testosterona libre, testosterona total, ACTH y LH, concluyendo que las respuestas endocrinas al aumento del volumen del entrenamiento son similares con diferentes tipos de entrenamiento, independientemente de la mayor o menor especificidad que tengan.

En cambio, en su estudio con 8 mediodfondistas, Mujika et al. (2000c) observaron correlaciones negativas entre el entrenamiento de baja intensidad durante la puesta a punto y el cambio porcentual de testosterona total, la cual también correlacionó negativamente con el trabajo de baja intensidad durante las 3 semanas previas a la puesta a punto de 6 días. Sin embargo, el trabajo interválico de alta intensidad, tanto en las 3 semanas anteriores a la puesta a punto, como durante la puesta a punto, correlacionó positivamente con el cambio porcentual de testosterona total durante la puesta a punto. Encontraron así mismo una correlación entre los cambios de rendimiento en la puesta a punto y los cambios de la concentración pico de lactato en sangre tras el test de 800 m, sugiriendo que la concentración pico de lactato post-competición pudiera ser el mejor indicador de la capacidad anaeróbica, y que esos niveles de lactato son sensibles a los cambios provocados por el entrenamiento. Ninguna de las variables hormonales cambió significativamente con la puesta a punto.

En lo relativo a la relación entre hormonas y variables hematológicas de la serie blanca, y esta vez en natación, no parece existir relación entre los niveles de cortisol y el estado de los leucocitos durante la puesta a punto (Mujika et al., 1996a). En una puesta a punto de 4 semanas llevada a cabo con 8 nadadores, los autores vieron que la

concentración de cortisol en sangre no se modificó significativamente (de 0.40 ± 0.09 durante el entrenamiento, a $0.47 \pm 0.11 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$). Sin embargo, en una comparación entre el grupo de nadadores que mejoraron su rendimiento con la puesta a punto más del 2% (GE), y el grupo que mejoraron menos del 2% (GLE), vieron que los niveles de cortisol durante el entrenamiento y antes de la puesta a punto eran similares, pero tras la puesta a punto en GE fueron menores que en GLE (0.41 ± 0.08 frente a $0.52 \pm 0.11 \mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$). Además, encontraron una correlación negativa entre los cambios porcentuales de la concentración de cortisol y la variación porcentual de monocitos como resultado de la puesta a punto.

En otro estudio con 8 nadadores, Mujika et al. (1996b) analizaron los efectos de 12 semanas de entrenamiento y 4 semanas de puesta a punto en las concentraciones de hormonas en plasma y el rendimiento en competición, viendo que no había variaciones hormonales significativas en entrenamiento y puesta a punto. Sin embargo observaron correlaciones positivas significativas entre los cambios de la ratio testosterona total-cortisol (TT/C) y el rendimiento, y también entre la relación testosterona no unida a SHBG-cortisol (NSBT/C) y rendimiento, tanto durante la fase de entrenamiento intensivo como durante la fase de puesta a punto. Así, sugirieron que las hormonas e índices hormonales observados no se vieron afectados por 12 semanas de entrenamiento intenso y 4 semanas de entrenamiento reducido. Sin embargo, las ratios TT/C y NSBT/C parecen ser marcadores efectivos de la capacidad de rendimiento de los nadadores durante las distintas fases de la temporada de entrenamiento.

Tampoco encontraron cambios en la concentración pico de lactato tras una puesta a punto de 11 días en 14 nadadores Papoti et al. (2007), a pesar del aumento del rendimiento del 3.6%.

Bonifazi et al. (2000) analizaron dos grupos de 8 y 10 nadadores de elite durante dos temporadas de invierno. El primer año observaron un aumento de la concentración pico de lactato tras la competición ($12.00 \pm 1.81 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ durante el periodo de entrenamiento, y $17.90 \pm 1.84 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ después de la puesta a punto), y se observó un

aumento menor la segunda temporada ($10.67 \pm 2.06 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ durante el periodo de entrenamiento, y $12.99 \pm 1.47 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ tras la puesta a punto). En los dos años de estudio, el cortisol en reposo alcanzó sus valores máximos al final del periodo de entrenamiento intenso (de $101.9 \pm 15.0 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ al principio de entrenamiento a $140.4 \pm 13.9 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ el primer año, y de 77.3 ± 15.3 a $156.7 \pm 13.9 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ el segundo), para descender con la puesta a punto, pero permaneciendo a niveles mayores que al principio del entrenamiento ($113.0 \pm 19.9 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ primer año y $122.7 \pm 19.9 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$ el segundo año, tras la puesta a punto). Los resultados indicaron que un descenso en los niveles de cortisol precompetitivo pudiera ser un requisito para mejorar el rendimiento en natación.

En un estudio con un grupo de 9 sedentarios, Houmard et al. (1996) analizaron los efectos del entrenamiento reducido en frecuencia y el cese del entrenamiento sobre la acción de la insulina y el GLUT-4 (transportador de la glucosa a las células), observando que la concentración de GLUT-4 y la acción de la insulina aumentaban con el entrenamiento una media de 1.64 ± 0.1 y 1.86 ± 0.2 veces, respectivamente. Dichos aumentos se mantuvieron durante las dos semanas de descenso de la frecuencia de entrenamiento en un 50%, para retornar a los valores de un sedentario dos semanas después del cese de los entrenamientos, lo que indicaba que las adaptaciones hormonales descienden rápidamente con el cese total del entrenamiento.

Y en un estudio con ciclistas para analizar el efecto de dos semanas de entrenamiento muy intenso, Jeukendrup et al. (1992) observaron que los siete ciclistas mostraron síntomas de sobreentrenamiento, pero que tras dos semanas posteriores de recuperación, todos tuvieron una supercompensación. Todas las variables analizadas regresaron a los niveles iniciales o mostraron una mejora aunque los deportistas se sentían todavía cansados. Los autores concluyeron que unos bajos niveles de concentración máxima y submáxima de lactato, en combinación con un descenso en el rendimiento son indicadores de un estado de sobreentrenamiento.

Finalizamos con nuestro estudio con atletas (Mujika et al., 2002), donde tras la puesta a punto de 6 días se observaron aumentos significativos de haptoglobina, siendo

la única variable con significatividad en la interacción grupo-tiempo, aumentando en mayor medida en el grupo PFM ($37.0 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$) que en el grupo PAF (aumentó $4.6 \text{ mg}\cdot\text{dl}^{-1}$). También se encontraron aumentos significativos de la concentración de testosterona total (42%), y de la concentración pico de lactato (6%) tras la puesta a punto de alta frecuencia. Además, los cambios en la concentración pico de lactato asociados a la puesta a punto correlacionaron con los cambios en el estado hormonal de los deportistas, como indicaron sus relaciones con las variaciones de cortisol, y ratios testosterona total/cortisol y testosterona libre/cortisol. Tras estos hallazgos se sugirió que es necesario un entorno hormonal propicio a los procesos anabólicos para optimizar el funcionamiento del sistema de potencia glucolítico y, de este modo, optimizar el rendimiento de los atletas en una competición de 800 m.

Las principales variaciones en los parámetros bioquímicos y hormonales durante la puesta a punto descritas en el presente apartado se pueden observar en tabla de la siguiente página (Tabla 1.6).

Tabla 1.6. Efectos de la puesta a punto sobre las variables bioquímicas y hormonales.

DEPORTE	AUTOR (Año)	n	CAMBIOS
Atletismo	Houmard et al. (1990a)	10	↓CK
	Child et al. (2000)	14	↓CK
	Flynn et al. (1997)	11	no variaciones significativas tras 10 días de incremento de volumen
	Mujika et al. (2000c)	8	no variaciones significativas
	Mujika et al. (2002)	8	↑ haptoglobina ↑ TT ↑ [La] _{Peak}
Natación	Mujika et al. (1996a)	8	↓ cortisol en el grupo que más mejora
	Mujika et al. (1996b)	8	no variaciones significativas correlación positiva TT/C – rendimiento correlación positiva NSBT/C - rendimiento
	Papoti et al. (2007)	14	no variaciones significativas
	Bonifazi et al. (2000)	10	↑ [La] _{Peak} ↓ cortisol
Sedent	Houmard et al. (1996)	9	↑ GLUT-4

CK, creatina kinasa; **TT**, testosterona total; **TT/C**, ratio testosterona total/cortisol; **NSBT/C**, ratio testosterona no unida a SHBG/cortisol; **[La]_{Peak}**, concentración pico de lactato; **GLUT-4**, transportador de glucosa a las células; ↑, aumento; ↓, disminución.

1.2.2.3. VARIACIONES NEUROMUSCULARES DURANTE LA PUESTA A PUNTO

Diversos autores han realizado investigaciones para observar las variaciones en los niveles de fuerza durante la puesta a punto. Cavanaugh y Musch (1989) estudiaron los incrementos en la potencia muscular del miembro inferior y superior en 20 nadadores durante 4 semanas de puesta a punto. Las mediciones se realizaron con máquinas biocinéticas de resistencia variable (test de 90 s en banco de nado para los brazos, y 25 repeticiones en la plataforma de saltos para las piernas). En la potencia de brazos, tras la puesta a punto hubo un incremento durante los primeros 24 s del test, pero la potencia total descendió el 4,8% respecto a los valores de antes de la puesta a punto (de 229.3 ± 28 a 218 ± 30 W), mientras que la potencia total de piernas se incrementó un 4.5% tras la puesta a punto (538 ± 86 a 592 ± 97 W). Concluyeron que la potencia de brazos y piernas aumentaba en los primeros segundos en pruebas de velocidad durante la puesta a punto, pero que podrían influir otros mecanismos responsables de la mejora de rendimiento en pruebas de resistencia.

En otro estudio con 17 nadadores, Costill et al. (1985) observaron una mejora de potencia en banco de nado de 17.7%, y de 24.6% en la potencia de nado en el agua, tras una puesta a punto de 2 semanas, con lo que atribuyeron el aumento de rendimiento a las ganancias significativas de potencia muscular. Tras un periodo de 4 a 5 semanas de puesta a punto con 12 nadadoras, Raglin et al. (1996) encontraron mejoras del 16% en el pico de potencia muscular y un incremento del 20% en la potencia media, además de una ganancia del 23% en la función neuromuscular.

Johns et al. (1992), en un estudio con 12 nadadores, observaron tras la puesta a punto un aumento de la potencia del 5% en un test de velocidad de nado medido en un ergómetro de tirón alto modificado. Similares resultados fueron señalados por Hooper et al. (1998) en su estudio con 27 nadadores, quienes vieron un aumento del pico de la potencia de 167.2 ± 58.8 a 177.3 ± 49.0 W, sin que dicha mejora se reflejara en una mejora

del rendimiento.

Analizando las variaciones de las propiedades contráctiles de las fibras musculares, Trappe et al. (2000) en su estudio con 6 nadadores, observaron un aumento del 17% en la potencia en banco de nado y de un 13% en el test de potencia de nado en agua, además de un aumento del 11% del tamaño de las fibras tipo IIa. En pruebas de velocidad de acortamiento hubo una mejora del 32% en las fibras tipo I, y del 67% en las fibras tipo IIa. Los autores sugieren que una puesta a punto produce alteraciones en las propiedades contráctiles de las fibras, sobre todo de las fibras tipo IIa, las cuales podrían ser responsables de las mejoras integrales en potencia y fuerza tras la puesta a punto.

Papoti et al. (2007), en un estudio realizado con 14 nadadores, vieron un aumento significativo del 3.8% en la fuerza y del 1.6% en el rendimiento en la competición de 200 m, con una puesta a punto de 11 días en la que se redujo el volumen semanal de entrenamiento un 48% y se mantuvo la intensidad y la frecuencia. La fuerza correlacionó significativamente de forma positiva con el rendimiento tanto antes como después de la puesta a punto.

Frente a investigaciones que han visto un aumento de la potencia muscular durante la puesta a punto, Neuffer et al. (1987) observaron en un grupo de 24 nadadores tras 4 semanas de entrenamiento reducido, un descenso de la potencia de nado sujeto a un dinamómetro del 13.6%, mientras que la fuerza muscular en banco de nado biocinético no varió, concluyendo que aunque no hay un descenso de la fuerza muscular con la puesta a punto, la capacidad de generar potencia sí que se ve afectada negativamente si la carga de entrenamiento es insuficiente.

Tampoco encontraron cambios en la fuerza muscular como consecuencia de la puesta a punto Prins et al. (1991) en 9 nadadores tras 4 semanas de puesta a punto, concluyendo que los niveles de fuerza previos a la puesta a punto no se pusieron en riesgo por la carga de entrenamiento realizada durante ese periodo por los nadadores. Las diferencias con los estudios que hablan de mejoras en los niveles de fuerza tras la

puesta a punto pueden estar relacionadas con las variaciones en el nivel de los nadadores y de los programas de entrenamiento y puesta a punto realizados.

También se encuentran datos de mejora en los niveles de fuerza entre los estudios realizados en ciclismo. Berger et al. (1999), con un grupo de 8 ciclistas durante 4 semanas de puesta a punto, observaron un aumento de la potencia de 369.9 ± 35.9 a 403.4 ± 36.6 W tras la puesta a punto. Vieron un aumento medio de potencia de 6.7% durante las tres semanas de entrenamiento intenso, y un 2.3% adicional tras la puesta a punto de dos semanas de duración. En otro estudio con 11 ciclistas, Martin et al. (1994) vieron aumentos del 8-9% en la fuerza de piernas tras 2 semanas de puesta a punto. Y tras 7 días de puesta a punto en 22 ciclistas, Neary et al. (1992) encontraron que las propiedades metabólicas de las fibras tipo I y tipo II variaron, concluyendo que la mejora del rendimiento estaba relacionada con los cambios metabólicos de las fibras musculares. Un estudio posterior de los mismos autores, Neary et al. (2003), también con ciclistas, confirmó los resultados previos.

En los estudios realizados a sedentarios, Graves et al. (1988) estudiaron los efectos de 12 semanas de entrenamiento reducido en frecuencia, tras 10 y 18 semanas de entrenamiento de fuerza resistencia en un grupo de 50 sujetos. Tras el entrenamiento, el aumento del pico de fuerza isométrica fue del $21.4 \pm 17.5\%$, y hubo un incremento de la carga de entrenamiento dinámico del $49.5 \pm 14.7\%$, valores que se mantuvieron en todos los grupos durante las 12 semanas de entrenamiento reducido, excepto en el grupo que no entrenó, los cuales perdieron el 68% de la fuerza ganada con el entrenamiento. En otro estudio realizado con 46 sujetos sedentarios activos, Izquierdo et al. (2007) observaron que 4 semanas de puesta a punto tras 16 semanas de entrenamiento provocaron unos aumentos del 2% en la fuerza máxima de brazos y piernas, pero no en la potencia.

En la tabla 1.7 se exponen las principales variaciones observadas en los diferentes estudios analizados.

Tabla 1.7. Efectos de la puesta a punto sobre las variaciones neuromusculares.

DEPORTE	AUTOR (Año)	n	TEST
Natación	Cavanaugh y Musch (1989)	20	↓ 4.8% potencia brazos ↑ 4.5% potencia piernas
	Costill et al. (1985)	17	↑ 17.7% potencia en banco de nado ↑ 24.6% potencia de nado en agua
	Raglin et al. (1996)	12	↑ 16% pico de potencia ↑ 20% potencia media ↑ 23% fuerza neuromuscular
	Johns et al. (1992)	12	↑ 5% potencia en ergómetro
	Hooper et al. (1998)	27	↑ 6% pico de fuerza
	Trappe et al. (2000)	6	↑ 17% potencia en banco de nado ↑ 13% potencia de nado en agua ↑ 11% tamaño de las fibras IIa
	Papoti et al. (2007)	14	↑ 3.8% fuerza
	Neufer et al. (1987)	24	↓ 13.6% potencia de nado
	Prins et al. (1991)	9	no variaciones significativas
	Ciclismo	Berger et al. (1999)	8
Martin et al. (1994)		11	↑ 8-9% fuerza de piernas
Neary et al. (1992)		25	cambios propiedades metabólicos en las fibras I y II
Neary et al. (2003)		22	Cambios propiedades metabólicos en las fibras I y II
Sedent	Graves et al. (1988)	50	↑ pico de fuerza isométrica
	Izquierdo et al. (2007)	4 6	↑ 2% fuerza máxima de brazos y piernas

↑, mejora; ↓, disminución; ↔ sin cambios.

1.2.3. VARIACIONES PSICOLÓGICAS DURANTE LA PUESTA A PUNTO

En un estudio con 10 fondistas, Witting et al. (1989) estudiaron los efectos psicológicos durante la puesta a punto, mediante el análisis de los perfiles de estados de ánimo (POMS), un test de autoeficacia y el test de ansiedad competitiva. La autoeficacia y la ansiedad competitiva no variaron, mientras que los valores de los estados de ánimo descendieron significativamente (menor estado de ánimo negativo) cada semana de la puesta a punto. Hubo descensos significativos en la percepción del estado de fatiga (de 48.3 ± 2.0 a 37.1 ± 4.2).

Por su parte, Taylor et al. (1997) estudiaron los efectos del volumen de entrenamiento sobre el sueño y los estados de ánimo de 7 nadadoras de elite con mediciones al principio de la temporada, en el periodo de entrenamiento de alto volumen, y en la puesta a punto. Los resultados sobre las variaciones del sueño no indicaron diferencias en ninguno de los periodos de la temporada. Sin embargo, el sueño de onda corta (sueño restaurativo) formó un alto porcentaje del sueño total al principio (26%) y en el periodo de sobrecarga (31%), y descendió significativamente durante la puesta a punto (16%), lo que llevó a los autores a confirmar la teoría de que existe una menor necesidad de sueño de onda corta regenerador cuando las demandas físicas se reducen. Los movimientos realizados durante el sueño fueron significativamente superiores al principio (10.3%) y durante el periodo de sobrecarga (11%) que durante la puesta a punto. En contraste a otras investigaciones, los autores vieron que el estado de ánimo empeoró en una comparación entre el periodo de entrenamiento máximo y el de puesta a punto: los valores de vigor descendieron significativamente del periodo de sobrecarga al de puesta a punto (17.0 ± 2.6 a 13.6 ± 5.4), mientras que hubo aumentos de ansiedad (8.7 ± 3.6 a 13.6 ± 4.0), depresión (4.4 ± 3.2 a 14.0 ± 6.9) y confusión (6.3 ± 2.0 a 11.7 ± 2.5). Los autores sugirieron que la explicación a esto pudiera ser una “adicción al ejercicio”, pero que una puesta a punto es necesaria fisiológicamente, por lo que el empeoramiento del estado de ánimo durante dicho periodo debería ser contrarrestado con una buena preparación mental de los deportistas.

Por el contrario, en otro estudio realizado con 12 nadadoras de elite, Raglin et al. (1996) encontraron variaciones significativas en el estado de ánimo durante el periodo de entrenamiento máximo (164.8 ± 28.4) respecto a los valores al principio de la temporada (129.6 ± 18.6) y a la puesta a punto (138.2 ± 27.9), comprobando que el periodo de entrenamiento máximo era en el que se daban mayores valores de estado de ánimo por parte de las nadadoras. Resultados similares habían sido obtenidos anteriormente por Morgan et al. (1987) en un estudio longitudinal de 10 años realizado a 400 nadadores de competición, quienes vieron que los valores de los trastornos en el estado de ánimo se incrementaban en períodos de aumento de los estímulos de entrenamiento, y que dichos valores disminuían con la reducción de la carga.

También Raglin et al. (1991) analizaron los cambios de estado de ánimo en 186 nadadores y nadadoras durante una temporada, no encontrando diferencias significativas en las variaciones del humor en función del sexo, excepto en el estado de tensión, que dio valores significativamente mayores en las mujeres, y que además fue, en ambos sexos, el único factor que no disminuyó con el descenso del entrenamiento. Los restantes índices del estado de ánimo (depresión, agresividad, vigor, fatiga y confusión), variaron en función de los cambios de la carga de entrenamiento, aumentando con el incremento de la carga, y disminuyendo con la puesta a punto.

Uno de los más recientes estudios realizado por Coutts et al. (2007b) señalaban que una mejora del estado psicológico es importante de cara a las mejoras del rendimiento tras la puesta a punto, y que una puesta a punto de 2 semanas es suficiente para restablecer los valores psicológicos a los niveles normales.

Por último, Berger et al. (1999) también encontraron los mayores valores de estado de ánimo durante el periodo de entrenamiento de alta intensidad en 8 ciclistas de persecución, siendo los valores de ánimo durante la puesta a punto los más bajos de la temporada (principio de temporada 159.52 ± 34.27 , entrenamiento de alta intensidad 172.83 ± 49.63 , y puesta a punto 136.76 ± 17.11). Los autores concluyeron que, dado que los ciclistas mejoraron el rendimiento con el protocolo, el entrenamiento de alta

intensidad podría ser asociado con adaptaciones tanto fisiológicas como psicológicas.

A continuación se presenta la tabla (Tabla 1.8) con los principales hallazgos de los estudios analizados.

Tabla 1.8. Variaciones psicológicas con la puesta a punto.

DEPORTE	AUTOR (Año)	n	CAMBIOS
Atletismo	Witting et al. (1989)	10	↓ estado ánimo negativo ↓ sensación de fatiga
Natación	Taylor et al. (1997)	7	↓ 16% sueño de onda corta ↓ estado de ánimo
	Raglin et al. (1996)	12	↑ estado de ánimo
	Morgan et al. (1987)	400	↓ trastornos en el estado de ánimo
	Raglin et al. (1991)	186	↓ variaciones de humor ↓ depresión, agresividad, vigor, fatiga, confusión
Triatlón	Coutts et al. (2007b)	16	mejora del estado psicológico
Ciclismo	Berger et al. (1999)	8	↓ estado de ánimo

↑, mejora; ↓, descenso; ↔ sin cambios.

1.3. EL EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE

Aunque el estudio del equilibrio ácido-base se remonta a los trabajos de Henderson, Hasselbalch y Sorensen a principios de 1900, quienes sentaron las bases de la gasometría actual, no existen demasiados estudios centrados en la relación entre el equilibrio ácido-base y el rendimiento en deportes de resistencia, y casi ninguno respecto a la puesta a punto. Nos encontramos, por tanto, ante unos parámetros desconocidos por muchos entrenadores y deportistas. A continuación vamos a tratar de explicar el funcionamiento del equilibrio ácido-base comenzando por una definición terminológica para, posteriormente, presentar los principales estudios de la literatura que analizan las variables relativas al equilibrio ácido-base y al análisis gasométrico en el entrenamiento.

El ión hidrógeno (H^+) desempeña un papel particularmente importante en el equilibrio ácido-base, pues la mayoría de las reacciones del organismo conllevan el intercambio de protones (iones hidrógeno).

Se puede definir como ácido a toda sustancia capaz de transferir iones H^+ a una base, mientras que una base será aquella sustancia capaz de transferir iones OH^- (iones hidróxido). Cuando la producción de iones hidrógeno aumenta, éstos son neutralizados por sistemas de tampón circulantes.

La acidez de una solución depende de la concentración de H^+ y se caracteriza por el valor del pH, que se define como el logaritmo negativo de base 10 de la concentración de H^+ : $pH = -\log_{10} [H^+]$. De esta expresión puede deducirse que cuanto más alta es la concentración de H^+ , más bajo es el pH.

Por tanto, que una solución sea ácida o alcalina depende de la concentración de H^+ , si la concentración de iones hidrógeno está aumentada, la solución se vuelve más ácida; si la concentración está disminuida, se vuelve más alcalina. La escala del pH puede oscilar entre 0 y 14. Una solución con un pH de 7 es neutra, por lo que una solución ácida tendrá un pH inferior a 7 y una solución alcalina va a tener un pH mayor que 7.

En el ser humano el líquido extracelular es levemente alcalino, con un pH entre 7.35 - 7.45. Si el pH del líquido corporal se eleva por encima de 7.7 o cae por debajo de 7.0, la vida está en peligro. Algunos de los líquidos corporales son más ácidos que otros por ejemplo los líquidos gástricos tienen un pH aproximado de 2; el intestino delgado tiene un pH de 5 a 7, mientras que en el intestino grueso el pH es 8.

Los sistemas tampón (también llamados sistemas amortiguadores o sistema buffer) evitan la producción de cambios intensos en la concentración de H^+ , absorbiendo el exceso iones hidrógeno o liberándolos según la necesidad. El sistema buffer del bicarbonato es el más importante.

El exceso de base (BE) es una medida del nivel de ácido y normalmente es 0. Cuando se habla de un exceso de base de, por ejemplo, -3, significa que hay una acidosis de $3 \text{ mEq}\cdot\text{l}^{-1}$.

El equilibrio o desequilibrio ácido-base puede determinarse a partir del pH sérico, de la presión parcial de CO_2 (PCO_2) y de los niveles de bicarbonato.

El ejercicio de alta intensidad se puede mantener poco tiempo, debido a la aparición de la fatiga, que ha sido definida como la incapacidad para mantener los requerimientos o la fuerza generada (Edwards, 1981). El descenso del pH intramuscular (acidosis) va a ser uno de los causantes de dicha fatiga (Costill et al., 1984).

Cuando se realiza una contracción muscular intensa, aumenta el contenido de H^+ intracelular, dando lugar a una situación de acidosis. Uno de los índices indirectos más utilizados para observar esta acumulación de H^+ en el músculo durante el ejercicio es el umbral de lactato. Además, las demandas metabólicas del ejercicio de alta intensidad son cubiertas en primer lugar mediante la degradación de la glucosa, y en dicho proceso hay una producción de ácido láctico, que va a provocar el consecuente descenso del pH muscular (Edington y Edgerton, 1976). Por tanto, la capacidad del organismo para amortiguar el descenso del pH va a ser clave en la tolerancia al ejercicio de alta intensidad. El organismo tiene un sistema de amortiguadores químicos y fisiológicos para evitar

estados de alcalosis o acidosis.

Los amortiguadores químicos son los primeros en actuar, y basan su acción en combinar uno de sus componentes con los H^+ reduciendo los ácidos fuertes en débiles (para que descienda menos el pH) en el caso de una situación de acidosis, o bases fuertes en bases débiles en caso de alcalosis. Existen tres sistemas amortiguadores químicos: bicarbonato, fosfato y proteínas.

En los amortiguadores fisiológicos nos encontramos con la ventilación, donde el incremento de H^+ estimula el centro respiratorio y va a aumentar la ventilación, y la amortiguación del riñón, con acción mucho más tardía pero resultados mucho más potentes, controlando la acidez mediante la eliminación de H^+ hacia los túbulos renales.

La mayoría de investigaciones sobre equilibrio ácido-base y entrenamiento se han centrado en la forma de mejorar los sistemas de amortiguamiento a través de sustancias que producen alcalosis. La ingesta de dichas sustancias minutos antes de la actividad física producirían un incremento del pH y un aumento de los iones de bicarbonato que, supuestamente, situaría al deportista en mejores condiciones para compensar la acidosis que provoca el ejercicio. El bicarbonato sódico ha sido la sustancia más utilizada, si bien hay una gran variabilidad en los resultados obtenidos en las investigaciones.

Entre los estudios que encontraron una mejora del rendimiento tras la ingesta de bicarbonato sódico encontramos a Douroudos et al. (2006), quienes analizaron si la ingesta de esta sustancia previa al ejercicio podía prevenir los cambios en el equilibrio ácido-base y mejorar el rendimiento durante el ejercicio de alta intensidad tras 5 días de suplementación. Con una muestra de 24 sujetos activos, hicieron tres grupos, un primer grupo que hizo una ingesta moderada de bicarbonato sódico ($0.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), otro que hizo una alta ingesta ($0.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$), y un tercer grupo control que tomó un placebo. Se realizaron mediciones del estado ácido-base y potencia en condiciones basales y tras el test de Wingate en dos ocasiones, antes de la ingesta y tras los 5 días de suplementación. Los resultados señalaron un aumento del ión bicarbonato proporcional a las dosis

ingeridas por los grupos, mientras que el grupo placebo no mostró cambios significativos. Los dos grupos que tomaron bicarbonato tuvieron un aumento significativo en los valores de potencia, siendo mayor el del grupo que ingirió una mayor dosis. Y también se observó un aumento significativo en la concentración de lactato post ejercicio en ambos grupos y una reducción en la caída del pH inducida por el ejercicio y del bicarbonato. Tras los resultados analizados, los autores concluyeron que una ingesta de bicarbonato sódico de 5 días podía prevenir los cambios del equilibrio ácido-base y, por tanto, mejorar el rendimiento en el ejercicio de alta intensidad.

Siegler et al. (2008) analizaron la influencia de la ingesta de bicarbonato sódico y su relación con la recuperación del equilibrio ácido-base en el ejercicio supramáximo. Un grupo de 7 sujetos realizaron un test en cicloergómetro al 120% del VO_2 max en cuatro ocasiones, con ingesta de bicarbonato y recuperación activa, con ingesta de bicarbonato y recuperación pasiva, con un placebo y recuperación activa, y con placebo y recuperación pasiva. Se les extrajo sangre cada minuto de los 15 que duraba la recuperación. Encontraron cambios significativos en los valores de pH, bicarbonato, exceso de base y presión parcial de CO_2 con la ingesta de bicarbonato, concluyendo que con una alcalosis inducida facilita la recuperación del ejercicio supramáximo. Encontramos otro estudio del mismo autor pendiente de publicación, Siegler et al. (2010), analizando la relación entre alcalosis metabólica, recuperación y rendimiento en velocidad. El protocolo utilizado fue el mismo que en el estudio anterior, pero en éste las mediciones de rendimiento fueron a través de 3 series de 30 s al máximo en cicloergómetro con una recuperación entre series de 3 min. La recuperación activa con ingesta de bicarbonato sódico fue la más efectiva y provocó un aumento del rendimiento.

Con relación a deportistas de alto nivel, Lindh et al. (2008) estudiaron si una ingesta de bicarbonato mejoraba el rendimiento en 9 nadadores de élite. El rendimiento fue medido con un test de 200 m estilo libre en tres situaciones: sin ingerir ninguna sustancia, tras la ingesta de bicarbonato y tras la ingesta de un placebo. La ingesta de bicarbonato mejoró el rendimiento en la prueba de 200 m de forma significativa. Los

valores de pH, exceso de base y bicarbonato en sangre eran elevados en sangre antes de realizar el test cuando hubo ingesta de bicarbonato, comparando con las otras situaciones. Los autores sugieren que la suplementación de bicarbonato puede mejorar el rendimiento en 200 m probablemente debido al incremento de la capacidad de amortiguamiento.

Por el contrario, no encontraron mejoras en el rendimiento Stephens et al. (2002), quienes analizaron los efectos de la ingesta de bicarbonato sódico en el metabolismo muscular durante el ejercicio de resistencia de alta intensidad en 7 ciclistas y triatletas. Los sujetos ingirieron $0.3 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ o un placebo antes de realizar un test de 30 min en cicloergómetro al 77% del VO_2max seguido de 30 min al 80% del VO_2max . Antes y durante el test, el grupo que tomó bicarbonato mostró una mayor concentración de iones hidrogenocarbonato que el grupo que ingirió el placebo. La concentración de lactato durante el ejercicio también fue mayor en ese grupo, pero no hubo una mejora del rendimiento en ninguno de los grupos por lo que los autores concluyeron que la ingesta de bicarbonato sódico pre-ejercicio producía una pequeña alcalosis muscular pero que dichos cambios no tenían efecto sobre el rendimiento.

Encontramos pocos estudios que analicen el equilibrio ácido-base en el deporte y en los que no haya ingesta de sustancias alcaloides. Así Sharp et al. (1986) trataron de determinar si la capacidad de tamponamiento estaba afectada por el entrenamiento. Compararon un grupo de sujetos desentrenados y un grupo de ciclistas tras 8 semanas de entrenamiento, observando que no existían diferencias significativas en los valores de pH en reposo entre los grupos, pero sí existió diferencia significativa entre la capacidad de tamponamiento pre- y post-entrenamiento en el grupo que no entrenaba, mientras que en el grupo de ciclistas dicha capacidad no varió mucho en pre- y post-. Ante los resultados obtenidos los autores indicaron que el entrenamiento de velocidad a alta intensidad incrementa la capacidad de amortiguación, aunque no está claro que el entrenamiento de resistencia afecte a dicha capacidad.

Robergs et al. (1990) estudiaron los efectos del calentamiento en los valores de

gases en sangre, la concentración de lactato y el equilibrio ácido-base en natación. La medición se realizó mediante la ejecución de 200 m en estilo crawl en dos ocasiones, una precedida con un calentamiento y otra sin realizar un calentamiento previo. Tomaron muestras de sangre antes del calentamiento, 1 min antes de comenzar la prueba de 200 m, y a los 2, 5, 10 y 20 min tras la prueba. El test realizado con calentamiento previo mostró unos niveles más altos de la concentración de lactato en sangre arterial, una mayor concentración de H^+ en sangre venosa y un descenso del bicarbonato arterial. La presión parcial de CO_2 en sangre venosa también fue menor tras el calentamiento. Los autores sugieren que un calentamiento bien realizado puede reducir los cambios en el equilibrio ácido-base en ejercicios de alta intensidad y corta duración.

Medbo y Sejersted (1985) compararon las variaciones del equilibrio ácido base tras ejercicio hasta el agotamiento en fondistas y velocistas, observando que los velocistas eran capaces de acumular más lactato en sangre que los fondistas, pero a expensas de un menor pH, dado que la capacidad de tamponamiento fue similar en ambos grupos.

Como hemos visto, apenas encontramos estudios sobre las variaciones del equilibrio ácido-base durante la puesta a punto en deportistas bien entrenados, no existiendo hasta la fecha ningún estudio sobre esos parámetros en biathlon, ni durante la fase de entrenamiento, ni durante la puesta a punto.

1.4. CONCLUSIONES DEL MARCO TEÓRICO

Una vez finalizada la introducción, y tras la revisión de los principales trabajos de la literatura sobre biathlon, puesta a punto y equilibrio ácido-base, se puede concluir que:

Apenas se encuentra información relativa a la planificación del entrenamiento en biathlon, no existiendo demasiada información sobre las variaciones hematológicas, hormonales, de equilibrio ácido-base, de potencia muscular y de rendimiento durante esta fase. Además, hasta la fecha no se ha encontrado ningún estudio sobre la puesta a punto en biathlon.

Respecto a la puesta a punto, si bien la influencia del volumen y la intensidad del entrenamiento sobre el rendimiento deportivo y sobre índices de tipo biológico ha sido relativamente bien estudiada, tan sólo existe un estudio experimental que haya manipulado de manera sistemática la frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto.

En general, la mayoría de los autores coinciden en que durante dicho periodo se debe realizar un marcado descenso del volumen de entrenamiento, del 40 al 60% respecto a los volúmenes previos al taper y un mantenimiento de la intensidad, siendo este componente de la carga la clave para la mejora del rendimiento. En cuanto a la forma de reducción del volumen, parece que la reducción progresiva no lineal (taper) va a ser más eficaz que la reducción por ruptura (entrenamiento reducido). La duración adecuada de la puesta a punto va a depender mucho de la disciplina deportiva realizada, variando de 1 semana en ciclismo, triatlón y atletismo, hasta 4 o 5 en natación.

A nivel fisiológico se han observado incrementos en los valores de glóbulos rojos, de hematocrito, de hemoglobina, de haptoglobina, de reticulocitos, de testosterona y de la ratio testosterona/cortisol durante la puesta a punto, mientras que los valores de creatina kinasa y cortisol tienden a descender. Además, se ha observado un descenso en los parámetros psicológicos que indican fatiga, y una mejora en la calidad del sueño.

Existen muy pocos trabajos que estudien la gasometría y el equilibrio ácido-base en deportistas bien entrenados, centrados su mayoría en el estudio de la ingesta previa al entrenamiento de sustancias que puedan reducir la acidez metabólica, pero no en los efectos del entrenamiento y la puesta a punto sobre dichas variables. No se ha encontrado ningún estudio que analice dichos parámetros durante la puesta a punto.

Por tanto, y teniendo en cuenta las consideraciones precedentes, las hipótesis del presente trabajo, fueron las siguientes:

1.5. HIPÓTESIS

- Seis semanas de entrenamiento en biathlon, consistente en entrenamiento continuo de baja intensidad, entrenamiento interválico de alta intensidad, trabajo de la fuerza, la flexibilidad y la práctica de tiro, van a provocar cambios en las variables hormonales, hematológicas, y fisiológicas, y como consecuencia se van a producir variaciones de rendimiento de los biathletas.
- Una puesta a punto de alta frecuencia en biathlon, consistente en una reducción progresiva no lineal del volumen de entrenamiento del 55%, 40%, 30%, 25%, 20% y 20% del día uno al día seis, va a producir cambios en las variables hormonales, hematológicas y fisiológicas, y como consecuencia se van a producir variaciones de rendimiento de los biathletas.

1.6. OBJETIVOS

- Analizar el efecto de seis semanas de entrenamiento en las variables hematológicas, hormonales, fisiológicas y de rendimiento en biathlon.
- Analizar el efecto de una puesta a punto de seis días de alta frecuencia en las variables hematológicas, hormonales, fisiológicas y de rendimiento en biathlon.
- Analizar si la puesta a punto de alta frecuencia puede optimizar el rendimiento en un deporte que no sólo depende de parámetros de rendimiento físico, sino también de la capacidad de lograr el máximo número de aciertos en el tiro.
- Analizar si, tanto un entrenamiento de 6 semanas como una puesta a punto de alta frecuencia de 6 días produce cambios en el equilibrio ácido-base, antes y después de una prueba de rendimiento basada en una competición simulada de biathlon.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente estudio se realizó en las instalaciones militares del ejército chileno en Río Blanco (2026 m) con el apoyo del Departamento de Fisiología y Biofísica de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile.

El estudio continúa la línea de investigación sobre variaciones en la frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto de cara a optimizar el rendimiento deportivo realizado por la misma autora con atletas españoles, donde se observó que una puesta a punto de alta frecuencia de seis días, con disminución del volumen pero manteniendo el entrenamiento interválico de alta intensidad (PAF), produjo una mejora del rendimiento en los atletas (Mujika y col., 2002). Dados los resultados obtenidos en el estudio anterior con corredores, todos los biathletas del presente estudio realizaron una puesta a punto de alta frecuencia (PAF).

En la figura 2.1 se muestra el esquema del diseño experimental llevado a cabo.

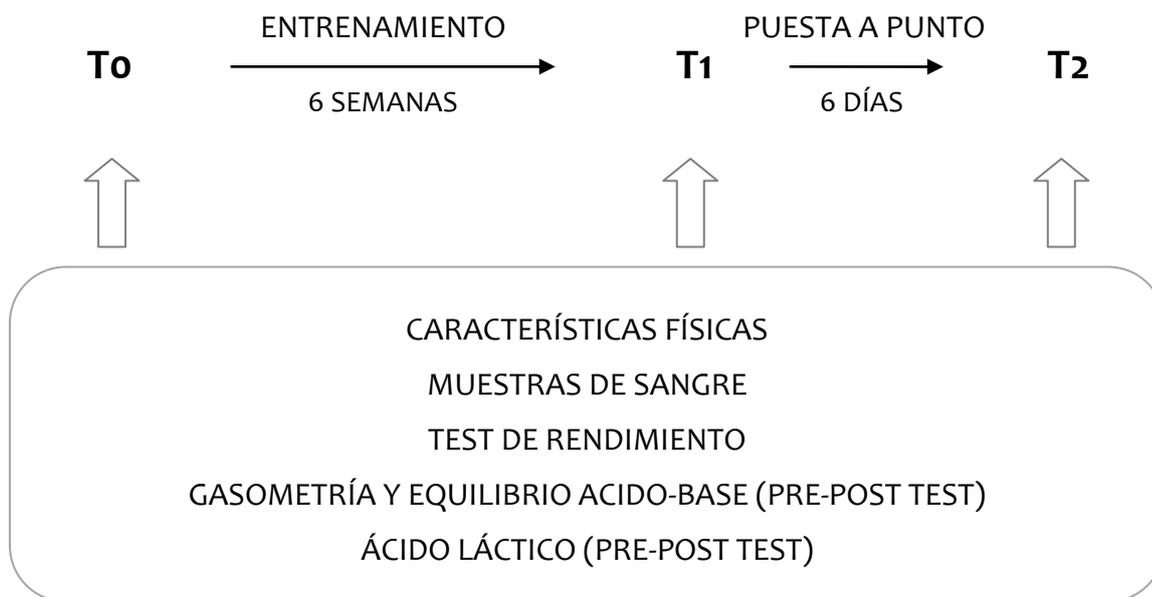


Figura 2.1. Esquema del diseño experimental. **T₀**, test al comienzo del estudio o test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento y pre-puesta a punto; **T₂**, test post-puesta a punto.

La investigación se realizó entre los meses de septiembre y noviembre del 2002 con una duración de 7 semanas, 6 semanas de entrenamiento y la séptima de aplicación del modelo de puesta a punto sugerido: la puesta a punto de alta frecuencia (PAF).

El estudio se desarrolló durante 7 semanas de entrenamiento previas a las competiciones de la temporada de invierno europea, dado que los deportistas habitualmente compiten en la temporada invernal europea y al finalizar ésta, regresan a Chile para las competiciones sudamericanas. La planificación del entrenamiento para ellos es por tanto, compleja, dado que compiten prácticamente durante todo el año, por lo que les resulta difícil entrenar ciclos de más de 4-6 semanas.

Durante las primeras 6 semanas, los sujetos entrenaron bajo la supervisión de su entrenadora, la cual estableció un programa de entrenamiento individual para cada uno

de ellos, en función de los resultados de un test de VO_2 máx realizado al inicio de la temporada. A la finalización de éste periodo se realizó la puesta a punto de alta frecuencia.

Los deportistas tuvieron un descanso activo de dos semanas previo al test inicial (T_0), comenzando con el presente estudio a preparar la temporada de invierno europea, que comenzaba en diciembre.

Los momentos en los que se llevaron a cabo las mediciones fueron los siguientes:

- test inicial (T_0): cuatro días después de comenzar la temporada.
- segundo test (T_1): tras seis semanas de entrenamiento.
- tercer test (T_2): a la semana de realizar el T_1 , tras poner en práctica el modelo de puesta a punto propuesto.

Por tanto, el estudio consistió en 2 periodos:

- un primer periodo de entrenamiento (T_0 - T_1) de una duración de 6 semanas, al que siguió
- un segundo periodo de puesta a punto (T_1 - T_2)

El entrenamiento continuo a intensidades constantes o variables, a una frecuencia cardíaca menor o igual al 100% de la frecuencia cardíaca individual final registrada en el test, ha sido denominado entrenamiento continuo de baja intensidad (ECBI). Las series interválicas realizadas a velocidades por encima del 100% de la frecuencia cardíaca final alcanzada durante el test, han sido consideradas como entrenamiento interválico de alta intensidad (EIAI).

Los atletas realizaron entrenamientos de dos tipos: entrenamiento continuo de

baja intensidad (ECBI) y entrenamiento interválico de alta intensidad (EIAI). Durante la puesta a punto, solamente realizaron EIAI, eliminando todo el trabajo de ECBI excepto en los calentamientos y la vuelta a la calma, ya que estudios previos han mostrado su poca influencia, que incluso puede ser negativa, durante la puesta a punto (Mujika et al., 2000c; Shepley et al., 1992). En los biathletas, la distancia media de entrenamiento (\pm DE) fue de 187.12 ± 4.31 km semanales durante las seis semanas de entrenamiento, de los cuales 162.19 ± 2.29 % fueron de ECBI, y 24.93 ± 4.91 % fueron de EIAI.

Además del entrenamiento aeróbico y anaeróbico, los biathletas tenían sesiones de trabajo de fuerza en la sala de musculación y de práctica de tiro.

Tras To cada uno de los sujetos realizó un entrenamiento individualizado de 6 semanas de carrera, fuerza y tiro. El entrenamiento para la semana de puesta a punto de alta frecuencia (PAF) fue diseñado de forma individualizada para cada sujeto en función de las distancias de EIAI realizadas durante las seis semanas de entrenamiento.

La **puesta a punto de alta frecuencia (PAF)** consistió en una reducción progresiva no lineal del volumen de entrenamiento, pero sin reducción de la frecuencia, pues los sujetos entrenaron todos los días de la investigación. El diseño del modelo de puesta a punto se basó en los resultados obtenidos en el estudio previo realizado por la autora con atletas (Mujika et al., 2002), así como en otros estudios que analizaron las estrategias de puesta a punto óptimas (Mujika et al., 2000c; Shepley et al., 1992; Zarkadas et al., 1995). La reducción del volumen de entrenamiento durante la semana fue del 55%, 40%, 30%, 25%, 20% y 20% del día uno de la investigación al día 6, respectivamente (Figura 2.2).

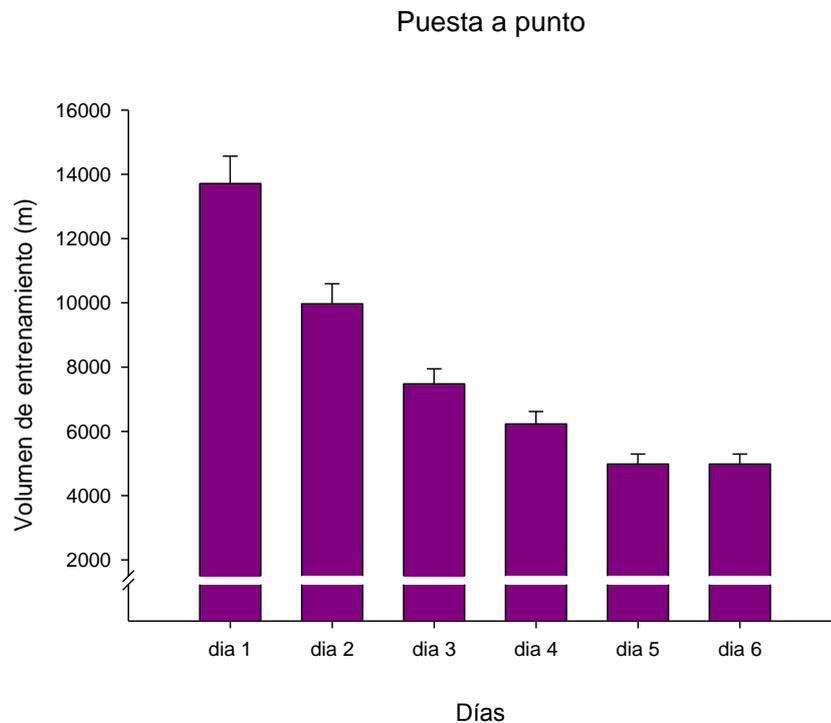


Figura 2.2. Distribución del volumen de entrenamiento en metros durante la puesta a punto.

Durante los 3 días antes de T1, los atletas anotaron su ingesta alimenticia y de líquidos, y se les requirió repetir dicha ingesta durante los tres días precedentes a T2.

El control del volumen de entrenamiento fue posible dado que los deportistas entrenaron en el circuito de Rio Blanco (Los Andes, Chile), donde las distancias estaban marcadas.

A la batería de test realizada en el estudio previo con atletas (Mujika et al., 2002), donde se midieron las características antropométricas, hematología, bioquímica y rendimiento en la prueba de 800 m, medidos pre-puesta a punto y post-puesta a punto, se añadieron en este estudio otras mediciones, con el objetivo de tratar de obtener más información sobre entrenamiento y puesta a punto en biathletas.

Se realizaron mediciones en tres ocasiones, T0, T1 y T2 para obtener datos tanto de los efectos del entrenamiento (T0-T1), como de los efectos de la puesta a punto de alta

frecuencia (T1-T2). Además, se realizaron mediciones de gases y ácido láctico en sangre capilar pre-test y post-test en los tres momentos de medición para ver el estado del equilibrio ácido-base. El rendimiento se valoró mediante un test de potencia de salto (test de salto en contramovimiento y Abalakov) en una búsqueda de datos sobre fuerza explosiva del miembro inferior en biathletas, y mediante la realización de una competición simulada de biathlon donde se registraron los siguientes parámetros: el tiempo de carrera, el tiempo empleado en el tiro y el número de aciertos y errores, el tiempo total de la prueba y el score.

Se siguió el mismo protocolo en T₀, T₁ y T₂: toma de sangre a la mañana en ayunas, medición de talla y peso, y medición del salto vertical. Tras la digestión de la comida, a las 14.00 h. comenzaban la competición simulada de biathlon en el circuito (Figura 2.3): una primera vuelta corriendo (3000 m), tiro tumbado (5 disparos), segunda vuelta corriendo (3000 m) y tiro de pie (5 disparos). Antes (pre-test) y después (post-test) de cada test, se tomaron muestras de sangre capilar para determinar el equilibrio ácido-base. Además, se tomaron muestras de lactato, tanto antes de los test (pre-test), como a los 2, 4, 8 y 12 minutos tras cada test.

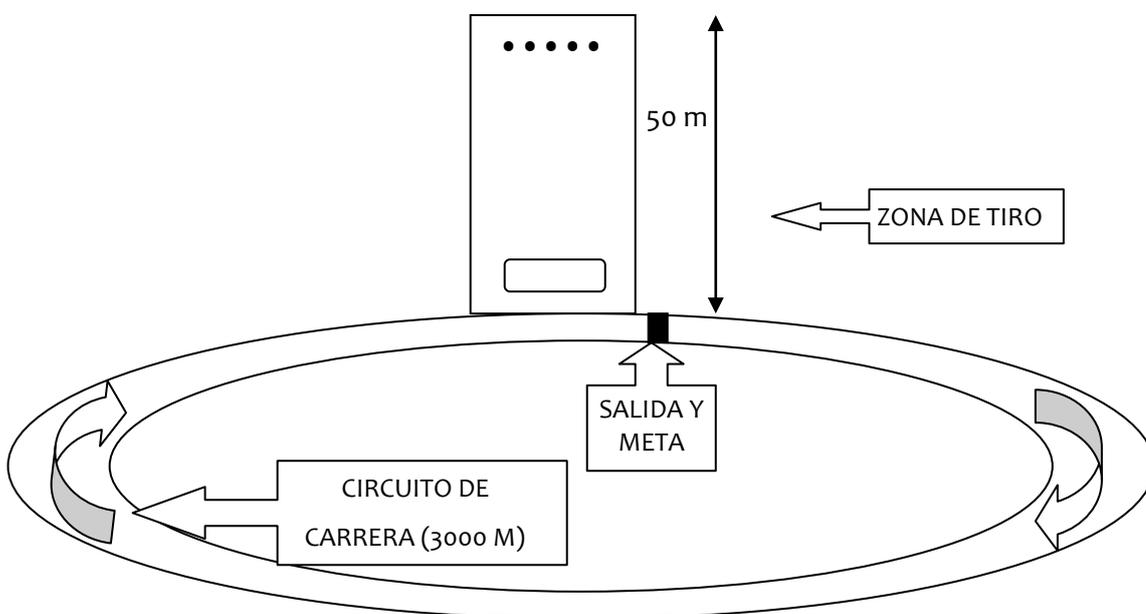


Figura 2.3. Esquema del circuito utilizado para la realización de los test.

En la literatura existen pocos estudios sobre el entrenamiento en biathlon, y ningún trabajo que haya estudiado en biathletas de elite la relación existente entre la frecuencia de entrenamiento durante la puesta a punto y los posibles cambios en el rendimiento en competición.

El conocimiento de dichas relaciones resulta interesante para intentar mejorar el rendimiento y para ayudar a afinar las planificaciones del entrenamiento de cara al rendimiento óptimo de los deportistas.

2.2. SUJETOS

Ocho biathletas de la Selección Chilena de Biathlon, seis hombres (23.3 ± 1.0 años) y dos mujeres (23.5 ± 2.1 años), con una experiencia en el entrenamiento y la alta competición en biathlon de entre 5 y 7 años, participaron voluntariamente en esta investigación. Los valores medios de estatura y peso corporal, con sus desviaciones estándar fueron 172.4 ± 8.9 cm y 67.5 ± 10.0 kg, respectivamente.

Los ocho deportistas del estudio fueron considerados de alto nivel porque estaban en el ejército chileno con dedicación exclusiva para representar a su país en las diferentes competiciones internacionales y, además, cuatro de ellos llevaban varios años compitiendo en distintas pruebas a nivel mundial con la selección chilena de biathlon.

Antes de comenzar el estudio, se realizó un examen médico de los deportistas, incluyendo una prueba de esfuerzo con electrocardiograma, para detectar cualquier problema médico que les impidiese llevar a cabo la investigación.

Tanto los deportistas como la entrenadora y los mandos del ejército a cargo de la selección de biathlon, fueron informados de modo verbal y escrito del propósito de la investigación y de los posibles riesgos asociados al estudio. Todos los procedimientos experimentales recibieron la aprobación del Comité de Ética de la Universidad de Chile, de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Los deportistas no ingirieron ningún tipo de sustancia prohibida que pudiera alterar el rendimiento o el balance hormonal durante la investigación. En el momento de realizar el estudio, ninguno de los deportistas estaba tomando ningún tipo de medicamento.

2.3. MEDICIONES

2.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las variables antropométricas que se midieron a cada sujeto fueron la altura (cm) y el peso corporal (kg), que fueron medidas con una balanza-tallímetro (Año Sayol, Barcelona, España).

2.3.2. MEDICIÓN DE LOS VALORES EN SANGRE

Se recogieron muestras de sangre por punción venosa de la vena antecubital en la mañana de cada uno de los tres test. Los sujetos acudieron al laboratorio entre las 7.00 y las 8.00 a.m., tras una noche de ayuno, y antes de cualquier tipo de ejercicio vigoroso. En ambas ocasiones la extracción de sangre se llevó a cabo tras 20 minutos de descanso en posición sentada, en el mismo momento y a la misma temperatura ambiental. Inmediatamente tras la obtención de las muestras, los tubos fueron llevados al laboratorio de la Clínica Río Blanco para su análisis.

Las determinaciones sanguíneas realizadas fueron las siguientes:

- Serie roja: número de glóbulos rojos o hematíes, hemoglobina (Hb), hematocrito (Ht), volumen corpuscular medio (MCV), hemoglobina corpuscular media (MCH), concentración en hemoglobina corpuscular media (MCHC), y ancho de distribución eritrocitario (RDW).
- Serie blanca: leucocitos, linfocitos, monocitos y eosinófilos (PME).
- Serie plaquetar: plaquetas

Para las determinaciones de urea, ácido úrico y creatinina en plasma se utilizaron métodos enzimáticos y colorimétricos (Hitachi 747, Tokyo, Japan; Boehringer Mannheim, Mannheim, Germany), y para la creatina kinasa (Synchron CX7, Beckman, La Brea, CA).

El hierro sérico (SI) fue medido mediante el método de colorimetría (Hitachi 912, Tokyo, Japan; Boehringer Mannheim, Mannheim, Germany). La transferrina se determinó por inmunturbidimetría con el mismo instrumento, y la saturación de la transferrina fue hallada matemáticamente a partir de los valores de SI y transferrina. La concentración de ferritina sérica se midió con el método MEIA (AxSYM, Abbott, Irving, TX).

La testosterona sérica total y libre (TT y FT respectivamente), fueron medidas por radioinmunoensayo (Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, CA). Se empleó la misma técnica para la determinación del cortisol sérico (C) (Incstar Corporation, Stillwater, MN).

2.3.3. GASOMETRÍA, EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE Y ÁCIDO LÁCTICO

Se midieron parámetros de gases en sangre, equilibrio ácido-base y ácido láctico en cada test, una en condiciones de reposo (pre-test), y otra inmediatamente después de finalizar el test de competición simulada de biathlon (post-test), en los tres momentos de medición: al inicio del estudio (T_0), tras seis semanas de entrenamiento (T_1) y tras la semana de puesta a punto (T_2). Para determinar dichos parámetros, se utilizó un microanalizador de sangre capilar I-Stat (Abbott, USA).

Se extrajo una muestra de sangre capilar obtenida por punción en la piel de un dedo de la mano, debido a que se ha observado que las muestras capilares son una alternativa válida para el estudio de los parámetros hematológicos durante el ejercicio (Aguado, 2004; Friis et al., 2010). Las variables analizadas fueron: TCO_2 o CO_2 total (el CO_2 disuelto + el bicarbonato), pH, presión parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$), presión parcial de oxígeno ($p\text{O}_2$), HCO_3^- (bicarbonato), exceso de base (BE), y saturación de oxígeno ($s\text{O}_2$).

Para la medición de los niveles de lactato se obtuvieron muestras de sangre (100 μL) del lóbulo de la oreja previamente hiperemizado (Finalgon, Laboratorios FHER, Barcelona), tanto en estado de reposo, como a los 2, 4, 8 y 12 min tras cada test de rendimiento. Se determinó la concentración sanguínea de lactato utilizando una técnica electroenzimática mediante un analizador automático (YSI 1500 Sport, Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, OH). Siguiendo las recomendaciones del fabricante, el analizador fue calibrado con soluciones estándar de concentraciones de lactato predeterminadas (0,5 y 15 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$). Se denominó concentración pico de lactato ($[\text{La}]_{\text{Peak}}$) a los valores máximos de la concentración de lactato registrada en cada sujeto.

2.3.4. RENDIMIENTO

2.3.4.1. MEDICIÓN DE LA ALTURA DEL SALTO VERTICAL

Para analizar posibles cambios en los niveles de fuerza explosiva con la PAF, se realizó la medición de la altura de dos tipos de salto vertical: salto en contramovimiento (CMJ) y salto Abalakov (ABK). A los deportistas se les pidió que realizasen los saltos sobre una plataforma de contacto (Newtest OY, Oulu, Finlandia) desde la posición vertical con las rodillas extendidas.

Para el salto CMJ las manos debían estar fijas en la cintura y realizaban un movimiento preparatorio de flexión de las rodillas hasta la posición de flexión de 90°, seguido de una rápida extensión de las rodillas y del salto (Figura 2.4.).

La ejecución del salto de ABK fue similar al anterior pero en este caso los sujetos podían mover los brazos libremente para poder impulsarse (Figura 2.5.).



Figura 2.4. Salto contramovimiento



Figura 2.5. Salto Abalakov

La altura del salto se calculó a partir del tiempo de vuelo (Bosco et al., 1983). Para cada tipo de salto se registraron dos series de dos saltos, con 10 s de descanso entre repetición y 90 s entre series. El mejor salto de cada modalidad se utilizó para su análisis posterior. Para el cálculo de la potencia mecánica absoluta desarrollada durante el salto vertical (SVp) se utilizó la siguiente fórmula $SVp = PC \cdot g \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2}$, donde “PC” es el peso corporal (kg), “g” es la aceleración de la gravedad ($9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) y “h” es la altura del salto (m).

2.3.4.2. COMPETICIÓN SIMULADA DE BIATHLON

Como se ha señalado, el biathlon es una disciplina compleja en la que además del rendimiento en carrera, existen otras variables que van a determinar el resultado final, como es el caso del tiro.

El test de carrera fue una simulación de prueba de sprint en biathlon consistente en dos vueltas al circuito de Rio Blanco, de 3000m. Los deportistas realizaban una primera vuelta al circuito y la finalizaban en el polígono de tiro, donde tenían cinco blancos a 50 metros a los que disparar en posición tumbado; tras la serie de tiro continuaban corriendo otra vuelta al circuito para acabar de nuevo en el polígono de tiro con cinco blancos desde la posición de pie, momento en el que finalizaban la prueba.

A continuación se exponen las variables analizadas en relación al rendimiento:

- el tiempo de carrera
- el tiempo de tiro
- el número de aciertos y fallos
- el tiempo total de prueba (resultante de la suma del tiempo de carrera y el tiempo de tiro)
- el score (el resultado de sumar al tiempo de prueba las penalizaciones por cada fallo en el tiro)

2.3.4.2.1. TIEMPO DE CARRERA

Los test de carrera se llevaron a cabo tras la realización de un calentamiento estándar de baja a media intensidad de unos 20 minutos de duración, a modo de competición simulada.

Al igual que en las competiciones oficiales de biathlon, la carrera y el tiro se intercalaron durante la prueba. Así, los atletas debían realizar una primera vuelta al circuito con una primera parada para realizar el tiro tumbado, continuar con una segunda vuelta y finalizar con el tiro de pie.

Los atletas compitieron individualmente en ocho series separadas. La distribución se realizó tratando de evitar que hubiese carreras tácticas e intentando que realizaran un esfuerzo máximo. El orden de salida fue el mismo en las dos competiciones. Los tiempos de las carreras fueron tomados por jueces de la Federación Chilena de Biathlon. El mismo juez se encargó de dar las instrucciones de salida en todas las sesiones de competición. Los atletas no recibieron información sobre los registros de los test competitivos hasta el final de la ejecución del tercer test, una vez completado el procedimiento experimental.

2.3.4.2.2. TIEMPO DE TIRO Y NÚMERO DE ACIERTOS/ERRORES

Se registró el tiempo empleado en el tiro, desde el momento en que los deportistas pisaban la plataforma de tiro hasta el momento en que la abandonaban, en las dos ocasiones: tiro tumbado y tiro de pie. Tres cronometradores tomaban registro del tiempo empleado (s), a la vez que se anotaba el número de aciertos y de tiros errados en cada sujeto.

El tiro se realizó de forma similar a como se hace en las competiciones oficiales: después de realizar una primera vuelta en carrera, cada sujeto disparó cinco tiros a cinco dianas de 45mm de diámetro en la posición de tiro tumbado; después realizaban la segunda vuelta en carrera y disparaban otros cinco tiros a otras cinco dianas de 115mm de diámetro en la posición de tiro de pie, todo ello en el menor tiempo posible. Todas las dianas estaban situadas a una distancia de 50 metros desde la plataforma de tiro.

2.3.4.2.3. TIEMPO TOTAL DE LA PRUEBA

El tiempo total de prueba fue el tiempo empleado por los atletas en realizar la carrera en el circuito, más el tiempo empleado en disparar en las diferentes posiciones (tumbado y de pie).

2.3.4.2.4. SCORE (puntuación total)

En el biathlon, no sólo se tiene en cuenta la velocidad de ejecución en el tiro, sino también la puntería, de manera que se penalizan los fallos realizados en el tiro. Según el tipo de competición, la penalización por cada fallo puede ser de 150 metros adicionales de carrera a realizar tras la ronda de tiro, o bien añadir 60 segundos más en el tiempo final de cada competidor.

En esta investigación cada fallo en el tiro se penalizaba sumando 60 segundos adicionales al tiempo de los biathletas, tal y como se hace en la prueba individual. Por lo tanto, el score (puntuación total) fue la suma del tiempo de la prueba (tiempo de carrera + tiempo de ambos tiros) más el tiempo de penalización por cada fallo acumulado.

2.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico se realizó utilizando el programa SPSS 11.0 para Windows.

Se utilizaron cálculos estadísticos estándar para calcular la media y la desviación estándar (DE). Todos los valores presentados corresponden a los 8 sujetos que completaron el estudio.

Para establecer cambios intragrupal en los tres momentos de medición (T₀-T₁, T₁-T₂ y T₀-T₂) se utilizó, una vez confirmada la normalidad de los valores a través de las pruebas Kolmogorov-Smirnov y Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors, el test T de Student para muestras relacionadas. Para una mayor fiabilidad de los resultados se aplicó también la prueba de Wilcoxon, no encontrándose ninguna discrepancia entre ambas pruebas.

Para determinar la posible asociación entre las características físicas, la altura del salto vertical, las determinaciones hematológicas, hormonales, de equilibrio ácido-base, y el rendimiento en los tres momentos de medición, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r).

El límite superior de significación estadística se estableció en $P < 0.05$.

3. RESULTADOS

3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Las características físicas de los sujetos así como el porcentaje de variación (%) observada entre las diferentes mediciones se muestran en la tabla 3.1. En ella se observa que el peso de los deportistas disminuyó significativamente ($P < 0.01-0.001$) con el entrenamiento en un 3.1% y a lo largo de las 7 semanas del estudio en un 2.4%. Durante la puesta a punto el peso aumento un 0.8%, pero dicho cambio no fue significativo.

Tabla 3.1. Características físicas de los sujetos.

	To	T1	T2	% CAMBIO		
				To-T1	T1-T2	To-T2
Altura (cm)	172.4 ± 8.9	172.4 ± 8.9	172.4 ± 8.9	-	-	-
Peso (kg)	67.5 ± 10.0	65.4 ± 9.5^{aaa}	65.9 ± 10.0^{aa}	-3.1	0.8	-2.4

Los valores mostrados son medias ± desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto.

^{aa} Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.01$); ^{aaa} Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.001$). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

3.2. MEDICIÓN DE LOS VALORES EN SANGRE

Dada la cantidad de variables analizadas, y para una mayor claridad, se realiza una división en cuatro apartados: hematología (serie roja, serie blanca y serie plaquetar), daño muscular, metabolismo del hierro y hormonas.

3.2.1. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS HEMATOLÓGICOS

A continuación se muestran los valores hematológicos (media \pm desviación estándar) y los valores de referencia (VR) recogidos en T₀ (test inicial), T₁ (tras seis semanas de entrenamiento) y T₂ (tras la puesta a punto de alta frecuencia). Tras las tres primeras columnas, donde se presentan los valores absolutos obtenidos en los tres momentos de medición, T₀, T₁ y T₂, en las columnas sombreadas aparecen los cambios porcentuales durante los tres periodos del estudio: T₀-T₁, T₁-T₂, y T₀-T₂. La hematología se subdivide a su vez en dos grupos: serie roja (Tabla 3.2), y serie blanca y plaquetar (Tabla 3.3).

En lo relativo a la serie roja, y como se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 3.2), tras 6 semanas de entrenamiento (To-T1), se encontraron aumentos significativos ($P<0.05-0.01$) del 1.1% en la hemoglobina corpuscular media y del 2.9% en el ancho de distribución eritrocitaria.

En cambio con la puesta a punto (T1-T2), el único cambio significativo ($P<0.05$) fue en la hemoglobina, con un aumento del 4.2%. También se encontró un aumento del 3.5% del hematocrito en el mismo periodo, pero dicho cambio no fue significativo.

Tabla 3.2. Serie roja.

	To	T1	T2	% CAMBIO			VR
				To-T1	T1-T2	To-T2	
Hem ($10^6 \cdot \text{mm}^{-3}$)	4.72 \pm 0.29	4.78 \pm 0.28	4.94 \pm 0.39^{aa}	1.3	3.3	4.7	4.6-6.2
Hb ($\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$)	14.76 \pm 0.62	15.10 \pm 0.74	15.73 \pm 0.98^{aa b}	2.3	4.2	6.6	14.3-18.8
Ht (%)	43.61 \pm 1.98	44.34 \pm 2.24	45.89 \pm 3.19^{aa}	1.7	3.5	5.2	41-52
MCV (μm^3)	92.56 \pm 3.80	92.95 \pm 3.03	93.00 \pm 3.29	0.4	0.05	0.5	80 - 97
MCH (pg)	31.35 \pm 1.09	31.70 \pm 1.20^a	31.89 \pm 1.13^{aa}	1.1	0.6	1.7	27 - 31
MCHC ($\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$)	33.86 \pm 0.40	34.10 \pm 0.37	34.31 \pm 0.48^a	0.7	0.6	1.3	32.8 -36
RDW (%)	12.64 \pm 0.69	13.01 \pm 0.64^{aa}	12.96 \pm 0.52^a	2.9	-0.4	2.5	12.3-15.3

Los valores mostrados son media \pm desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto; **VR**, valores de referencia; **Hem**, hematíes; **Hb**, hemoglobina; **Ht**, hematocrito; **MCV**, volumen corpuscular medio; **MCH**, hemoglobina corpuscular media; **MCHC**, concentración de hemoglobina corpuscular media; **RDW**, ancho de distribución eritrocitario.

^aDiferencia significativa respecto a To ($P<0.05$); ^{aa}Diferencia significativa respecto a To ($P<0.01$); ^bDiferencia significativa respecto a T1 ($P<0.05$). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

A continuación se exponen los resultados de las mediciones relativas a la serie blanca y plaquetar (Tabla 3.3)

Tabla 3.3. Serie blanca y plaquetar.

	To	T1	T2	% CAMBIO			VR
				To-T1	T1-T2	To-T2	
Leucocitos (%)	6.95 ± 1.68	5.83 ± 1.82^{aa}	5.91 ± 1.73^{aaa}	-16.1	1.4	-14.9	4 - 10.9
Linfocitos (%)	31.13 ± 5.19	36.50 ± 4.44^a	35.38 ± 6.67^a	17.2	-3.1	13.6	21.8 - 58.5
Monocitos (%)	4.75 ± 1.28	5.13 ± 1.25	5.63 ± 1.19	8	9.7	18.5	0.9 - 24
PME (%)	1.00 ± 0.00	1.13 ± 0.35	1.88 ± 1.13	13	66.4	88	0 - 4
Plaquetas (10³·mm³)	308.75 ± 97.58	263.13 ± 72.56^a	282.38 ± 84.71^a	-14.8	7.3	-8.5	130 - 350

Los valores mostrados son media ± desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto; **VR**, valores de referencia; **PME**, polimorfonucleares eosinófilos.

^a Diferencia significativa (P<0.05) respecto a To; ^{aa} Diferencia significativa (P<0.01) respecto a To; ^{aaa} Diferencia significativa (P<0.001) respecto a To. Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

Respecto a la serie blanca y plaquetar, se encontraron descensos significativos (P<0.05) del porcentaje de leucocitos del 16.1% durante el periodo To-T1 y del 14.9% en el periodo To-T2.

En el porcentaje de linfocitos, en cambio, se observaron aumentos significativos (P<0.05) del 17.2% durante el periodo To-T1 y del 13.6% en el periodo To-T2.

El recuento de plaquetas siguió la tendencia hallada en los leucocitos, con un descenso significativo (P<0.05) del 14.8% en To-T1 y del 8.5% en To-T2.

Durante los siete días de puesta a punto (T1-T2) no se observaron cambios significativos en ninguna de las variables de la serie blanca y plaquetar analizadas.

3.2.2. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DE DAÑO MUSCULAR

En la tabla 3.4 se muestran los resultados de la bioquímica de diversos parámetros sanguíneos indicadores del daño celular: urea, urato, creatinina y creatina kinasa.

Tabla 3.4. Parámetros relacionados con el daño muscular.

	To	T1	T2	% CAMBIO			VR
				To-T1	T1-T2	To-T2	
Urea (mg·dL ⁻¹)	39.29 ± 8.62	29.50 ± 8.42^a	27.50 ± 5.18^{aa}	-24.9	-6.8	-30	10 – 50
Urato (mg·dL ⁻¹)	4.48 ± 1.33	2.76 ± 0.89^{aaa}	3.65 ± 0.94^{aa bbb}	-38.4	32.2	-18.5	3.4 – 7
Creat (mg·dL ⁻¹)	0.89 ± 0.08	0.93 ± 0.07	0.90 ± 0.10	4.5	-3.2	1.1	0.7 – 1.1
CK (UI·L ⁻¹)	120.38 ± 95.44	147.38 ± 44.47	103.00 ± 30.51^b	22.4	-30.1	-14.4	24 – 190

Los valores mostrados son media ± desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto; **VR**, valores de referencia; **Creat**, creatinina; **CK**, creatina kinasa.

^a Diferencia significativa respecto a To (P<0.05); ^{aa} Diferencia significativa respecto a To (P<0.01); ^{aaa} Diferencia significativa respecto a To (P<0.001); ^b Diferencia significativa respecto a T1 (P<0.05); ^{bbb} Diferencia significativa respecto a T1 (P<0.001). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

Se observó una disminución significativa (p<0.05-0.01) del 24.9% en los valores de urea de To a T1, y del 30% de To a T2.

En cambio el urato mostró diferencias a lo largo del estudio. Así, se observaron disminuciones significativas (p<0.05-0.001) del 38.4% de To a T1 y del 18.5% de To a T2, mientras que durante el periodo de puesta a punto (T1-T2) mostró un aumento significativo (P<0.001) del 32.2%.

En lo relativo a los valores de creatina kinasa, se observó un aumento (ns) durante las 6 semanas de entrenamiento (To-T1), para revertir su tendencia con la puesta a punto (T1-T2), donde se apreció una disminución significativa (P<0.05) del 30.1%.

3.2.3. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS RELACIONADOS CON EL METABOLISMO DEL HIERRO

En la tabla 3.5 se exponen los datos correspondientes a la bioquímica de los parámetros relacionados con el metabolismo del hierro: hierro, transferrina, porcentaje de saturación de la transferrina y ferritina.

Tabla 3.5. Parámetros relacionados con el metabolismo del hierro.

	To	T1	T2	% CAMBIO			VR
				To-T1	T1-T2	To-T2	
Fe ($\mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	131.07 \pm 38.99	93.61 \pm 32.36^a	122.69 \pm 26.66	-28.6	31.1	-6.4	40 - 160
Transferrina ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	255.87 \pm 37.18	316.38 \pm 47.06^a	359.86 \pm 24.29^{aa}	23.6	13.7	40.6	210 - 430
Sat Transf (%)	45.51 \pm 12.20	35.00 \pm 12.26^a	42.29 \pm 8.17	-23.1	20.8	-7.1	20 - 55
Ferritina ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	66.65 \pm 52.10	88.10 \pm 53.04^{aa}	104.23 \pm 60.95^{aa}	32.2	18.3	56.4	25 - 400

Los valores mostrados son media \pm desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto; **VR**, valores de referencia; **Fe**, hierro; **Sat Transferrina**, porcentaje de saturación de la transferrina.

^a Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.05$); ^{aa} Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.01$). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

El periodo de entrenamiento To-T1 produjo cambios significativos en los parámetros relacionados con el metabolismo del hierro, observándose aumentos significativos ($P < 0.05-0.01$) del 23.6% en los valores de la transferrina y del 32.2% en los de la ferritina y descensos significativos ($P < 0.05$) del 28.6% y del 23.1% en los valores de hierro y el porcentaje de saturación de la transferrina respectivamente.

Se encontraron aumentos significativos ($P < 0.01$) durante todo el periodo del estudio, To-T2, en la transferrina y en la ferritina, con un porcentaje de cambio del 40.6% y

del 56.4%, respectivamente.

No hubo cambios significativos en ninguna de las variables durante el periodo de puesta a punto.

3.2.4. HORMONAS

En la tabla 3.6 se muestran los datos correspondientes a las hormonas: testosterona total (TT), testosterona libre (FT), cortisol, ratio testosterona libre/testosterona total (FT/TT), ratio testosterona total/cortisol (TT/C) y ratio testosterona libre/cortisol (FT/C).

Tabla 3.6. Hormonas.

	T ₀	T ₁	T ₂	% CAMBIO			VR
				T ₀ -T ₁	T ₁ -T ₂	T ₀ -T ₂	
TT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	5.30 \pm 1.17	5.58 \pm 1.36	6.78 \pm 1.18^{aa bb}	5.3	21.5	27.9	3.0 – 12
FT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	20.25 \pm 7.19	18.08 \pm 4.92	16.08 \pm 3.05	-10.7	-11.1	-20.6	11 – 39
Cortisol ($\mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	8.9 \pm 22.68	11.9 \pm 16.22^a	10.4 \pm 12.33	33.7	-12.6	16.8	0-25
FT/TT	3.80 \pm 0.72	3.24 \pm 0.39	2.23 \pm 0.20^{a bb}	-14.7	-31.2	-41.3	
TT/C	0.045 \pm 0.009	0.047 \pm 0.012^a	0.065 \pm 0.007^b	4.4	38.3	44.4	
FT/C	0.231 \pm 0.541	0.151 \pm 0.033^{aa}	0.154 \pm 0.012^a	-34.6	1.9	-33.3	

Los valores mostrados son media \pm desviación estándar. **T₀-T₁**, periodo de entrenamiento; **T₁-T₂**, puesta a punto; **T₀-T₂**, periodo de entrenamiento y puesta a punto; **VR**, valores de referencia; **TT**, testosterona total; **FT**, testosterona libre; **C**, cortisol; **FT/TT**, ratio testosterona libre/testosterona total; **TT/C**, ratio testosterona total/cortisol; **FT/C**, ratio testosterona libre/cortisol.

^a Diferencia significativa respecto a T₀ (P<0.05). ^{aa} Diferencia significativa respecto a T₀ (P<0.01).

^b Diferencia significativa respecto a T₁ (P<0.05). ^{bb} Diferencia significativa respecto a T₁ (P<0.01). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

Los valores de testosterona total mostraron un aumento significativo (P<0.01) del 27.9% durante todo el estudio (T₀-T₂), y del 21.5% con la puesta a punto (T₁-T₂). En cambio, no se observaron cambios significativos en los valores de testosterona libre.

El cortisol mostró un aumento significativo (P<0.05) del 33.7% con el entrenamiento (T₀-T₁). Sin embargo, durante la puesta a punto hubo una disminución del

12.6%, aunque este resultado no fue significativo.

Se encontraron descensos significativos ($p < 0.05-0.01$) del 41.3% de la ratio testosterona libre/testosterona total a lo largo de las 7 semanas del estudio y del 31.2% durante la puesta a punto.

La ratio testosterona total/cortisol aumentó significativamente ($P < 0.05$) en 4.4% de T_0 a T_1 , y continuó con la misma tendencia durante la puesta a punto, con un aumento significativo del 38.3%.

Por último, se encontraron descensos significativos ($p < 0.05-0.01$) del 34.6% en la ratio testosterona libre/cortisol durante el periodo de entrenamiento, y del 33.3% durante todo el periodo del estudio.

3.3. GASOMETRÍA, EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE Y ÁCIDO LÁCTICO

A continuación se muestran los datos correspondientes a la gasometría y las mediciones del equilibrio ácido-base en sangre capilar realizados con el I-Stat. Además, se incluyen los valores de la concentración de ácido láctico. Se realizaron dos mediciones en cada test, una en condiciones de reposo (pre-test), y otra inmediatamente después de finalizar la competición simulada de biathlon (post-test), en los tres momentos de medición: al inicio del estudio (T_0), tras seis semanas de entrenamiento (T_1) y tras la semana de puesta a punto (T_2).

Dado el gran número de datos, se presentan los resultados de cada una de las variables en forma de figura, para finalizar con unas tablas correspondientes a los valores absolutos pre-test y post-test de cada una de las variables (Tabla 3.7), así como los cambios porcentuales de dichas variables entre los tres periodos de medición (Tabla 3.8).

Respecto a los valores de CO_2 total, en la figura 3.1 se observa una disminución significativa ($P < 0.001$) antes y después del test en los tres momentos de medición, variando de 26.71 ± 3.03 a 16.00 ± 3.71 $\text{mEq}\cdot\text{l}^{-1}$ en T_0 , de 28.29 ± 2.43 a 13.67 ± 3.14 $\text{mEq}\cdot\text{l}^{-1}$ en T_1 , y de 28.14 ± 2.34 a 11.50 ± 1.52 $\text{mEq}\cdot\text{l}^{-1}$ en T_2 .

Además, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores de CO_2 total post-test tras las seis semanas de entrenamiento (de 16.00 ± 3.71 a 13.67 ± 3.14 $\text{mEq}\cdot\text{l}^{-1}$) y durante las 7 semanas de duración del estudio (de 16.00 ± 3.71 a 11.50 ± 1.52 $\text{mEq}\cdot\text{l}^{-1}$).

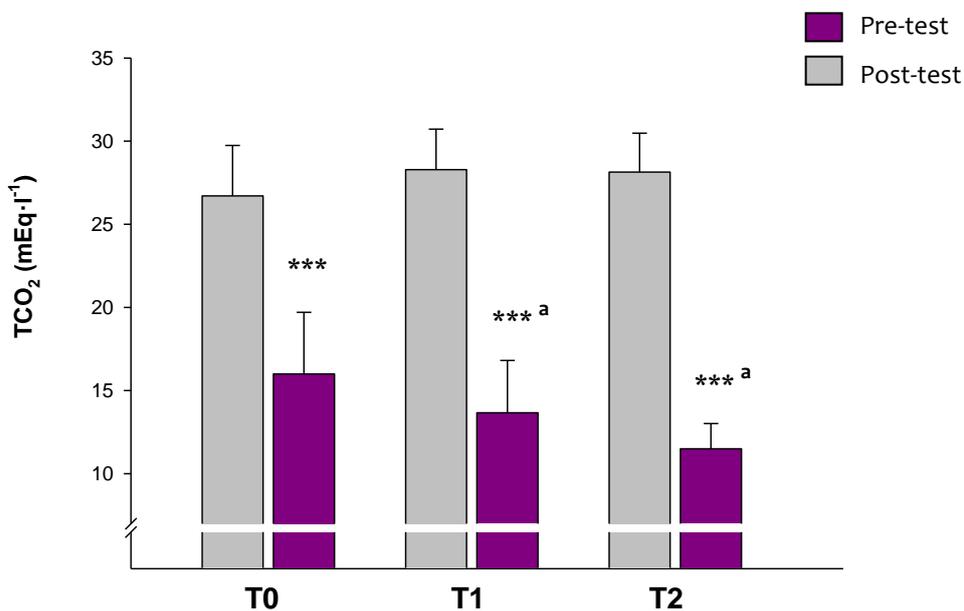


Figura 3.1. Valores del CO_2 total antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon en T_0 , T_1 y T_2 .

Los valores mostrados son media \pm desviación estándar. T_0 , test inicial; T_1 , test tras las 6 semanas de entrenamiento; T_2 , test tras la semana de puesta a punto.

*** Diferencia significativa respecto a pre-test ($P < 0.001$); ^a Diferencia significativa respecto a T_0 ($P < 0.05$).

En la siguiente figura (Figura 3.2) se presentan las variaciones del pH pre-test y post-test, en los tres momentos de la medición.

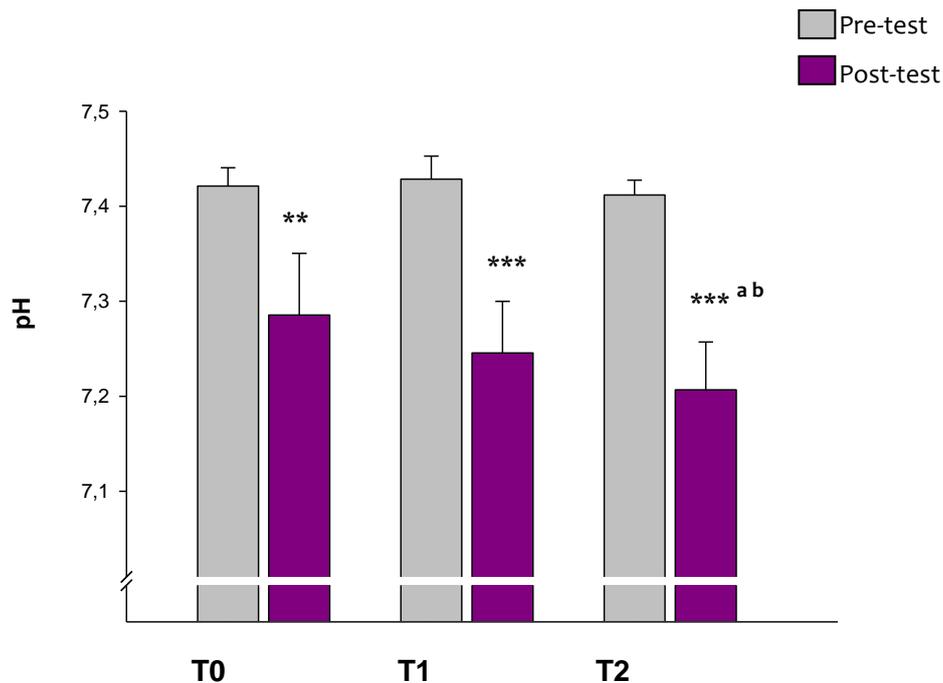


Figura 3.2. Valores del pH antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon en T0, T1 y T2.

Los valores mostrados son media \pm desviación estándar. **T0**, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto.

** Diferencia significativa respecto a pre-test ($P < 0.01$); *** Diferencia significativa respecto a pre-test ($P < 0.001$); ^a Diferencia significativa respecto a T0 ($P < 0.05$); ^b Diferencia significativa respecto a T1 ($P < 0.05$).

Respecto a las variaciones del pH, también se encontró una disminución significativa ($P < 0.01-0.001$) antes y después de la competición simulada de biathlon en los tres momentos de medición, con un descenso en los valores de 7.42 ± 0.001 a 7.29 ± 0.007 en T0, de 7.43 ± 0.003 a 7.25 ± 0.005 en T1, y de 7.41 ± 0.001 a 7.19 ± 0.004 en T2.

Además, se encontraron disminuciones significativas ($P < 0.05$) en los valores de pH post-test, variando de 7.25 ± 0.005 a 7.19 ± 0.004 con la puesta a punto (T1-T2), y de 7.29 ± 0.007 a 7.19 ± 0.004 entre T0-T2.

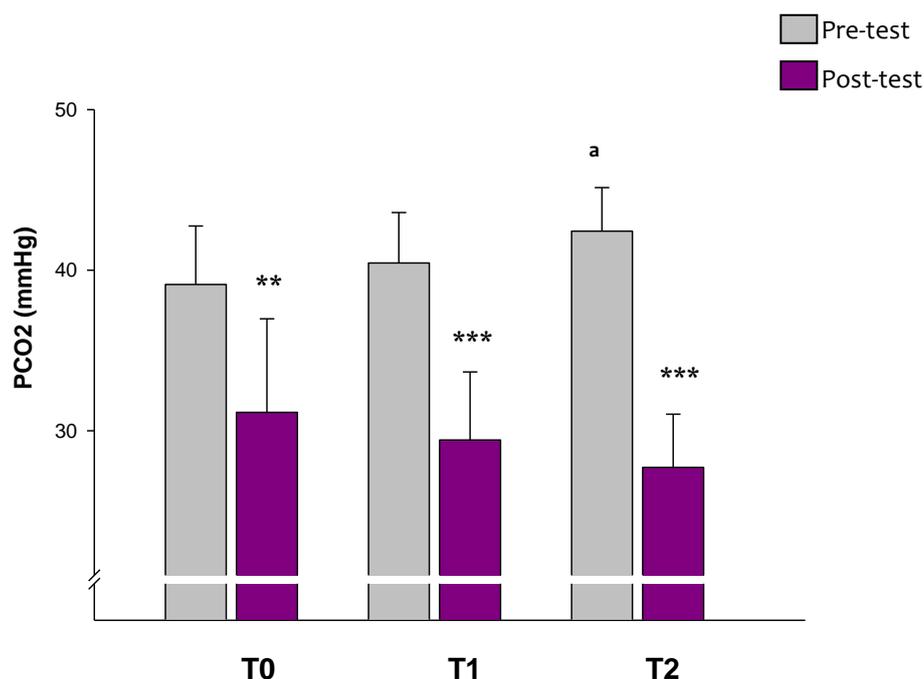


Figura 3.3. Valores de la presión parcial de CO₂ antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon en T₀, T₁ y T₂.

Los valores mostrados son media ± desviación estándar. **T₀**, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto.

** Diferencia significativa respecto a pre-test ($P < 0.01$); *** Diferencia significativa respecto a pre-test ($P < 0.001$); ^a Diferencia significativa respecto a T₀ ($P < 0.05$).

Como se puede observar en la figura 3.3, la presión parcial de CO₂ continuó con la tendencia de las anteriores variables, mostrando una disminución significativa ($P < 0.01$ - 0.001), antes y después de la competición simulada de biathlon en los tres momentos, con un cambio en sus valores de 39.11 ± 3.64 a 31.15 ± 5.82 mmHg en T₀, de 40.45 ± 3.14 a 29.42 ± 4.24 mmHg en T₁, y de 42.43 ± 2.71 a 27.72 ± 3.31 mmHg en T₂.

Se observó un aumento significativo ($P < 0.05$) en el PCO₂ pre-test tras las 7 semanas que duró el estudio (T₀-T₂), variando de 39.11 ± 3.64 a 42.43 ± 2.71 mmHg.

Apenas se encontraron variaciones significativas en la presión parcial de oxígeno (Figura 3.4), con el único cambio significativo ($P < 0.05$) en los valores pre-test entre T0-T1, donde se produjo una disminución de 81.50 ± 2.81 a 66.83 ± 3.87 mmHg.

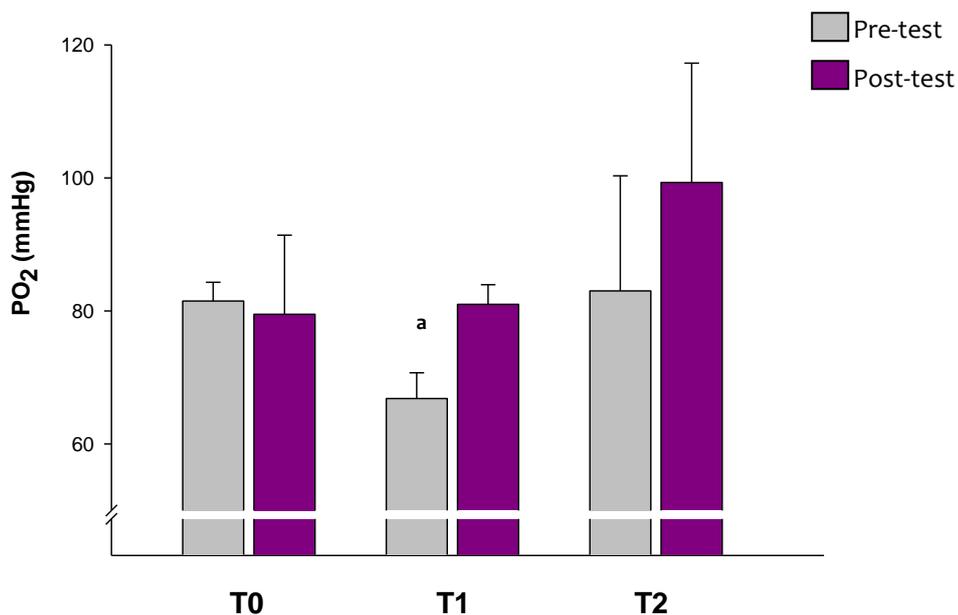


Figura 3.4. Valores la presión parcial de oxígeno antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon en T0, T1 y T2.

Los valores mostrados son media \pm desviación estándar. **T0**, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto.

^a Diferencia significativa respecto a T0 ($P < 0.05$).

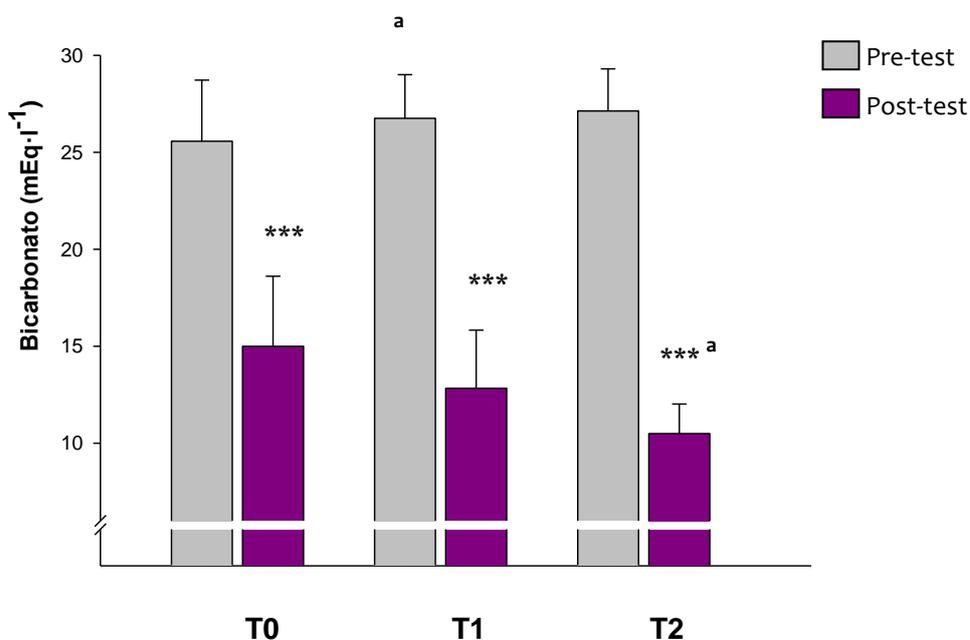


Figura 3.5. Valores de bicarbonato antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biatlón en T₀, T₁ y T₂.

Los valores mostrados son media ± desviación estándar. **T₀**, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto.

*** Diferencia significativa respecto a pre-test ($P < 0.001$); ^a Diferencia significativa respecto a T₀ ($P < 0.05$).

En la figura 3.5 se presentan los valores de bicarbonato. Se observaron disminuciones significativas ($P < 0.001$) en los valores de bicarbonato antes y después de los test en los tres momentos de medición, variando de 25.57 ± 3.15 a 14.50 ± 3.45 mEq·l⁻¹ en T₀, de 26.75 ± 2.25 a 12.83 ± 2.99 mEq·l⁻¹ en T₁ y de 27.13 ± 2.17 a 10.86 ± 1.68 mEq·l⁻¹ en T₂.

El HCO₃⁻ pre-test aumentó ($P < 0.05$) con el entrenamiento (T₀-T₁) de 25.57 ± 3.15 a 26.75 ± 2.25 mEq·l⁻¹, mientras que en los valores post-test descendió ($P < 0.05$) entre T₀ y T₂ de 14.500 ± 3.45 a 10.86 ± 1.68 mEq·l⁻¹.

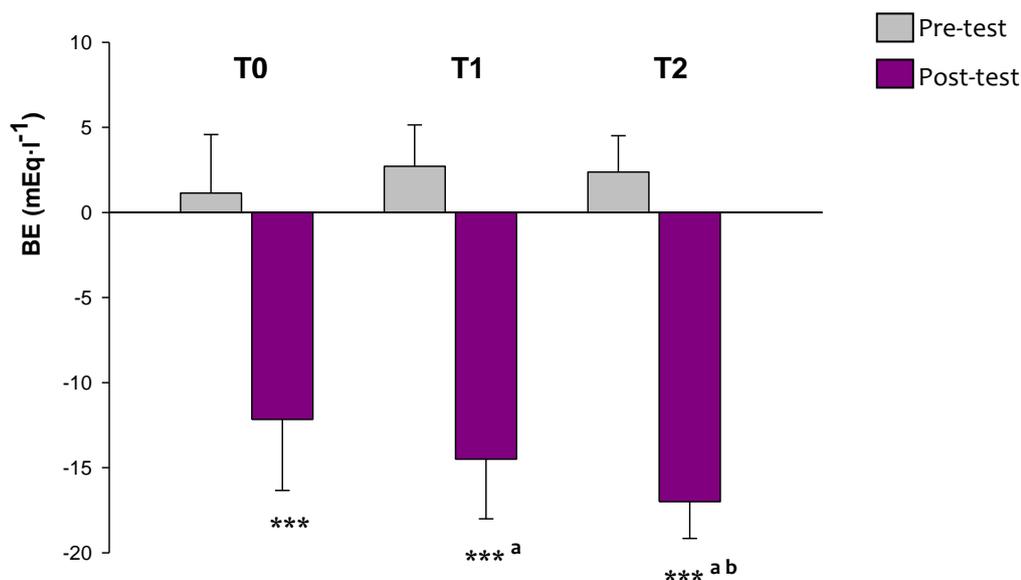


Figura 3.6. Valores de exceso de base antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon en T₀, T₁ y T₂.

Los valores mostrados son media ± desviación estándar. **T₀**, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto.

*** Diferencia significativa respecto a pre-test ($P < 0.001$); ^a Diferencia significativa respecto a T₀ ($P < 0.05$); ^b Diferencia significativa respecto a T₁ ($P < 0.05$).

Como puede observarse en la figura anterior (Figura 3.6), el exceso de base mostró descensos significativos ($P < 0.001$) en la relación pre-post test en las tres mediciones, variando de 1.14 ± 3.43 a -11.60 ± 4.39 mEq·l⁻¹ en T₀, de 2.71 ± 2.43 a -14.50 ± 3.51 mEq·l⁻¹ en T₁ y de 2.42 ± 2.30 a -17.50 ± 1.87 mEq·l⁻¹ en T₂.

También se encontraron disminuciones significativas ($P < 0.05$) en las mediciones post-test tras las seis semanas de entrenamiento, con un cambio de -11.60 ± 4.39 a -14.50 ± 3.51 mEq·l⁻¹ y tras las siete semanas del estudio, donde los valores variaron de 11.60 ± 4.39 a -17.50 ± 1.87 mEq·l⁻¹.

Además, la puesta a punto provocó disminuciones significativas ($P < 0.05$) en los valores post-test, con un cambio de -14.50 ± 3.51 mEq·l⁻¹ en T₁, a -17.50 ± 1.87 mEq·l⁻¹ en T₂.

En la siguiente figura (Figura 3.7.) se exponen las variaciones del porcentaje de saturación de oxígeno. Únicamente se encontró una disminución significativa ($P < 0.05$) en la medición pre-test durante el periodo de entrenamiento (T0-T1) con un cambio en sus valores de 95.86 ± 0.69 a $94.00 \pm 2.24\%$.

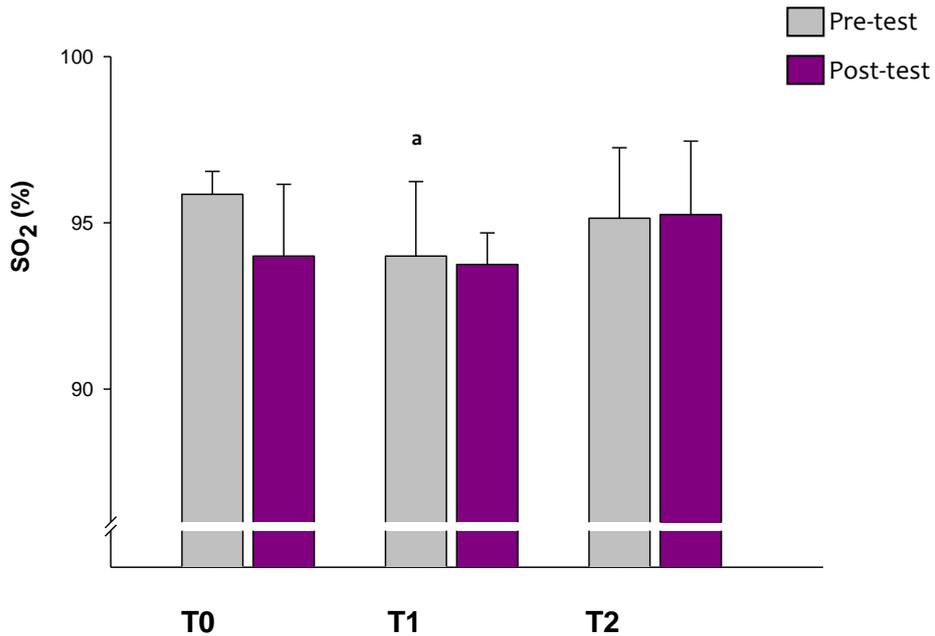


Figura 3.7. Valores del porcentaje de saturación de oxígeno antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon en T0, T1 y T2.

Los valores mostrados son media \pm desviación estándar. **T0**, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto.

^a Diferencia significativa respecto a T0 ($P < 0.05$).

Finalmente, en la Figura 3.8 se presentan los valores de ácido láctico tanto en reposo (pre-test) como la concentración pico tras el test (post-test). Se observó un aumento significativo ($P < 0.001$) entre los valores antes y después de la competición simulada de biathlon en los tres momentos de medición, con un cambio de 1.58 ± 0.31 a $9.16 \pm 2.62 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en T₀, de 2.64 ± 0.85 a $14.84 \pm 2.72 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en T₁, y de 3.78 ± 0.26 a $13.61 \pm 1.99 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en T₂.

En las relativo a las mediciones pre-test, se encontró un aumento significativo entre los tres momentos de medición ($P < 0.05-0.001$), variando la concentración de lactato de 1.58 ± 0.31 a $2.64 \pm 0.85 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ tras las seis semanas de entrenamiento, de 2.64 ± 0.85 a 3.78 ± 0.26 tras la puesta a punto y de 1.58 ± 0.31 a $3.78 \pm 0.26 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ entre T₀ y T₂.

Se observaron cambios significativos ($P < 0.05-0.01$) entre los valores de la concentración pico de lactato post-test en T₀ y en T₁, aumentando de 9.16 ± 2.62 a $14.84 \pm 2.72 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, y también entre T₀-T₂, donde los valores se incrementaron de 9.16 ± 2.62 a $13.61 \pm 1.99 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Por su parte, la puesta a punto provocó un descenso en los valores post-test de 14.84 ± 2.72 a $13.61 \pm 1.99 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, pero dicho cambio no fue significativo.

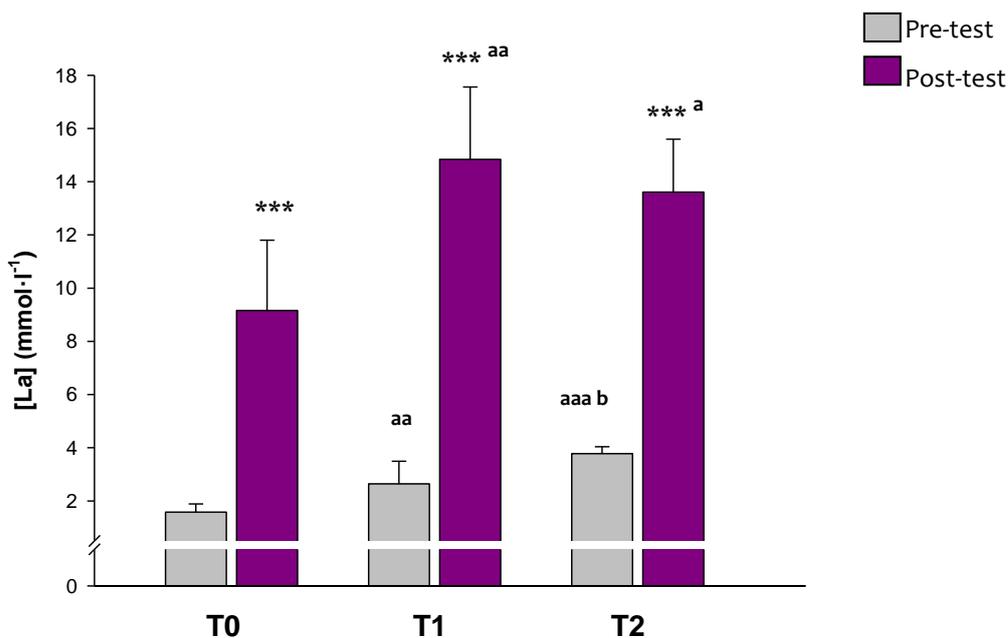


Figura 3.8. Valores del ácido láctico antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon en T₀, T₁ y T₂.

Los valores mostrados son media \pm desviación estándar. **T₀**, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto.

*** Diferencia significativa respecto a pre-test ($P < 0.001$); ^a Diferencia significativa respecto a T₀ ($P < 0.05$);

^{aa} Diferencia significativa respecto a T₀ ($P < 0.01$); ^{aaa} Diferencia significativa respecto a T₀ ($P < 0.001$);

^b Diferencia significativa respecto a T₁ ($P < 0.05$).

Para finalizar este apartado, se presentan en las siguientes tablas los valores de todas las variables analizadas (Tabla 3.7), así como los porcentajes de cambio entre los tres momentos de medición (Tabla 3.8).

En la tabla 3.7 se detallan los valores absolutos pre-test y post-test al inicio del estudio (T₀), tras las 6 semanas de entrenamiento y previo a la puesta a punto (T₁) y tras la puesta a punto (T₂).

Tabla 3.7. Gasometría, equilibrio ácido-base y ácido láctico antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon en T₀, T₁ y T₂.

	T ₀		T ₁		T ₂		VR
	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	Pre-test	Post-test	
TCO₂	26.71 ± 3.03	15.50 ± 3.45^{***}	28.13 ± 2.30	13.67 ± 3.14^{a***}	28.13 ± 2.17	11.86 ± 1.68^{a***}	5 - 50
pH	7.42 ± 0.001	7.29 ± 0.007^{**}	7.43 ± 0.003	7.25 ± 0.005^{***}	7.41 ± 0.001	7.21 ± 0.004^{ab***}	7.35 - 7.45
PCO₂	39.11 ± 3.64	30.50 ± 4.69^{**}	40.45 ± 3.14	28.93 ± 3.40^{***}	42.43 ± 2.71^a	27.64 ± 2.72^{***}	35 - 45
PO₂	80.86 ± 3.08	80.67 ± 9.42	66.83 ± 3.87^a	81.00 ± 4.43	80.86 ± 16.8	97.50 ± 15.09	75 - 100
HCO₃⁻	25.57 ± 3.15	14.50 ± 3.45^{***}	26.75 ± 2.25^a	12.83 ± 2.99^{***}	27.13 ± 2.17	10.86 ± 1.68^{a***}	24 - 34
BE	1.14 ± 3.44	-12.17 ± 4.17^{***}	2.71 ± 2.43	-14.50 ± 3.51^{a***}	2.38 ± 2.13	-17.00 ± 2.76^{ab***}	+/-3.0
SO₂	95.86 ± 0.69	94.33 ± 1.75	94.50 ± 2.51^a	94.00 ± 0.89	95.14 ± 2.12	95.25 ± 2.22	94 - 100
[La]	1.54 ± 0.40	9.16 ± 2.64^{***}	2.64 ± 0.85^{aa}	14.84 ± 2.72^{aa***}	3.76 ± 0.28^b	13.61 ± 1.99^{a***}	0.30-20

Los valores mostrados son media ± desviación estándar. **T₀**, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto; **VR**, valores de referencia **TCO₂**, CO₂ total expresada en mEq·l⁻¹; **PCO₂**, presión parcial de CO₂ expresada en mmHg; **PO₂**, presión parcial de oxígeno expresada en mmHg; **HCO₃⁻**, bicarbonato expresado en mEq·l⁻¹; **BE**, exceso de base expresado en mEq·l⁻¹; **SO₂**, saturación de oxígeno expresado en %; **[La]** concentración de ácido láctico expresada en mmol·l⁻¹.

** Diferencia significativa respecto a Basal (P<0.01); *** Diferencia significativa respecto a Basal (P<0.001); ^a Diferencia significativa respecto a T₀ (P<0.05); ^{aa} Diferencia significativa respecto a T₀ (P<0.01); ^b Diferencia significativa respecto a T₁ (P<0.05). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos.

A continuación, en la tabla 3.8 se muestran las variaciones (Δ) de cada una de las variables pre-post test en los tres momentos de medición.

Tabla 3.8. Porcentaje de cambio de la gasometría, equilibrio ácido-base y ácido láctico antes (pre-test) y después (post-test) de la competición simulada de biathlon entre To- T1, T1-T2 y To-T2.

	% CAMBIO					
	PRE-TEST			POST-TEST		
	To-T1	T1-T2	To-T2	To-T1	T1-T2	To-T2
TCO ₂	5.9	-0.5	5.3	-14.6	-15.9	-28.1
pH	0.13	-0.27	-0.13	-0.55	-0.83	-1.37
PCO ₂	3.43	4.89	8.49	-5.55	-5.78	-11.01
PO ₂	-18	24.19	1.84	1.89	22.63	24.94
HCO ₃ ⁻	4.61	1.42	6.10	-14.47	-18.16	-30
BE	137.7	-10.7	112.3	-25	-20.7	-50.9
SO ₂	-1.94	1.21	-0.75	-0.26	1.6	1.33
[La]	67.1	43.2	139.2	62	-8.3	48.6

To-T1, periodo de entrenamiento; T1-T2, puesta a punto; To-T2, periodo de entrenamiento y puesta a punto; TCO₂, CO₂ total; PCO₂, presión parcial de CO₂; PO₂, presión parcial de oxígeno; HCO₃⁻, bicarbonato; BE, exceso de base; SO₂, saturación de oxígeno; [La] concentración de ácido láctico.

Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos.

3.4. RENDIMIENTO

3.4.1. MEDICIÓN DE LA ALTURA DEL SALTO VERTICAL

Los resultados de los test de salto, con las medias y las desviaciones estándar de los biathletas, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.9. Potencia muscular media del miembro inferior durante el salto vertical.

	T ₀	T ₁	T ₂	% CAMBIO		
				T ₀ -T ₁	T ₁ -T ₂	T ₀ -T ₂
CMJ (cm)	40.89 ± 6.94	41.56 ± 6.22	43.05 ± 7.42	1.7	3.6	5.3
ABK (cm)	45.19 ± 6.66	46.34 ± 6.23	47.70 ± 7.93	2.5	2.9	5.6

Los resultados son medias ± desviación estándar. **T₀-T₁**, periodo de entrenamiento; **T₁-T₂**, puesta a punto; **T₀-T₂**, periodo de entrenamiento y puesta a punto; **CMJ**, salto en contramovimiento; **ABK**, salto Abalakov. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

No se observaron diferencias significativas en la altura del salto vertical, ni en CMJ ni en ABK. Sin embargo, hubo una mejora (ns) durante la puesta a punto en ambos tipos de salto, siendo el cambio porcentual del 3.6% en CMJ y del 2.9% en ABK.

3.4.2. COMPETICIÓN SIMULADA DE BIATHLON

3.4.2.1. TIEMPO DE CARRERA

Las medias de los tiempos de carrera se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.10. Tiempos de carrera en la 1ª y 2ª vuelta, y suma total del tiempo de carrera.

TIEMPO (s)	To	T1	T2	% CAMBIO		
				To-T1	T1-T2	To-T2
1ª vuelta	700.25 ± 77.98	650.87 ± 48.37 ^a	633.87 ± 44.83 ^{aa b}	-7.0	-2.6	-9.5
2ª vuelta	821.62 ± 71.85	707.00 ± 60.17 ^{aaa}	677.25 ± 53.63 ^{aaa bb}	-13.9	-4.2	-17.6
TOTAL	1521.87 ± 140.91	1357.87 ± 104.85^{aaa}	1311.12 ± 94.47^{aaa bbb}	-10.8	-3.4	-13.8

Los resultados son medias ± desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto.

^a Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.05$); ^{aa} Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.01$); ^{aaa} Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.001$); ^b Diferencia significativa respecto a T1 ($P < 0.05$); ^{bb} Diferencia significativa respecto a T1 ($P < 0.01$); ^{bbb} Diferencia significativa respecto a T1 ($P < 0.001$). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

El entrenamiento de 6 semanas (To-T1) mostró una mejora significativa ($P < 0.05$ - 0.001) en el tiempo en realizar la primera y segunda vuelta al circuito y, por consiguiente, en el tiempo total de carrera, disminuyendo el tiempo empleado en realizarlas un 7%, un 13.9% y un 10.8%, respectivamente.

Los 6 días de puesta a punto de alta frecuencia tuvieron un efecto positivo para todo el grupo, los ocho biathletas mejoraron su marca en competición tras la puesta a punto, descendiendo significativamente ($P < 0.05$ - 0.001) un 2.6% el tiempo empleado en realizar la primera vuelta, un 4.2% en la segunda, y un 3.4% en el tiempo total, variando de 1357.87 ± 104.85 s en T1 a 1311.12 ± 94.47 en T2.

3.4.2.2. TIEMPO DE TIRO Y DEL NÚMERO DE ACIERTOS/FALLOS

A continuación se presentan los resultados del rendimiento en tiro. Los deportistas mejoraron el tiempo empleado en el tiro tanto tumbado como de pie, pero no así el número de aciertos, como se puede comprobar en las tablas 3.11 (tiempo de tiro) y 3.12 (número de aciertos en el tiro).

Tabla 3.11. Tiempos de tiro tumbado, tiro de pie y tiempo total de tiro (sumatorio de ambos).

TIEMPO (s)	To	T1	T2	% CAMBIO		
				To-T1	T1-T2	To-T2
Tiro tumbado	64.87 ± 19.56	53.25 ± 9.57^a	49.87 ± 8.76	-17.9	-6.3	-23.1
Tiro de pie	47.25 ± 11.65	38.50 ± 6.63	37.00 ± 7.07^a	-18.5	-3.9	-21.7
Total tiro	112.12 ± 29.94	91.75 ± 14.19	86.87 ± 13.76^a	-18.2	-5.3	-22.5

Los resultados son medias ± desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto.

^a Diferencia significativa ($P < 0.05$) respecto a To. Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

Respecto al tiempo de tiro (Tabla 3.11), se observó un descenso significativo ($P < 0.05$) del 17.9% en el tiempo de tiro tumbado de To a T1, pero no así de To a T2, ni de T1 a T2.

En el tiro de pie, en cambio, no existieron diferencias significativas en las mejoras de To a T1 ni de T1 a T2, pero sí hubo una mejora significativa ($P < 0.05$) del 21,7% de To a T2.

Respecto al tiempo total empleado en el tiro, se apreció una mejora significativa ($P < 0.05$) del 22.5% de To a T2, pero no se apreciaron resultados estadísticamente significativos tras las 6 semanas de entrenamiento ni con la puesta a punto, a pesar de existir una mejora.

Como puede observar en la siguiente tabla (Tabla 3.12), no hubo diferencias estadísticamente significativas en el número de aciertos en el tiro tumbado, a pesar de que hubo una mejora con el entrenamiento (To-T1), y una disminución de la puntería tras la puesta a punto.

Sin embargo, en el tiro de pie, se encontraron mejoras significativas ($P < 0.05$) del 58% con la puesta a punto (T1-T2).

Tabla 3.12. Número de aciertos en tiro tumbado y tiro de pie, del total de 5 tiros en cada posición.

N° ACIERTOS	To	T1	T2	% CAMBIO		
				To-T1	T1-T2	To-T2
Tiro tumbado	2.13 ± 1.13	2.38 ± 0.92	1.88 ± 0.99	11.8	-21.1	-11.8
Tiro de pie	1.50 ± 1.41	1.50 ± 0.76	2.38 ± 0.92^b	0	58	58

Los resultados son medias ± desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto.

^b Diferencia significativa respecto a T1 ($P < 0.05$). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

3.4.2.3. TIEMPO TOTAL DE PRUEBA

El tiempo total de prueba es el tiempo empleado en el tiempo de carrera más el tiempo de tiro, medido en segundos (Tabla 3.13).

Tabla 3.13. Tiempo total de carrera, de tiro y tiempo total de prueba.

TIEMPO (s)	To	T1	T2	% CAMBIO		
				To-T1	T1-T2	To-T2
Carrera	1521.87 ± 140.91	1357.87 ± 104.85^{aaa}	1311.12 ± 94.47^{aaa bbb}	-10.8	-3.4	-13.8
Tiro	112.12 ± 29.24	91.75 ± 14.19	86.87 ± 13.76^a	-18.2	-5.3	-22.5
Total prueba	1634.00 ± 129.1	1449.62 ± 98.13^{aaa}	1398.00 ± 88.95^{aaa bbb}	-11.3	-3.6	-14.4

Los resultados son medias ± desviación estándar. **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto.

^a Diferencia significativa (P<0.05) respecto a To; ^{aaa} Diferencia significativa respecto a To (P<0.001); ^{bbb} Diferencia significativa respecto a T1 (P<0.001). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

Hubo una mejora significativa (P<0.001) en el tiempo total de prueba entre los tres momentos de medición, siendo de 11.3% de To-T1, de 3.6% con la puesta a punto (T1-T2), y de 14.4% de To-T2.

Lo que indica que la puesta a punto tuvo una mayor mejora en el tiempo total de prueba que en el tiempo total de carrera (3.6% vs. 3.4%, respectivamente), posiblemente por una disminución del 5.3% (ns) en el tiempo de tiro durante la puesta a punto.

3.4.2.4. SCORE

En biathlon, el score (o también llamado “tiempo final”) se considera a la suma del tiempo total de prueba (tiempo total de carrera + tiempo de tiro) más las penalizaciones (un minuto por cada tiro errado). En la siguiente tabla (Tabla 3.14) se muestra las medias y desviaciones estándar del score.

Tabla 3.14. Tiempo total de prueba, total de penalizaciones y score.

TIEMPO (s)	To	T1	T2	% CAMBIO		
				To-T1	T1-T2	To-T2
Prueba (s)	1634.00 ± 129.1	1449.62 ± 98.13^{aaa}	1398.00 ± 88.95^{aaa bbb}	-11.3	-3.6	-14.4
Penaliz (s)	382.50 ± 106.07	367.50 ± 67.56	345.00 ± 94.87	-3.9	-6.1	-9.8
SCORE (s)	2016.50 ± 78.73	1817.12 ± 130.56^{aa}	1743.00 ± 87.98^{aaa}	-9.9	-4.1	-13.6

Los valores mostrados son media ± desviación estándar. **Prueba**, tiempo total de prueba; **Penaliz**, penalizaciones; **To-T1**, periodo de entrenamiento; **T1-T2**, puesta a punto; **To-T2**, periodo de entrenamiento y puesta a punto.

^{aa} Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.01$); ^{aaa} Diferencia significativa respecto a To ($P < 0.001$); ^{bbb} Diferencia significativa respecto a T1 ($P < 0.001$). Los valores en **negrita** muestran los cambios significativos. En las columnas sombreadas se presenta el porcentaje (%) de variación observada entre las diferentes fases.

Se observaron mejoras significativas ($P < 0.001$) respecto a To, de un 9.9% de To a T1 y un 13.5% de To a T2. Sin embargo, aunque durante la puesta a punto (T1-T2) hubo una mejora del 4.1% en el score, ésta no fue estadísticamente significativa.

3.5. CORRELACIONES

Pasamos ahora a analizar las principales correlaciones obtenidas entre las variables estudiadas. En un primer apartado se exponen las correlaciones entre el tiempo total de carrera y todas las variables medidas en el estudio (apartado 3.5.1.), para posteriormente hacer lo mismo con el tiempo total de prueba y el score (apartados 3.5.2. y 3.5.3. respectivamente). Además, en el apartado 3.5.4. se presentan las correlaciones entre equilibrio ácido-base, los parámetros de daño muscular y la hemoglobina.

En la primera fila de cada tabla aparece el valor medio de la variable; como el dato original ya ha aparecido en las tablas de los anteriores apartados de resultados, no aparece la significatividad ni la desviación estándar. En el resto de las filas, se muestran los valores del coeficiente de correlación de Pearson (r), tras realizar el correspondiente análisis de correlación.

3.5.1. TIEMPO TOTAL DE CARRERA

Como se puede apreciar en la siguiente tabla, no se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre las variaciones en el peso y el tiempo total de carrera, ni tras el entrenamiento ni con la puesta a punto (Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Correlación entre el tiempo total de carrera y el peso en biathletas.

	T₀	T₁	T₂
Tiempo total carrera (s)	1521.9	1357.9	1311.1
Coefficiente de correlación de Pearson			
Peso (kg)	-0.041	-0.510	-0.350

T₀, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto.

Como se observa en la tabla 3.16, y en lo relativo a los parámetros de rendimiento, no existió ninguna relación estadísticamente significativa entre el tiempo de carrera y las mediciones de fuerza (CMJ y ABK). En cambio, se encontró una relación significativa en lo relativo al tiempo de carrera y el tiro. El tiempo total de carrera en T₀ correlacionó con el número de aciertos en el tiro de pie ($P < 0.05$), es decir, que los sujetos que más aciertos tuvieron en el tiro fueron los que más tiempo emplearon en realizar la carrera. Además, el tiempo total de carrera mostró una correlación positiva con el score en T₁, siendo los biathletas de mayor score final aquellos que, a su vez, emplearon más tiempo en la carrera ($P < 0.01$).

Tabla 3.16. Correlación entre el tiempo total de carrera y el salto en contramovimiento y Abalakov, el tiempo de tiro tumbado y de pie, el nº de aciertos tumbado y de pie, y el score en biathletas.

	T₀	T₁	T₂
Tiempo total carrera (s)	1521.9	1357.9	1311.1
Coefficiente de correlación de Pearson			
CMJ	-0.587	-0.506	-0.499
ABK	-0.413	-0.464	-0.504
Tiempo tiro tumbado (s)	-0.373	-0.627	-0.297
Tiempo tiro de pie (s)	-0.617	-0.220	-0.532
Nº Aciertos tumbado	0.296	-0.188	0.281
Nº Aciertos de pie	0.723*	-0.187	0.694
Score	0.572	0.890**	0.378

T₀, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto; **CMJ**, salto en contramovimiento; **ABK**, salto Abalakov.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

En lo relativo a las mediciones hematológicas de la serie roja, en la tabla 3.17 se puede observar cómo los biathletas con unos valores superiores de hemoglobina y hematocrito fueron los que emplearon menos tiempo en la carrera en T₀, T₁ y T₂ ($P < 0.05$ - 0.01). Además, el número de hematíes mostró una correlación negativa con el tiempo de carrera en T₁ ($P < 0.05$).

Tabla 3.17. Correlación entre el tiempo total de carrera y la serie roja en biathletas.

	T₀	T₁	T₂
Tiempo total carrera (s)	1521.9	1357.9	1311.1
Coefficiente de correlación de Pearson			
Hematíes ($10^6 \cdot \text{mm}^{-3}$)	-0.568	-0.732*	-0.661
Hemoglobina ($\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$)	-0.856**	-0.714*	-0.851**
Hematocrito (%)	-0.846**	-0.729*	-0.823*
MCV (μm^3)	-0.049	0.219	-0.138
MCH (pg)	0.041	0.187	0.029
MCHC ($\text{g} \cdot \text{dL}^{-1}$)	0.291	0.028	0.447
RDW (%)	-0.137	0.209	0.074

T₀, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto; **MCV**, volumen corpuscular medio; **MCH**, hemoglobina corpuscular media; **MCHC**, concentración de hemoglobina corpuscular media; **RDW**, ancho de distribución eritrocitario.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Respecto a la serie blanca, únicamente se observó una correlación significativa positiva ($P < 0.05$) entre el tiempo de carrera y los valores absolutos de linfocitos en T1 y en T2 (Tabla 3.18).

Tabla 3.18. Correlación entre el tiempo total de carrera y la serie blanca en biathletas.

	To	T1	T2
Tiempo total carrera (s)	1521.9	1357.9	1311.1
Coefficiente de correlación de Pearson			
Leucocitos (%)	-0.443	-0.477	-0.391
Linfocitos (%)	0.533	0.798*	0.743*
Monocitos (%)	-0.510	0.170	0.031
PME (%)	-0.232	-0.454	-0.184
Plaquetas ($10^3 \cdot \text{mm}^{-3}$)	0.129	-0.305	-0.008

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **PME**, polimorfonucleares eosinófilos.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

No se encontró ninguna relación estadísticamente significativa entre el rendimiento en carrera y los marcadores del daño muscular, ni con los parámetros relacionados con el metabolismo del hierro, como podemos comprobar en las tablas que se presentan a continuación (Tabla 3.19. y Tabla 3.20).

Tabla 3.19. Correlación entre el tiempo total de carrera y parámetros de daño muscular en biathletas.

	To	T1	T2
Tiempo total carrera (s)	1521.9	1357.9	1311.1
Coefficiente de correlación de Pearson			
Urea ($\text{mg} \cdot \text{dL}^{-1}$)	-0.618	-0.234	-0.568
Urato ($\text{mg} \cdot \text{dL}^{-1}$)	-0.382	-0.577	-0.542
Creatinina ($\text{mg} \cdot \text{dL}^{-1}$)	-0.210	0.047	-0.035
CK ($\text{UI} \cdot \text{L}^{-1}$)	-0.270	-0.155	-0.163

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **CK**, creatina kinasa.

Tabla 3.20. Correlación entre el tiempo total de carrera y los parámetros relacionados con el metabolismo del hierro en biathletas.

	T₀	T₁	T₂
Tiempo total carrera (s)	1521.9	1357.9	1311.1
Coefficiente de correlación de Pearson			
Fe ($\mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	-0.424	-0.384	-0.138
Transferrina ($\text{mg}\cdot\text{dL}^{-1}$)	0.147	-0.368	0.235
Sat Transferrina (%)	-0.422	-0.340	-0.260
Ferritina ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	-0.174	-0.116	-0.040

T₀, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto; **Fe**, hierro; **Sat Transferrina**, porcentaje de saturación de la transferrina.

En lo relativo al entorno hormonal y, como se puede observar en la tabla 3.21, tampoco se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre la testosterona (total y libre), el cortisol, ni sus ratios con el tiempo de carrera.

Tabla 3.21. Correlación entre el tiempo total de carrera y hormonas en biathletas.

	T₀	T₁	T₂
Tiempo total carrera (s)	1521.9	1357.9	1311.1
Coefficiente de correlación de Pearson			
TT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	-0.740	-0.609	-0.688
FT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	-0.716	-0.531	-0.642
Cortisol ($\mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	-0.256	-0.464	-0.418
FT/TT	-0.358	-0.073	-0.013
TT/C	-0.227	-0.664	-0.633
FT/C	-0.611	-0.508	-0.828

T₀, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto; **TT**, testosterona total; **FT**, testosterona libre; **C**, cortisol; **FT/TT**, ratio testosterona libre/testosterona total; **TT/C**, ratio testosterona total/cortisol; **FT/C**, ratio testosterona libre/cortisol.

Para finalizar el apartado, en la siguiente tabla (Tabla 3.22) se presentan las correlaciones entre el tiempo total de carrera y las variables de equilibrio ácido-base. La única correlación que hallamos en lo relativo al equilibrio ácido-base fue el de la presión parcial de oxígeno con el tiempo total de carrera en T1, comprobando que los biathletas que emplearon menos tiempo en la carrera fueron los de mayor PO₂ pre-test (P<0.05).

Tabla 3.22. Correlación entre el tiempo total de carrera y gasometría, equilibrio ácido-base y ácido láctico pre-test y post-test en biathletas.

		T0	T1	T2
Tiempo total carrera (s)		1521.9	1357.9	1311.1
Coefficiente de correlación de Pearson				
TCO₂ (mEq/l)	pre-test	-0.497	-0.620	-0.439
	post-test	-0.287	-0.313	-0.389
pH	pre-test	-0.309	-0.483	-0.384
	post-test	0.338	-0.139	-0.181
PCO₂ (mmHg)	pre-test	-0.487	-0.311	-0.427
	post-test	-0.788	-0.378	-0.326
PO₂ (mmHg)	pre-test	-0.675	-0.834*	0.712
	post-test	0.258	0.120	-0.346
HCO₃⁻ (mEq/l)	pre-test	-0.450	-0.576	-0.439
	post-test	-0.287	-0.201	-0.389
BE (mEq/l)	pre-test	-0.503	-0.739	-0.479
	post-test	-0.071	-0.230	-0.277
SO₂ (%)	pre-test	-0.725	0.311	0.687
	post-test	0.420	0.206	-0.361
[La] (mmol·L⁻¹)	pre-test	0.030	0.125	-0.219
	post-test	-0.449	0.506	0.036

T0, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **TCO₂**, CO₂ total; **PCO₂**, presión parcial de CO₂; **PO₂**, presión parcial de oxígeno; **HCO₃⁻**, bicarbonato; **BE**, exceso de base; **SO₂**, saturación de oxígeno; **[La]** concentración de ácido láctico.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

3.5.2. TIEMPO TOTAL DE PRUEBA

Al igual que lo realizado con el tiempo total de carrera, a continuación se presentan las tablas con las diferentes correlaciones entre el tiempo total de prueba (tiempo de carrera + tiempo de tiro) y los diferentes parámetros analizados en el estudio.

Como se observa en la tabla 3.23, no se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre el tiempo total de prueba y el peso en T₀, T₁ y T₂ en los biathletas.

Tabla 3.23. Correlación entre el tiempo total de prueba y el peso y la altura del salto en biathletas.

	T₀	T₁	T₂
Tiempo total prueba (s)	1634.0	1449.6	1398.0
Coefficiente de correlación de Pearson			
Peso (kg)	-0.025	-0.037	-0.004

T₀, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto.

En relación a los parámetros de rendimiento, y como se expone en la tabla de la siguiente página (Tabla 3.24), no existieron relaciones estadísticamente significativas entre el tiempo total de prueba y el salto vertical. En cambio, y al igual que lo ocurrido con el tiempo total de carrera, se encontraron relaciones positivas ($P < 0.05-0.01$) entre el tiempo total de prueba y el número de aciertos en el tiro de pie en la medición inicial (T₀), y entre el tiempo total de prueba y el score en T₁.

Tabla 3.24. Correlación entre el tiempo total de prueba y el salto en contramovimiento y Abalakov, el tiempo de tiro tumbado y de pie, el nº de aciertos tumbado y de pie, y el score en biathletas.

	To	T1	T2
Tiempo total prueba (s)	1634.0	1449.6	1398.0
Coefficiente de correlación de Pearson			
CMJ	-0.549	-0.455	-0.400
ABK	-0.368	-0.391	-0.401
Tiempo tiro tumbado (s)	-0.181	-0.538	-0.177
Tiempo tiro de pie (s)	-0.458	-0.117	-0.436
Nº Aciertos tumbado	0.228	-0.156	0.285
Nº Aciertos de pie	0.810*	-0.132	0.629
Score	0.571	0.863**	0.425

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **CMJ**, salto en contramovimiento; **ABK**, salto Abalakov.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

En las correlaciones con la serie roja se continúa la misma tendencia de lo observado en el tiempo total de carrera. El tiempo total de prueba mostró una correlación estadísticamente significativa ($P < 0.05$) en To, T1 y T2 con los valores de hemoglobina y hematocrito y, además, el número de hematíes mostró una correlación con el tiempo total de prueba en T1 ($P < 0.05$). Los resultados se presentan en la siguiente tabla (Tabla 3.25).

Tabla 3.25. Correlaciones entre el tiempo total de prueba y la serie roja en biathletas.

	To	T1	T2
Tiempo total prueba (s)	1634.0	1449.6	1398.0
Coefficiente de correlación de Pearson			
Hematíes (10^6mm^{-3})	-0.548	-0.716*	-0.587
Hemoglobina (gdL^{-1})	-0.812*	-0.748*	-0.822*
Hematocrito (%)	-0.797*	-0.750*	-0.804*
MCV (μm^3)	-0.029	0.154	-0.265
MCH (pg)	0.060	0.120	-0.083
MCHC (gdL^{-1})	0.285	-0.010	0.485
RDW (%)	-0.253	0.160	0.060

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **MCV**, volumen corpuscular medio; **MCH**, hemoglobina corpuscular media; **MCHC**, concentración de hemoglobina corpuscular media; **RDW**, ancho de distribución eritrocitaria.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

Los biathletas que menos tiempo emplearon en realizar la competición simulada de biathlon en el test pre puesta a punto (T1), también fueron los que tuvieron un menor porcentaje de linfocitos ($P < 0.05$), como se puede observar en la tabla 3.26.

Tabla 3.26. Correlación entre el tiempo total de prueba y la serie blanca en biathletas.

	To	T1	T2
Tiempo total prueba (s)	1634.0	1449.6	1398.0
Coefficiente de correlación de Pearson			
Leucocitos (%)	-0.480	-0.483	-0.338
Linfocitos (%)	0.578	0.809*	0.692
Monocitos (%)	-0.476	0.195	0.032
PME (%)	-0.475	-0.493	-0.151
Plaquetas ($10^3 \cdot \text{mm}^{-3}$)	0.107	-0.297	0.026

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **PME**, polimorfonucleares eosinófilos.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

En el resto de los parámetros analizados, no se encontró ninguna correlación estadísticamente significativa entre el tiempo total de prueba y los parámetros relacionados con el daño muscular, los parámetros relativos al metabolismo del hierro, las hormonas, la gasometría, el equilibrio ácido-base y el ácido láctico. No obstante, se adjuntan los datos obtenidos en las siguientes tablas (Tabla 3.27; Tabla 3.28; Tabla 3.29 y Tabla 3.30, respectivamente).

Tabla 3.27. Correlación entre el tiempo total de prueba y los parámetros de daño muscular en biathletas.

	To	T1	T2
Tiempo total prueba (s)	1634.0	1449.6	1398.0
Coefficiente de correlación de Pearson			
Urea (mg·dL⁻¹)	-0.650	-0.198	-0.628
Urato (mg·dL⁻¹)	-0.342	-0.551	-0.444
Creatinina (mg·dL⁻¹)	0.096	0.078	0.067
CK (UI·L⁻¹)	-0.362	-0.126	-0.155

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **CK**; creatina kinasa.

Tabla 3.28. Correlación entre el tiempo total de prueba y los parámetros relacionados con el metabolismo del hierro en biathletas.

	To	T1	T2
Tiempo total prueba (s)	1634.0	1449.6	1398.0
Coefficiente de correlación de Pearson			
Fe (µg·dL⁻¹)	-0.337	-0.336	-0.117
Transferrina (mg·dL⁻¹)	0.189	-0.342	0.179
Sat Transferrina (%)	-0.346	-0.312	-0.210
Ferritina (µg·L⁻¹)	-0.105	-0.069	-0.008

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **Fe**, hierro; **Sat Transferrina**, porcentaje de saturación de la transferrina.

Tabla 3.29. Correlación entre el tiempo total de prueba y las hormonas en biathletas.

	T₀	T₁	T₂
Tiempo total prueba (s)	1634.0	1449.6	1398.0
Coefficiente de correlación de Pearson			
TT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	-0.508	-0.603	-0.637
FT ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	-0.613	-0.602	-0.632
Cortisol ($\mu\text{g}\cdot\text{dL}^{-1}$)	0.671	-0.248	-0.732
FT/TT	-0.558	-0.436	-0.499
TT/C	-0.600	-0.550	-0.580
FT/C	-0.656	-0.575	-0.596

T₀, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto; **TT**, testosterona total; **FT**, testosterona libre; **C**, cortisol; **FT/TT**, ratio testosterona libre/testosterona total; **TT/C**, ratio testosterona total/cortisol; **FT/C**, ratio testosterona libre/cortisol.

Tabla 3.30. Correlación entre el tiempo total de prueba y gasometría, equilibrio ácido-base y ácido láctico pre-test y post-test en biathletas.

		T₀	T₁	T₂
Tiempo total prueba (s)		1634.0	1449.6	1398.0
Coefficiente de correlación de Pearson				
TCO₂ (mEq/l)	pre-test	-0.415	-0.577	-0.397
	post-test	-0.240	-0.222	-0.426
pH	pre-test	-0.316	-0.538	-0.326
	post-test	0.383	-0.054	-0.146
PCO₂ (mmHg)	pre-test	-0.390	-0.216	-0.400
	post-test	-0.767	-0.303	-0.419
PO₂ (mmHg)	pre-test	-0.535	-0.740	0.722
	post-test	0.250	0.099	-0.373
HCO₃⁻ (mEq/l)	pre-test	-0.373	-0.517	-0.397
	post-test	-0.240	-0.111	-0.426
BE (mEq/l)	pre-test	-0.439	-0.679	-0.432
	post-test	-0.024	-0.136	-0.299
SO₂ (%)	pre-test	-0.651	0.254	0.701
	post-test	0.428	0.269	-0.404
[La] (mmol·L⁻¹)	pre-test	-0.143	0.096	-0.316
	post-test	-0.576	0.470	0.051

T₀, test inicial; **T₁**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T₂**, test tras la semana de puesta a punto; **TCO₂**, CO₂ total; **PCO₂**, presión parcial de CO₂; **PO₂**, presión parcial de oxígeno; **HCO₃⁻**, bicarbonato; **BE**, exceso de base; **SO₂**, saturación de oxígeno; **[La]** concentración de ácido láctico.

3.5.3. SCORE

El score es el resultado de sumar las penalizaciones por cada tiro fallido al tiempo total de prueba. Se recuerda que, para el presente estudio, cada fallo en el tiro se penalizó con 60 segundos de tiempo adicional a sumar al tiempo total de prueba, al igual que se hace en las competiciones oficiales de sprint. Como dicho tiempo adicional fue añadido una vez finalizada la prueba y no implicó un mayor esfuerzo físico de los biathletas, no se ha considerado oportuno analizar las relaciones entre el score y las variables fisiológicas. No obstante presentaremos las relativas al número de aciertos y tiempo de tiro, pues consideramos que esos valores podrían tener una influencia directa en el score final.

Así, encontramos una correlación estadísticamente significativa ($P < 0.05$) entre el tiempo de tiro tumbado y el score en el test pre-puesta a punto (T1), es decir, los biathletas que tuvieron un menor score fueron los que emplearon más tiempo en realizar el tiro tumbado.

Tabla 3.31. Correlación entre el score y el tiempo de tiro y nº de aciertos en biathletas.

	To	T1	T2
Score (s)	2016.5	1817.1	1743.0
Coefficiente de correlación de Pearson			
Tiempo tiro tumbado (s)	-0.106	-0.721*	0.008
Tiempo tiro de pie (s)	-0.412	-0.261	0.290
Nº Aciertos tumbado	-0.436	-0.502	-0.621
Nº Aciertos de pie	0.289	-0.403	-0.241

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

3.5.4. EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE, DAÑO MUSCULAR Y HEMOGLOBINA

A continuación se presentan las correlaciones entre las variables de equilibrio ácido-base y las variables hematológicas tanto de daño muscular (urea, urato, creatinina, CK), como de sistemas amortiguadores (hemoglobina). Es sabido que la hemoglobina es un potente sistema buffer extracelular del organismo (López y Fernández, 2008; Wilmore y Costill, 2004), y ese es el motivo de observar las posibles relaciones significativas con los parámetros de equilibrio ácido-base.

En la siguiente página, en la tabla 3.32 se exponen los resultados de las correlaciones entre el pH y los parámetros de daño muscular, la hemoglobina, y el resto de los parámetros del equilibrio ácido-base, tanto en reposo (pre-test), como tras la realización de la competición simulada de biathlon (post-test) al inicio del estudio (T₀), tras las 6 semanas de entrenamiento (T₁), y tras los 6 días de puesta a punto de alta frecuencia (T₂).

Tabla 3.32. Correlación entre el pH y los parámetros de daño muscular, hemoglobina, equilibrio ácido-base y ácido láctico pre-test y post-test en biathletas.

	PRE-TEST			POST-TEST		
	To	T1	T2	To	T1	T2
pH	7.42	7.43	7.41	7.29	7.25	7.19
Coefficiente de correlación de Pearson						
Urea	0.204	-0.043	0.245	-0.039	0.951**	0.324
Urato	0.544	0.461	0.284	0.339	0.544	-0.105
Creatinina	0.075	-0.648	0.362	0.561	-0.518	0.107
CK	0.542	-0.414	-0.178	0.278	0.271	-0.223
Hb	0.502	0.702	0.490	-0.188	0.291	0.215
PCO ₂ pre-test	0.450	-0.217	0.286	0.176	0.379	0.488
PCO ₂ post-test	0.493	0.172	-0.265	-0.074	0.571	-0.169
HCO ₃ ⁻ pre-test	0.756*	0.425	0.668	0.218	0.508	0.637
HCO ₃ ⁻ post-test	0.552	0.149	0.329	0.692	0.876*	0.712
BE pre-test	0.797*	0.443	0.744*	0.255	0.459	0.713
BE post-test	0.479	0.151	0.346	0.850*	0.945**	0.853*
[La] pre-test	-0.022	0.121	-0.626	-0.281	-0.134	-0.308
[La] post-test	-0.025	-0.560	0.163	-0.844*	-0.575	-0.434

To, test inicial; T1, test tras las 6 semanas de entrenamiento; T2, test tras la semana de puesta a punto; CK, creatina kinasa; Hb, hemoglobina; PCO₂, presión parcial de CO₂; HCO₃⁻, bicarbonato; BE, exceso de base; [La] concentración de ácido láctico.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

En lo relativo a las mediciones antes de la competición simulada de biathlon (pre-test), y como se observa en la tabla 3.32, existió una relación estadísticamente significativa entre los valores de pH y el bicarbonato y el exceso de base en To ($P < 0.05$), y únicamente se mantuvo esa relación con el exceso de base en T2 ($P < 0.05$).

En las mediciones realizadas tras finalizar la competición simulada de biathlon (post-test), se encontró una relación negativa estadísticamente significativa ($P < 0.05$) del pH con la concentración pico de lactato en To, y una positiva con el exceso de base ($P < 0.05$). En T1, se observó una relación estadísticamente significativa entre pH y los valores de urea ($P < 0.01$), bicarbonato post-test ($P < 0.05$) y exceso de base post-test

($P < 0.01$). Al igual que en los valores pre-test, la única relación estadísticamente significativa en T2 con el pH fue la del exceso de base ($P < 0.05$).

En la tabla 3.33 se presentan las relaciones entre los valores de bicarbonato y los parámetros relacionados con el daño muscular, la hemoglobina, el equilibrio ácido-base y el ácido láctico.

Tabla 3.33. Correlación entre el bicarbonato y los parámetros de daño muscular, hemoglobina, equilibrio ácido-base y ácido láctico pre-test y post-test en biathletas.

	PRE-TEST			POST-TEST		
	To	T1	T2	To	T1	T2
HCO_3^-	25.57	26.75	27.13	15.00	12.83	10.50
Coefficiente de correlación de Pearson						
Urea	-0.007	0.332	0.477	0.017	0.907*	0.600
Urato	0.941**	0.379	0.326	0.807	0.368	-0.218
Creatinina	0.509	0.045	0.654	0.292	-0.163	-0.219
CK	0.187	-0.104	0.506	0.200	0.493	0.127
Hb	0.801*	0.207	0.772*	0.382	0.169	0.403
PCO_2 pre-test	0.920**	0.781*	0.896**	0.648	0.582	0.601
PCO_2 post-test	0.679	0.809	0.145	0.666	0.883*	0.564
BE pre-test	0.990**	0.722	0.977**	0.690	0.632	0.646
BE post-test	0.563	0.980**	0.625	0.967**	0.981**	0.967**
[La] pre-test	-0.360	-0.039	-0.070	-0.646	-0.506	0.273
[La] post-test	-0.063	-0.670	0.258	-0.386	-0.753	-0.187

To, test inicial; T1, test tras las 6 semanas de entrenamiento; T2, test tras la semana de puesta a punto; HCO_3^- , bicarbonato; CK, creatina kinasa; Hb, hemoglobina; PCO_2 , presión parcial de CO_2 ; BE, exceso de base; [La] concentración de ácido láctico.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

Como se puede observar en la tabla 3.33, en las mediciones pre-test, el bicarbonato mostró una relación con el urato ($P < 0.01$), la hemoglobina ($P < 0.05$), el PCO_2 pre-test ($P < 0.01$) y el exceso de base pre-test ($P < 0.01$) en To, con la PCO_2 pre-test ($P < 0.05$) y exceso de base post-test ($P < 0.01$) en T1, y con la hemoglobina ($P < 0.05$), PCO_2 pre-test ($P < 0.01$) y el exceso de base pre-test ($P < 0.01$) en T2.

En las mediciones post test del bicarbonato, se observó una relación estadísticamente significativa ($P<0.01$) entre el exceso de base post-test y el bicarbonato en T₀, de la urea ($P<0.05$), PCO₂ post-test ($P<0.05$) y exceso de base post-test ($P<0.01$) en T₁, y únicamente exceso de base post-test y bicarbonato ($P<0.01$) en T₂.

Por último, en la siguiente tabla (Tabla 3.34) se muestran las relaciones entre el exceso de base y los parámetros de daño muscular, la hemoglobina, el equilibrio ácido-base y el ácido láctico. Respecto a los valores pre-test, se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre el exceso de base y el urato ($P<0.01$), y la hemoglobina ($P<0.05$) en T₀, mientras que la PCO₂ pre-test mostró relaciones estadísticamente significativas ($P<0.05-0.01$) con el exceso de base en los tres momentos de medición basal, T₀, T₁ y T₂.

En las mediciones post-test únicamente se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre el exceso de base y urea ($P<0.01$), la hemoglobina ($P<0.05$) y la PCO₂ post-test ($P<0.05$) en T₁.

Tabla 3.34. Correlación entre el exceso de base y los parámetros de daño muscular, hemoglobina, equilibrio ácido-base y ácido láctico pre-test y post-test en biathletas.

	PRE-TEST			POST-TEST		
	To	T1	T2	To	T1	T2
BE	1.14	2.71	2.42	-11.60	-14.50	-17.50
Coefficiente de correlación de Pearson						
Urea	0.105	0.579	0.523	-0.041	0.954**	0.534
Urato	0.903**	0.362	0.281	0.709	0.488	-0.271
Creatinina	0.483	0.128	0.603	0.398	-0.265	-0.163
CK	0.304	0.169	0.408	0.223	0.419	0.020
Hb	0.821*	0.204	0.348	0.218	0.781*	0.297
PCO₂ pre-test	0.896**	0.781*	0.844**	0.538	0.574	0.581
PCO₂ post-test	0.677	0.728	0.043	0.454	0.804*	0.360
[La] pre-test	-0.285	-0.097	-0.135	-0.561	-0.351	0.140
[La] post-test	-0.059	-0.637	0.096	-0.556	-0.698	-0.335

To, test inicial; **T1**, test tras las 6 semanas de entrenamiento; **T2**, test tras la semana de puesta a punto; **BE**, exceso de base; **CK**, creatina kinasa; **Hb**, hemoglobina; **PCO₂**, presión parcial de CO₂; **[La]** concentración de ácido láctico.

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

** La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

4. DISCUSIÓN

En el presente estudio se analizaron los efectos de las 6 semanas de entrenamiento previas a la puesta a punto, así como los efectos de una puesta a punto de alta frecuencia (PAF) sobre las características antropométricas, las variables hematológicas, hormonales, de gasometría, equilibrio ácido-base, ácido láctico y de rendimiento en biathletas.

En él se observan cambios significativos **durante las 6 semanas de entrenamiento** en las características físicas (peso), en las variables hematológicas de la serie roja (hemoglobina corpuscular media y ancho de distribución eritrocitario) en la serie blanca y plaquetar (leucocitos, linfocitos y plaquetas), en los parámetros de daño muscular (urea y urato), en los parámetros relacionados con el metabolismo del hierro (hierro, transferrina, porcentaje de saturación de la transferrina y ferritina), hormonales (cortisol, ratio testosterona total/cortisol y ratio testosterona libre/cortisol), en el análisis gasométrico y el equilibrio ácido-base (CO_2 total post-test, presión parcial de oxígeno pre-test, bicarbonato pre-test, exceso de base post-test y porcentaje de saturación de oxígeno pre-test), en el ácido láctico (tanto en reposo como en la concentración pico de lactato post-test) y en el rendimiento (tiempo total de carrera, tiempo en el tiro tumbado, tiempo total de prueba y score).

En cuanto a **la puesta a punto**, la PAF obtuvo cambios significativos en la serie roja (hemoglobina), en las variables relacionadas con el daño muscular (urato y CK), en las hormonas (testosterona total, ratio testosterona libre/testosterona total y ratio testosterona total/cortisol), en la gasometría y el equilibrio ácido-base (pH post-test y exceso de base post-test), en el ácido láctico (concentración de ácido láctico pre-test), y en el rendimiento (tiempo total de carrera, número de aciertos en el tiro de pie y tiempo total de prueba). Además los parámetros de rendimiento correlacionaron significativamente con parámetros hematológicos y de gasometría y equilibrio ácido-base a lo largo del estudio.

En lo referente a las **características físicas**, los resultados muestran una disminución significativa del peso de los deportistas de un 3.1% durante las 6 semanas de entrenamiento (T₀-T₁), y también de un 2,4% tras el entrenamiento y la puesta a punto (T₀-T₂), no encontrándose cambios significativos durante la puesta a punto (T₁-T₂), donde el peso de los atletas aumentó un 0.8%. Este aumento (ns) de T₁ a T₂ pudo ser debido a que 7 días de puesta a punto no fueran suficientes para observar cambios significativos en el peso, y concuerda con el estudio de Izquierdo et al. (2007) en el que se observó que, a pesar de que hubo un descenso del 1.4% del peso tras 16 semanas de entrenamiento, no existieron cambios significativos tras 4 semanas de puesta a punto. En el caso de nuestros biathletas, el mayor porcentaje de pérdida de peso tras las 6 semanas de entrenamiento pudo deberse a que los deportistas iniciaban en ese momento la temporada, y a que durante las dos semanas previas de descanso no hicieran ni ejercicio, ni prestaran atención a su alimentación.

En la **hematología** de la *serie roja*, a lo largo de las 7 semanas de duración del estudio (T₀-T₂), se observaron aumentos significativos en el número de hematíes, hemoglobina, hematocrito, hemoglobina corpuscular media, concentración de hemoglobina corpuscular media y ancho de distribución eritrocitario. Durante las 6 semanas de entrenamiento (T₀-T₁), se encontraron aumentos significativos del 2.9% en el ancho de distribución eritrocitaria, lo que indica un aumento de la eritropoyesis, y del 1.1% en la hemoglobina corpuscular media. En cambio, con la puesta a punto, el único cambio significativo apreciado fue el de la hemoglobina, con un aumento significativo del 4.2%. No parece clara la evolución de las variables de la serie roja durante los periodos de entrenamiento y puesta a punto. Algunos autores han encontrado aumentos tras 12 semanas de entrenamiento, disminuyendo después durante la puesta a punto (Mujika et al., 1997; Mujika et al., 2002), mientras que otros han encontrado todo lo contrario, una disminución tras 7 semanas de entrenamiento y aumento con la puesta a punto (Santhiago et al., 2009; Yamamoto et al., 1988).

Una de las posibles causas del aumento de los niveles de hemoglobina pudiera ser el entrenamiento en altitud (Heinicke et al., 2005), produciéndose adaptaciones por encima de los 1500m. Sin embargo, hay otros autores que no están de acuerdo en responsabilizar los aumentos de las variables de la serie roja a la estancia o al entrenamiento en altura (Gore y Hahn, 2005). En nuestro caso, el estudio se realizó a una altitud moderada (2026 m), por lo que según Heinicke dicha altura podría haber tenido alguna influencia sobre la eritropoyesis. No obstante, la acidosis producida por el ejercicio intenso durante la puesta a punto podría también explicar, en parte, el aumento de los valores de hemoglobina como sistema buffer extracelular del organismo (López y Fernández, 2008; Wilmore y Costill, 2004). Este hecho se confirmó en los biathletas, donde la hemoglobina mostró correlaciones positivas con el bicarbonato y el exceso de base pre-test en T₀ ($r=0.801$ y $r=0.821$, respectivamente), con el bicarbonato pre-test en T₂ ($r=0.772$), y con el exceso de base post-test en T₁ ($r=0.781$). Los sujetos que mostraron más acidez muscular fueron a su vez los que tuvieron mayores niveles de buffers extracelulares. Con todo, los valores de hemoglobina y hematocrito de los deportistas del presente estudio están dentro del rango legal establecido por la Federación Internacional de Biathlon (Manfredini et al. 1999).

El hematocrito se ha descrito como el porcentaje de ocupación de los glóbulos rojos en un volumen de sangre. Por tanto, para los deportistas de resistencia, el número de glóbulos rojos en sangre va a ser muy importante de cara al rendimiento. El contenido de hematíes en la sangre se describe como el balance entre la producción de glóbulos rojos (eritropoyesis) y la destrucción de los mismos (hemólisis), lo que sugiere que un mayor número de glóbulos rojos en la sangre generará una mayor capacidad de transporte de oxígeno para los músculos (Mujika et al., 2004; Mujika, 2009). En el presente estudio, se vio un aumento del 3.4% (ns) del hematocrito durante la puesta a punto. Similares resultados fueron observados por Shepley et al. (1992), en el que el volumen total de sangre aumentaba significativamente tras una puesta a punto de 7 días con entrenamiento de alta intensidad y bajo volumen (grupo HIT), mientras no variaba con la puesta a punto de baja intensidad y volumen moderado (grupo LIT). El hematocrito

también aumentó durante la puesta a punto en un 2.5% en el grupo HIT, de 42.8 ± 0.2 a $43.9 \pm 0.2\%$, pero dicho aumento tampoco fue significativo. Aún así, los autores atribuyeron parte del 22% de mejora de rendimiento en un test de carrera hasta el agotamiento al incremento del volumen sanguíneo y de glóbulos rojos.

Por otro lado, la puesta a punto provocó un descenso en el ancho de distribución eritrocitario (de 13.0 ± 0.6 a $12.9 \pm 0.5 \%$), aunque este descenso no fue significativo como en el caso del estudio de Mujika et al. (1997). El descenso del ancho de distribución eritrocitario es considerado como una adaptación positiva al entrenamiento, dado que altos valores del ancho de distribución eritrocitario se han asociado con un descenso de la deformabilidad, de la resistencia osmótica y un aumento de la fragmentación mecánica de los eritrocitos (Kaiser et al. 1989).

Por tanto, y en lo que a la serie roja se refiere, parece que se pueden considerar los aumentos en los glóbulos rojos, el hematocrito y la hemoglobina como marcadores hematológicos de las mejoras provocadas por la puesta a punto (Mujika, 2009). Los aumentos que se observaron en los valores absolutos de hematíes y del hematocrito en los biatletas, durante el periodo que duró el estudio, fueron indicadores de un aumento en la capacidad de transporte de oxígeno a los músculos y células del organismo y, por tanto, un aumento de las posibilidades de mejorar el rendimiento.

Continuando con los resultados en la hematología, y en relación a la *serie blanca*, tras las seis semanas de entrenamiento se apreciaron descensos significativos del porcentaje de leucocitos y aumentos significativos en el porcentaje de linfocitos. En cambio, durante los siete días de puesta a punto, no se observaron cambios significativos en ninguna de las variables de la serie blanca analizadas. Tampoco encontraron variaciones Coutts et al. (2007b) en triatletas tras 4 semanas de entrenamiento intenso y 2 semanas de puesta a punto. En cambio, Kajjura et al. (1995) en su estudio para analizar las respuestas inmunológicas a los cambios en intensidad y volumen del entrenamiento en fondistas, observaron un descenso pasajero del porcentaje de los linfocitos, y dicho cambio fue más sensible a las variaciones en la intensidad del entrenamiento que a las del

volumen. En el presente estudio también hubo un descenso del 3.1% en los valores de los linfocitos tras la puesta a punto, pero dicho cambio no fue significativo.

En la línea de lo observado Mujika et al. (1996a) analizaron los efectos de 12 semanas de entrenamiento y 4 de puesta a punto en 8 nadadores. Los autores compararon los resultados entre los que tuvieron una mejora del rendimiento superior al 2% y los nadadores que tras todo el periodo mejoraron menos del 2%. No encontraron cambios significativos en los leucocitos, pero sí un aumento de los linfocitos tras la puesta a punto que correlacionó con la reducción del volumen de entrenamiento durante ese periodo ($r=0.860$). Los autores concluyen que como los nadadores realizaron 10 semanas de entrenamiento previas a las 12 del estudio, quizás los cambios provocados con el entrenamiento en la serie blanca pudieron darse durante esas semanas previas de entrenamiento. Además, Mujika (2009), señala que la investigación sobre los efectos de la puesta a punto en la función inmune de los deportistas no ha sido muy estudiada; aún así, pequeños cambios en las células de la serie blanca parecen no ser marcadores significativos del estado inmunológico de los sujetos.

El recuento de plaquetas en los biathletas mostró un descenso significativo del 14.8% durante las seis semanas de entrenamiento. Se ha demostrado que el entrenamiento físico provoca una disminución del número de plaquetas, así como una disminución de la extensión o amplitud de la distribución plaquetaria, lo que es indicativo de una población homogénea de trombocitos menores y menos activos, probablemente debido a que los trombocitos más grandes, que son más activos en el proceso de coagulación, han sido eliminados de la circulación. Se requieren más estudios para clarificar la trascendencia clínica de estas modificaciones (López y Fernández, 2001).

En lo relativo al análisis de los *parámetros de daño muscular*, se observó una disminución significativa de los valores de urea durante las 6 semanas de entrenamiento (T₀-T₁) y durante las 7 semanas del estudio (T₀-T₂), no encontrando variaciones significativas con la puesta a punto (T₁-T₂). El urato fue la única variable que mostró cambios estadísticamente significativos a lo largo de todo el proceso, disminuyendo con

el entrenamiento y aumentando durante la puesta a punto. Por su parte, los valores de creatina kinasa mostraron un aumento (ns) tras el entrenamiento para revertir su tendencia durante la puesta a punto, mostrando una disminución significativa del 30.1% en el periodo T1-T2.

La puesta a punto provocó un aumento del 32.2% en los valores de urato. La mayoría de los estudios coinciden en señalar al urato como un gran marcador del estrés oxidativo (Finaud et al., 2006a; Hellsten et al., 1997; Hellsten et al., 2001; Svensson et al., 2002). Las células continuamente producen radicales libres o especies reactivas de oxígeno (ROS) como parte de los procesos metabólicos habituales (Urso y Clarkson, 2003), y dichos radicales libres pueden causar daños celulares. El ejercicio vigoroso puede acelerar la producción de ROS y, en la lucha contra los radicales libres existen sistemas de protección que tratan de establecer un equilibrio. Cuando el equilibrio se descompensa a favor de las especies reactivas de oxígeno se crea una situación de estrés oxidativo cuyas causas pueden ser el incremento en la producción de radicales libres y/o a la disminución de los niveles de antioxidante del organismo (Nikolaidis et al., 2008). El urato está considerado como un sistema de defensa antioxidante, ayudando a proteger los eritrocitos, las membranas celulares, el ácido hialurónico y el DNA de la oxidación por parte de los radicales libres (Finaud et al., 2006b). Parece que el ejercicio físico intenso aumenta su concentración y dicho aumento, tanto en plasma como en el músculo, se traduce en un aumento de la capacidad antioxidante del organismo, pero todavía se requieren más estudios que se centren únicamente en esta variable. Aunque las respuestas a algunos de los sistemas de defensa antioxidante con el ejercicio han sido ampliamente analizadas en laboratorio, no se encuentran demasiados estudios sobre las variaciones del urato con el entrenamiento y la puesta a punto.

Algunos autores sugieren que los cambios en los valores de urato son más susceptibles a la intensidad del entrenamiento que al volumen de la carga. Así Green y Fraser (1988) observaron que el ejercicio submáximo no provocaba variaciones significativas en los valores de urato, mientras que el ejercicio máximo generó aumentos

significativos de la variable. En la misma línea de los anteriores, Bergholm et al. (1999) observaron una disminución significativa en los valores de urato tras tres meses de entrenamiento de carrera al 70% del VO_2max . En cambio, Mujika et al. (2000c) en su estudio con atletas, encontraron un leve aumento (ns) de los valores de urato tras una puesta a punto de 7 días que redujo el volumen de entrenamiento hasta un 75%, y Child et al. (2000), en su estudio con fondistas, encontraron valores elevados en los dos grupos estudiados, tanto en el que realizó puesta a punto como en el que continuó con el entrenamiento normal, si bien el grupo que realizó la puesta a punto fue el que mostró valores más altos de urato.

Los resultados de nuestro estudio con biathletas, donde los valores de urato disminuyeron significativamente un 38.4% durante el entrenamiento y aumentaron un 32.2% tras la puesta a punto, sugieren un descenso de la capacidad antioxidante provocado por el cansancio generado durante las 6 semanas de entrenamiento y una importante recuperación de dicha capacidad con la puesta a punto, como confirman las correlaciones halladas entre el equilibrio ácido base y los parámetros de daño muscular. La urea mostró una relación significativa positiva con los valores de pH, bicarbonato y exceso de base post-test en T1 ($r=0.951$, $r=0.907$ y $r=0.954$, respectivamente), y los valores de urato correlacionaron con el bicarbonato y el exceso de base pre-test en T0 ($r=0.941$ y $r=0.903$, respectivamente), lo que sugiere una posible relación entre acidosis metabólica y daño muscular.

La creatina kinasa es una enzima importante en la producción de energía muscular que generalmente está retenida dentro de las células musculares. La presencia de valores elevados de CK en la sangre sugiere que las membranas de las células musculares han sufrido algún tipo de daño, permitiendo que la creatina kinasa escape de dichas células. Tras un entrenamiento intenso, la concentración de CK en sangre aumenta considerablemente, sugiriendo que han aumentado los niveles de daño muscular (Mujika 2009), pero dichos niveles de creatina kinasa en sangre normalmente disminuyen en atletas bien entrenados como respuesta a la reducción de la carga de entrenamiento

durante la puesta a punto (Child et al., 2000; Houmard et al., 1990a; Yamamoto et al., 1988).

El descenso significativo de los niveles de creatina kinasa con la puesta a punto observados en el presente estudio con los biathletas, está en la línea de lo observado en estudios precedentes. Así Child et al. (2000) observaron como los valores de CK descendieron tras 7 días de puesta a punto de 115 ± 44 a 108 ± 24 UI·L⁻¹ provocado por un descenso del volumen de entrenamiento del 85% en un grupo de atletas de media maratón, mientras que en el otro grupo de fondistas que participó en el estudio y no realizó la puesta a punto, tuvo un aumento de 90 ± 32 a 106 ± 32 UI·L⁻¹. A pesar de los cambios observados, no hubo una mejora del rendimiento en ninguno de los grupos. También Houmard et al. (1990a) observaron descensos significativos de la creatina kinasa durante 3 semanas de entrenamiento reducido en volumen (70%) y frecuencia (17%) en corredores respecto a los valores de dichos sujetos en las 4 semanas previas de entrenamiento normal. Dichos autores también sugieren que la creatina kinasa es un buen indicador del estrés producido por el entrenamiento. Por su parte, Coutts et al. (2007b) estudiaron los efectos de 4 semanas de sobre entrenamiento y 2 semanas de puesta a punto en triatletas, en un intento de hallar algunos marcadores que pudiesen detectar el sobreentrenamiento. Un grupo realizó en entrenamiento intenso, y otro continuó con un entrenamiento normal. Los resultados mostraron que tras las semanas de entrenamiento intenso hubo un aumento significativo de los valores de CK en ambos grupos que posteriormente descendieron con la puesta a punto, pero dichos resultados no fueron significativos.

En cambio, el entrenamiento continuo de baja intensidad con una reducción del volumen de entrenamiento del 75% realizado durante una puesta a punto de 7 días con corredores realizado por Mujika et al. (2000c) no mostró cambios significativos en los valores de la creatina kinasa, pero sí hubo una correlación entre el entrenamiento continuo de baja intensidad y los valores de la creatina kinasa ($r= 0.720$). Los autores indican que los niveles de CK son más sensibles al volumen que a la intensidad de

entrenamiento, por lo que sugieren que para limitar el daño muscular producido por el entrenamiento, se debería reducir el volumen de entrenamiento continuo durante la puesta a punto.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el aumento (ns) de CK durante las seis semanas de entrenamiento (To-T1) y el descenso estadísticamente significativo tras la puesta a punto del presente estudio (T1-T2) podría indicar, la correcta asimilación del entrenamiento al existir un aumento del daño muscular de To a T1, y la consiguiente recuperación muscular producida por la reducción del volumen de entrenamiento con la puesta a punto.

En la literatura, muchos autores señalan que los valores de creatina kinasa en sangre pueden ser de gran interés de cara a asegurar la recuperación del estrés del entrenamiento y del daño muscular durante la puesta a punto, pero la validez de este parámetro como marcador de la capacidad de rendimiento individual parece limitada (Mujika 2009).

No existen demasiados estudios que se centren en el análisis de las variaciones de los *parámetros relacionados con el metabolismo del hierro*, y entre los que se han publicado, los resultados no son muy concluyentes. En el estudio con biathletas observamos incrementos significativos en los valores de transferrina y ferritina, y descensos, también significativos, en los valores de hierro y porcentaje de saturación de la transferrina durante las 6 semanas de entrenamiento. La puesta a punto no mostró cambios significativos, si bien se observó una tendencia al aumento en las cuatro variables analizadas. En línea con lo observado sobre los valores del hierro, Mujika et al. (1997) no encontraron variaciones significativas en los valores de hierro y ferritina tras 12 semanas de entrenamiento y 4 de puesta a punto en nadadores, siendo el hierro el que disminuyó con el entrenamiento y aumentó tras la puesta a punto y la ferritina la que aumentó con el entrenamiento y disminuyó tras la puesta a punto. En cambio Rietjens et al. (2002), en un trabajo realizado con triatletas, vieron un descenso de los niveles de ferritina en plasma en las fases de entrenamiento, pero dichos descensos no

sobrepasaban los rangos inferiores de los valores de referencia, por lo que sugirieron que el motivo de la reducción de la ferritina no era por una deficiencia de hierro, sino por las exigencias del entrenamiento. A la misma conclusión llegaron Schumacher et al. (2002) en su estudio con deportistas de diferentes disciplinas, en el que se observó que los niveles de ferritina descendían con el entrenamiento de resistencia. No obstante, los trabajos más recientes de la literatura señalan que el principal rol de la ferritina es proteger del estrés oxidativo causado por los cambios en el hierro. Es conocido el papel de la ferritina como almacén de los depósitos de hierro, y parece que la ferritina mitocondrial protege a la mitocondria del estrés oxidativo, probablemente regulando la disponibilidad de hierro y provocando que las células sean más resistentes al daño oxidativo generado por el mismo (Arosio y Levi, 2010). El aumento significativo de la ferritina en los biathletas tras las seis semanas de entrenamiento y la posterior tendencia al aumento (ns) con la puesta a punto, unido a los aumentos significativos en los valores de urato tras la puesta a punto señalados anteriormente, indicarían una mayor capacidad para reducir el estrés oxidativo y, por consiguiente, mayores posibilidades de mejorar el rendimiento.

Aunque los parámetros relacionados con el metabolismo del hierro en los biathletas mostraron unos valores dentro de los rangos de referencia, parece que los corredores de resistencia tienen menores valores de ferritina, hierro y haptoglobina que los grupos sedentarios, probablemente causado por la hemólisis inducida por el entrenamiento intenso (Dufaux et al., 1981).

Respecto a las *hormonas*, las seis semanas de entrenamiento provocaron aumentos significativos del 33.7% en los valores de cortisol, del 4.4% en la ratio testosterona total/cortisol mientras que la ratio testosterona libre/cortisol descendió un 34.6%. Por su parte, durante la puesta a punto se hallaron aumentos significativos del 21.5% en los valores de testosterona total y del 38.3% en la ratio testosterona total/cortisol, mientras que la ratio testosterona libre/testosterona total disminuyó un 31.2%. Estos resultados están en línea con lo hallado en nuestro anterior estudio con atletas (Mujika et al., 2002), donde se observó un aumento significativo de la

concentración de testosterona total y un descenso en la ratio testosterona libre/testosterona total en el grupo que realizó la puesta a punto de alta frecuencia.

La misma tendencia se puede encontrar en estudios más recientes. Así, Cordova et al. (2010) en su estudio con jugadores profesionales de baloncesto, observaron un incremento de la ratio testosterona/cortisol a lo largo de toda la temporada, y un descenso y posterior mantenimiento de la ratio testosterona libre/cortisol con el entrenamiento intenso, destacando la importancia del control permanente de los cambios anabólicos y catabólicos durante los diferentes periodos de entrenamiento. Del mismo modo, Zehsaz et al. (2011) en su estudio con ciclistas profesionales, observaron aumentos significativos de la ratio testosterona total/cortisol y descensos en la concentración de cortisol tras una y tres semanas de puesta a punto con una reducción del 50% del volumen de entrenamiento.

El balance entre hormonas anabólicas y catabólicas parece tener implicaciones importantes en los procesos de recuperación tras periodos de entrenamiento intenso, por lo que muchos autores lo consideran un marcador del estrés del entrenamiento. Así, el aumento de la ratio testosterona total/cortisol observado en los biathletas durante la puesta a punto podría indicar un aumento de la recuperación y eliminación de la fatiga acumulada tras las seis semanas de entrenamiento. Mientras que el aumento significativo de testosterona total quizás fue debido a la eliminación del entrenamiento continuo de baja intensidad durante la puesta a punto, como sugieren Mujika et al. (2000c), quienes encontraron una correlación negativa entre el entrenamiento continuo de baja intensidad durante la puesta a punto y el porcentaje de cambio en la testosterona total ($r=-0.780$), y una correlación positiva entre el entrenamiento interválico de alta intensidad durante la puesta a punto y el porcentaje de cambio de la testosterona total ($r=0.680$). El mecanismo por el cual hubo un incremento de la testosterona total tras la puesta a punto podría estar relacionado con el aumento de la respuesta de la hipófisis durante el tiempo de entrenamiento intenso, logrando una influencia positiva de la actividad androgénica-anabólica durante la puesta a punto (Mujika 2009).

En la línea de lo hallado con los biathletas, Bonifazi et al. (2000) observaron que la concentración de cortisol en nadadores aumentaba desde el principio de la temporada hasta la época de competiciones, alcanzando sus valores máximos en las competiciones preparatorias, y descendiendo justo antes de la competición principal, tras 3 semanas de puesta a punto. Encontraron una correlación negativa entre la mejora a lo largo de todo el proceso (entrenamiento y puesta a punto) y el descenso en el cortisol pre-competición ($r=-0.660$). El autor concluyó que un prerrequisito para mejorar el rendimiento en eventos que dependen de la contribución del metabolismo anaeróbico es una baja concentración de cortisol. Los mismos resultados señalan Tharp et al. (1990) en nadadores, quienes observaron un aumento significativo de los valores de cortisol en saliva durante el periodo de entrenamiento intenso, que se redujo considerablemente con la puesta a punto. También Coutts et al. (2007b) señalaron descensos estadísticamente significativos en la concentración de cortisol y un incremento en la ratio testosterona libre/cortisol tras dos semanas de puesta a punto en triatletas que previamente habían realizado un entrenamiento intensivo. Los mismos cambios obtenidos por Coutts se observaron en el biathlon, pero en este caso los resultados no fueron significativos.

Mujika et al. (1996a) tampoco obtuvieron variaciones significativas en la concentración de cortisol tras 12 semanas de entrenamiento y 4 de puesta a punto en nadadores; sin embargo, sí hubo diferencias en la puesta a punto entre el grupo que aumentó su rendimiento más del 2%, donde los valores del mismo disminuyeron, y el grupo que mejoró menos del 2%, que tuvo un aumento en sus valores. Dichos resultados sugieren que el entrenamiento continuo de baja intensidad puede frenar los procesos anabólicos estimulados por la testosterona durante la puesta a punto, mientras que dichos procesos pueden ser facilitados con el entrenamiento interválico de alta intensidad.

Diversos autores han señalado que los periodos de entrenamiento intenso provocan una reducción de los valores de testosterona total y testosterona libre (Busso et al., 1992; Flynn, 1997). En cambio, otros Houmard et al. (1990) no observaron cambios

en los valores de reposo de testosterona total, cortisol y la ratio testosterona/cortisol tras 4 semanas de entrenamiento y 3 semanas de entrenamiento reducido (Houmard et al., 1990a), ni tras 16 semanas de entrenamiento intenso de resistencia y una puesta a punto de 4 semanas (Izquierdo et al., 2007).

Uno de los resultados más interesantes del estudio con biathletas han sido los datos relativos a **la gasometría, el equilibrio ácido-base y el ácido láctico** en sangre capilar. Se ha observado en numerosos estudios que el ejercicio físico intenso induce a una situación de acidosis metabólica por el aumento de los H^+ y del ácido láctico (Juel, 1998; López y Fernández, 2008; Willmore y Costill, 2004), situación que pone en marcha los sistemas buffer o amortiguadores del organismo. Sin embargo, pocos son los estudios con deportistas bien entrenados sobre el equilibrio ácido-base durante la puesta a punto, y en ninguno de ellos se han encontrado diferencias significativas (Costill et al., 1985, Houmard et al., 1990b). En el presente estudio realizado con biathletas, los cambios significativos observados en algunas de las variables (descenso del pH, del exceso de base, de los valores de bicarbonato y de la presión parcial de CO_2) confirman la acidez metabólica provocada por el ejercicio físico y la puesta en marcha de los sistemas de tamponamiento tras la puesta a punto de alta frecuencia.

Se observaron a lo largo de todo el estudio, de T_0 a T_2 , cambios significativos en casi todas las variables analizadas al comparar los valores en reposo (pre-test) y las mediciones realizadas al finalizar la competición simulada de biathlon (post-test). Las seis semanas de entrenamiento produjeron cambios en los valores en reposo de la presión parcial de oxígeno (PO_2), bicarbonato, saturación de oxígeno (SO_2) y lactato, y en los valores tras la competición simulada de biathlon del CO_2 total (TCO_2), el exceso de base (BE) y el lactato. Además, tras la puesta a punto de alta frecuencia se encontró una disminución significativa de los valores de pH y del exceso de base post-test, y un aumento del lactato pre-test.

Cuando se produce un cambio en el pH debido al ejercicio físico, la primera línea de defensa es la activación de los sistemas buffer intracelulares, principalmente las proteínas y los grupos fosfato (López y Fernández, 2008). El sistema intercambiador H^+/Na^+ expulsa los H^+ al exterior de la célula aprovechando la energía liberada con la entrada de Na^+ . Varios autores han observado en ratas un aumento significativo en la capacidad de tamponamiento tras 6 semanas de entrenamiento de alta intensidad (Juel, 1998; Troup et al., 1996), no estando claro el efecto del entrenamiento sobre dichos amortiguadores intracelulares en sujetos entrenados (Shalin y Henriksson, 1984).

Es conocido que los aumentos de ácido láctico y de iones hidrógeno (H^+) provocados por el ejercicio físico intenso son amortiguados por el desplazamiento a la derecha de la reacción $H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H_2O + CO_2$, implicando para su regulación tanto al sistema respiratorio (CO_2) como al sistema renal (HCO_3^-).

La hemoglobina y el bicarbonato son dos de los principales sistemas buffer extracelulares del organismo (López y Fernández, 2008; Wilmore y Costill, 2004). La oxihemoglobina cede H^+ que se combina con HCO_3^- para formar H_2O y CO_2 , y dicho dióxido de carbono es expulsado al exterior mediante la espiración. Los biathletas tuvieron un aumento significativo del 4.2% en los valores de hemoglobina tras la puesta a punto de alta frecuencia, y del 6.6% tras las siete semanas de estudio, lo que se sugiere que la puesta a punto de alta frecuencia podría haber producido una mayor cesión de H^+ por parte de la hemoglobina.

La mayor parte de los estudios encontrados en la literatura se centran en los efectos de la ingesta de bicarbonato previa al ejercicio físico para generar un estado de alcalosis previa y minimizar los efectos de la acidosis metabólica, pero los resultados no son muy concluyentes, existiendo estudios que hablan de una mejora del rendimiento (Douroudos et al., 2006; Lindh et al., 2008; Siegler et al., 2008; Siegler et al., 2010), mientras que otros autores no observaron ningún tipo de mejora (Stephens et al., 2002). En el caso de los biathletas, no se hizo una ingesta previa de ningún tipo de sustancia. Sin embargo, los valores en reposo (pre-test) de bicarbonato mostraron un aumento

significativo con el entrenamiento y siguieron aumentando (ns) con la puesta a punto, indicando una mayor capacidad de tamponamiento previa a los test de rendimiento.

En cuanto a los valores de bicarbonato post-test, se observó un descenso significativo tras las 7 semanas de estudio. Dicho descenso pudo ser provocado por la respuesta inmediata del pH, como refleja la correlación ($r=0.876$) entre los valores de pH y el bicarbonato post-test. El bicarbonato es el amortiguador más potente que se dispone extracelularmente (Guyton, 1999; López y Fernández, 2008), por lo que era de esperar la mayor utilización de este amortiguador ante los descensos del pH, tratando de evitar disminuciones aún mayores. A pesar de lo anterior, las seis semanas de entrenamiento y la de puesta a punto generaron unos mayores niveles de bicarbonato pre-test en los biathletas que, unidos a los descensos del bicarbonato post-test y al aumento del rendimiento, sugieren una mayor capacidad de tolerancia a la acidez, o lo que es lo mismo, una mejora en los sistemas buffer.

Además, se observó una correlación significativa positiva entre el bicarbonato y el pH pre-test en T₀ ($r=0.756$), y entre bicarbonato y pH post-test en T₁ ($r=0.876$), confirmando la importancia del bicarbonato como sistema buffer extracelular.

Unido a los descensos del bicarbonato, el exceso de base (BE) mostró descensos significativos en los valores antes y después de realizar la competición simulada de biathlon en T₀, T₁ y T₂. Dichos descensos mostraron correlaciones positivas ($r=0.850$, $r=0.945$ y $r=0.853$, T₀, T₁ y T₂, respectivamente) respecto a los valores pH post-test. La reducción de BE fue mayor que el descenso de bicarbonato en los tres momentos de medición, indicando que aparte del bicarbonato como buffer extracelular, se pusieron en funcionamiento otros sistemas de tamponamiento para restaurar lo antes posible el pH sanguíneo a sus valores normales, lo que unido al aumento significativo de la hemoglobina durante el entrenamiento y tras la puesta a punto, subraya el importante papel de dicha variable como sistema buffer. Confirmando lo anterior, entre los valores de BE en reposo (pre-test) y los valores de hemoglobina se observaron correlaciones positivas en T₀ ($r=0.821$) y en T₂ ($r=0.781$). En la literatura se han encontrado resultados

similares en cuanto al descenso del BE y el bicarbonato tras el ejercicio físico intenso (Friis et al., 2010), pero no existe hasta la fecha ningún estudio que haya observado un aumento significativo de la hemoglobina junto con un descenso significativo de BE y bicarbonato durante la puesta a punto.

Sin embargo, existen pocos estudios sobre el equilibrio ácido-base en deportistas bien entrenados. Algunos autores han observado que la capacidad de amortiguamiento se mejora tras el entrenamiento de alta intensidad (Rogbergs et al., 1990; Sharp et al., 1986), pero no parece ocurrir lo mismo durante la puesta a punto o el entrenamiento reducido. Además, apenas se encuentran estudios que analicen las variaciones de los gases en sangre sobre el rendimiento final durante la puesta a punto, y de los que se han realizado, ninguno ha hallado datos significativos que puedan señalar esos parámetros como marcadores bioquímicos de estrés del entrenamiento (Costill et al., 1985; Houmard et al., 1990b).

Algunos autores (Kenitzer, 1998; Renaud, 1989; Westerbald y Lonnergren, 1991) señalan que durante periodos de entrenamiento de alta intensidad se produce un aumento del lactato en sangre y de la concentración de H^+ que implica un descenso del pH (acidosis), el cual parece ser un factor que contribuye significativamente al desarrollo de la fatiga muscular.

Es sabido que la producción de ácido láctico y su disociación en H^+ y lactato provoca descensos en pH (Shalin, 1978). Los biatletas confirmaron dicho estado de acidez metabólica, dado que los valores de pH post-test disminuyeron en los tres momentos de medición, y se observó una correlación negativa ($r=-0.844$) entre la concentración pico de lactato post-test y el pH. A pesar de dichos descensos, el rendimiento en carrera tras la puesta a punto mejoró, esto indica que el entrenamiento de las seis semanas provocó una mayor tolerancia a la acidez muscular o bien una mejora de los sistemas amortiguadores.

La reducción de la PCO_2 post-test también podría explicar en parte la reducción del

pH, debido al funcionamiento del sistema de compensación respiratoria (Aguado, 2004; Evans et al., 1998, Friis et al., 2010). La variación de la PCO_2 es importante en la regulación de la acidez sanguínea. Así, una reducción de los niveles de CO_2 en la sangre a su paso por los pulmones permitiría reciclar el sistema de tamponamiento del bicarbonato para reducir los hidrogeniones. Por el contrario, algunos autores han observado que un incremento de 50 mmHg del PCO_2 tan sólo contribuye en un 12% al aumento de los iones hidrógeno durante el ejercicio de alta intensidad, descartando a dicha variable como una de las principales causantes del aumento de H^+ durante el ejercicio físico intenso (Lindinger, 1995).

Como respuesta a la disminución de la PCO_2 , la PO_2 post-ejercicio aumentó a lo largo de las siete semanas del estudio, lo que indica una mayor disponibilidad de oxígeno, lo que podría indicar mayores posibilidades de mejorar el rendimiento físico. Dicha afirmación se confirma con la correlación negativa ($r=-0.834$) observada entre el tiempo total de carrera y los valores de PO_2 pre-test en T1. Es decir, aquellos atletas que mostraron mayores valores de PO_2 fueron los que menor tiempo en carrera emplearon.

Durante los procesos de acidosis metabólica, como se ha señalado anteriormente, los pulmones tienden a eliminar cantidades mayores de CO_2 hiperventilando, lo que implica un descenso en los valores de dicha variable. Los biatletas mostraron un descenso significativo en los valores tras la competición simulada de biathlon (post-test) respecto a los valores de reposo (pre-test) en los tres momentos de medición, y se observó un descenso en los valores post-test tras el entrenamiento (To-T1) y tras las siete semanas del estudio (To-T2), poniendo de manifiesto una mayor ventilación para restablecer el pH a la normalidad. El TCO_2 es la medida de dióxido total de carbono que existe en diversos estados: CO_2 en solución física o unido libremente a proteínas, aniones de bicarbonato (HCO_3^-) o carbonato (CO_3^{2-}) y ácido carbónico (H_2CO_3). La medición del TCO_2 resulta útil para valorar la concentración de HCO_3^- , y a su vez ambos (junto con el pH y la PCO_2) sirven para valorar el desequilibrio ácido-base y el desequilibrio de los electrolitos. Siguiendo la misma línea de los resultados anteriores, el TCO_2 disminuyó

significativamente antes y después de cada test en los tres momentos de medición. Dicho descenso, junto con la disminución del bicarbonato, sugieren que el ejercicio físico de alta intensidad produce un estado de acidez en el organismo.

Por su parte, la presión parcial de CO₂ pre-test mostró relaciones significativas positivas con el bicarbonato ($r=0.920$ en T₀, $r=0.781$ en T₁ y $r=0.896$ en T₂) y el exceso de base ($r=0.896$ en T₀, $r=0.781$ en T₁ y $r=0.844$ en T₂). En lo relativo a los valores post-test en T₁, la PCO₂ únicamente correlacionó con el bicarbonato y el exceso de base ($r=0.883$ y $r=0.804$, respectivamente). Es decir, los biathletas que tuvieron mayores niveles de acidez metabólica fueron también los de mayor capacidad tamponadora.

Por último, el porcentaje de saturación de oxígeno post-ejercicio (SO₂), apenas varió durante el estudio, disminuyendo tras 6 semanas de entrenamiento, y aumentando tras la puesta a punto, aunque dichos resultados no fueron significativos. El incremento de dichos valores tras la puesta a punto indicaría una mayor disponibilidad de oxígeno, lo que podría sugerir otro elemento favorable a la mejora del rendimiento de los biathletas. No obstante, la medición en sangre capilar de la PO₂ y la SO₂ según Aguado (2004), tienen poca consistencia, produciéndose grandes variaciones en los mismos sujetos tras varias mediciones, y además no se correlaciona con las muestras venosas, por lo que no parece ser un parámetro del todo fiable.

Por tanto, un entrenamiento de 6 semanas y una puesta a punto de alta frecuencia provocaron unos niveles altos de acidez metabólica y unos cambios significativos en casi todas las variables relacionadas con el equilibrio ácido-base. No obstante, dado el número de sujetos del presente estudio y la ausencia de estudios previos para poder comparar, se requieren futuros estudios que profundicen más en dichas variables.

En las mediciones de lactato con los biathletas la concentración en reposo (pre-test) aumentó de forma significativa con el entrenamiento y con la puesta a punto, mientras que la concentración pico de lactato post-test mostró aumentos significativos durante las 6 semanas de entrenamiento para posteriormente descender (ns) con la

puesta a punto. Apenas existen estudios que analicen la concentración de lactato en condiciones de reposo, centrándose la mayoría de los hallados en la concentración pico de lactato tras el ejercicio. Una posible respuesta al incremento de los valores en reposo podría ser el que el estudio se desarrollara a moderada altitud (2026 m), donde la situación de hipoxia pudiera haber provocado el aumento de la producción de lactato. Sin embargo, Böning (1997) observó que tras una aclimatación a la altura la producción de ácido láctico se atenuaba marcadamente, tanto en el músculo como en la sangre. Esta respuesta de adaptación del organismo ha sido denominada la *paradoja del lactato*, y se ha sugerido que es un fenómeno común a muchas formas de adaptación a la hipoxia. Los biathletas mostraron unos valores inferiores de la concentración pico de lactato post-test tras la puesta a punto, lo cual confirmaría la *paradoja del lactato*, al responder positivamente a la aclimatación a la altura. Como se ha señalado antes, no hay estudios sobre los valores de lactato en reposo por lo que, quizás, la explicación a los aumentos de la concentración de lactato en reposo observada en el presente estudio podrían indicar que 7 semanas de estancia en altura no fueron suficientes para su completa aclimatación.

La concentración pico de lactato post-competición puede ser un índice útil de la capacidad anaeróbica y un buen marcador de los cambios provocados por la puesta a punto. A pesar de que hay estudios donde no se han encontrado cambios significativos con el entrenamiento y la puesta a punto (Houmard et al., 1989; Houmard et al., 1990b; Papoti et al., 2007; Van Haendel et al., 1988), sí se ha observado una tendencia al incremento de la concentración pico de lactato en natación, atletismo, ciclismo y remo tras la puesta a punto (Mujika 2009). En nuestro estudio previo con atletas que comparaba una puesta a punto de alta frecuencia y con otra de frecuencia moderada (Mujika et al., 2002) se observó un incremento significativo del 6% en PAF y del 9.6% en PFM, pero dichos cambios en la concentración pico de lactato no se correlacionaron con las variables de rendimiento en atletismo, como se había observado en estudios precedentes (Lacour et al., 1990; Mujika et al., 2000c). Sin embargo, se observó una correlación negativa con los valores de rendimiento antes de la puesta a punto, indicando la importancia de la contribución del sistema de potencia glucolítico en una prueba de

800 m. Además, los cambios en la concentración pico de lactato durante la puesta a punto, correlacionaron negativamente con los cambios en el cortisol sérico, y positivamente con los cambios en la ratio testosterona total/cortisol y testosterona libre/cortisol. Esto sugiere que un entorno hormonal propicio a los procesos anabólicos ayuda a optimizar el rendimiento.

También Bonifazi et al. (2000) en un estudio con nadadores, observaron un aumento de la concentración pico de lactato post-competición tras el entrenamiento y la puesta a punto, y además se encontró una correlación positiva entre los incrementos de la concentración de pico de lactato (del 22% al 49%) y la mejora del rendimiento (1.5-2.1%). Es decir, aquellos nadadores que obtuvieron unos mayores valores de lactato post-competición fueron los que mayor rendimiento tuvieron en distancias entre 100 y 400 m. Por su parte, Mujika et al. (2000c) encontraron una correlación ($r= 0.870$) entre el porcentaje de cambio en el rendimiento y el porcentaje de cambio en la concentración pico de lactato tras una puesta a punto de 7 días con descenso del volumen de entrenamiento del 50% o del 75% en atletas.

En nuestro estudio con los biathletas no se observó esa tendencia, dado que los valores de la concentración pico de lactato mostraron un descenso (ns) del 8.3% tras la puesta a punto y tampoco se observó una correlación entre el porcentaje de cambio en el rendimiento y el porcentaje de cambio en la concentración pico de lactato. Sin embargo, el rendimiento en carrera aumento en un 3.4%. Algunos autores sugieren que unos valores inferiores de lactato en sangre podrían ser explicados en parte por un aumento del $VO_2\max$ y un incremento simultáneo en la capacidad de consumir lactato a una determinada carga submáxima (Van Haendel et al., 1988), lo que estaría relacionado con una mayor capacidad de tamponamiento en los biathletas. Además, existió una correlación negativa entre la concentración pico de lactato post-test y el pH en To ($r=-0.844$). Los biathletas con concentraciones de pico de lactato más elevadas fueron los que mayor acidez metabólica tuvieron, es decir, un pH más bajo.

En lo relativo al **rendimiento**, se observaron disminuciones significativas en el tiempo de carrera, tiempo de tiro tumbado, tiempo total de prueba y score tras las 6 semanas de entrenamiento. Y mejoras significativas en el tiempo de carrera, el tiempo total de prueba y el número de aciertos en el tiro de pie tras la puesta a punto de alta frecuencia.

Respecto a las mediciones de *altura del salto vertical* en biathlon, no se observaron diferencias significativas ni en *CMJ* ni en *ABK*. Sin embargo, hubo una tendencia a la mejora durante la puesta a punto en ambos tipos de salto, a pesar de que no hubo un entrenamiento específico para ello. Dichos resultados confirman el incremento en fuerza explosiva y potencia observadas en otros estudios, sobre todo en los realizados con nadadores y corredores (Mujika 2009). Los diferentes estudios analizados señalan que la potencia y la fuerza muscular habitualmente disminuyen con el entrenamiento intenso, recobrando y mejorando sus valores iniciales con la puesta a punto, cuando el volumen de entrenamiento es reducido (Coutts et al., 2007a; Houmard et al., 1990b; Izquierdo et al., 2007). Los mecanismos por los cuales se da ese incremento de fuerza parecen estar relacionados con cambios en la actividad enzimática y en las características de las fibras musculares (Mujika, 2009).

Los resultados del *rendimiento en carrera* mostraron que los ocho biathletas mejoraron su marca en competición tras la puesta a punto, debido a una mejora porcentual del 3.4% en el tiempo total de carrera. Los aumentos en los valores de rendimiento tras una puesta a punto han sido descritos en numerosos estudios, sin embargo no queda claro cuál es la duración mínima para que la puesta a punto tenga efectos positivos.

Así, en el estudio anterior realizado con atletas (Mujika et al. 2002), la puesta a punto de alta frecuencia provocó una mejora de 1.9% en el rendimiento en 800 m. Mayores aumentos del rendimiento encontraron Houmard et al. (1994), con una duración de puesta a punto similar a nuestro estudio (7 días) realizada con 8 atletas, observando una mejora del 2.8% en un test de 5 km de carrera en tapiz rodante. Y Coutts et al. (2007b)

con una duración de puesta a punto superior (2 semanas) realizada con triatletas, observaron una mejora del 3.9% en un test de carrera de 3000 m.

Por su parte, Mujika et al. (1996c), realizando puestas a punto de mayor duración en nadadores de elite, obtuvieron mejoras de rendimiento similares, del 2.9% tras 3 semanas de puesta a punto, y del 3.2% cuando la puesta a punto duró 4 semanas. Otros estudios con nadadores también han observado mejoras en el rendimiento. Así, Costill et al. (1985) tras una puesta a punto de 2 semanas obtuvieron una mejora del 2.2 al 4.6% (3.1% de media) en el rendimiento; dicha mejora es similar a la encontrada por Mujika et al. (2002), pero habiendo realizado una puesta a punto de menor duración. D'Aquisto et al. (1992) observaron unas mayores mejoras, entre el 4% y el 8% tras una puesta a punto de 2 semanas con reducción no progresiva del volumen y de entre 6% y 7% tras una de 4 semanas con reducción progresiva del volumen. Menores incrementos en el rendimiento, del 2.8% en competiciones de 50 a 400 yardas, se observaron en el estudio de Johns et al. (1992) tras una puesta a punto de 10 a 14 días. Y todavía fueron menores las mejoras en competición, sólo del 1.6%, las encontradas por Raglin et al. (1996) en un grupo de nadadoras tras 4 y 5 semanas de puesta a punto. Al igual que Papoti et al. (2007) que observaron una mejora del rendimiento en natación del 1.6% en la prueba de 200m tras una puesta a punto de 11 días.

Las mejoras de rendimiento de nuestro estudio son algo superiores a las encontradas en la bibliografía para puestas a punto de 7 días, y con valores similares a las puestas a punto de duración superior. Lo que sugiere que en biathlon una puesta a punto de alta frecuencia de una semana de duración podría ser suficiente para obtener mejoras significativas en el rendimiento.

Además, se encontraron correlaciones negativas entre el tiempo total de carrera y los valores absolutos de hematíes en T1 ($r=-0.732$), hemoglobina en T0, T1 y T2 ($r=-0.856$, $r=-0.714$ y $r=-0.851$, respectivamente) y hematocrito en T0, T1 y T2 ($r=-0.846$, $r=-0.729$ y $r=-0.823$, respectivamente). Es decir, los sujetos que menor tiempo emplearon en recorrer el circuito fueron los que mayores valores presentaron de hematíes, hemoglobina y

hematocrito. Estos resultados concuerdan con las mejoras encontradas en el tiempo de carrera con la puesta a punto. Lo que parece indicar que la mejora durante la puesta a punto pudo ser debida a una mayor disposición de hemoglobina y hematocrito en sangre, lo que se traduciría en una mayor disposición de oxígeno a la hora de realizar el ejercicio (Shepley et al., 1992).

También se encontró una correlación significativa positiva entre el tiempo de carrera y los valores absolutos de linfocitos en T1 ($r=0.798$) y T2 ($r=0.743$) con la puesta a punto de alta frecuencia. Estos resultados están en la línea de los hallazgos encontrados por Mujika et al. (2000c), donde se observó que el entrenamiento continuo de baja intensidad realizado durante una puesta a punto de 7 días con corredores mostró una correlación negativa con los valores de linfocitos ($r=-0.82$).

Asimismo, se observó una mejora significativa en el *tiempo total de prueba* a lo largo de todo el estudio. Recordamos que el tiempo de prueba es el resultante de sumar el tiempo de carrera y el tiempo empleado en el tiro. Las 6 semanas de entrenamiento provocaron una mejora del 11.3%, y hubo un aumento significativo del rendimiento tras la puesta a punto de 3.6%. Como hemos visto anteriormente, el tiempo de carrera mejoró un 3.4% con la puesta a punto de alta frecuencia, por lo que el mayor aumento del rendimiento en el tiempo de prueba se podría atribuir, probablemente, a la disminución del 5.6% (ns) en el tiempo de tiro durante la puesta a punto.

En las *mediciones relacionadas con el tiro* se observó un descenso del 6.3% (ns) en el tiempo empleado en el tiro tumbado y del 3.9% (ns) en el tiro de pie, no dándose la misma tendencia en el número de aciertos, que disminuyó el 21% (ns) en el tiro tumbado y aumentó de forma significativa un 58% en el tiro de pie. Dichas mejoras significativas en el número de aciertos en el tiro de pie con la puesta a punto, contrastan con los resultados encontrados por Hoffman et al. (1992a), quienes estudiaron la eficacia del tiro según la intensidad del ejercicio previo, y no observaron diferencias significativas en relación al tiro tumbado, pero sí una disminución de la puntería a mayor intensidad de carrera en el tiro de pie. En el caso de los biathletas no ocurrió así, ya que descendió el número de aciertos

en el tiro tumbado, y aumentaron los aciertos en el tiro de pie. La explicación a los resultados pudiera estar en que los biathletas realizaran el tiro tumbado a mayor velocidad en pro de continuar con la carrera, ya que se mejoró significativamente en un 4,2% el tiempo de la segunda vuelta. Varios autores han observado que una disminución de la frecuencia cardiaca se traduce en un aumento del rendimiento en el tiro (Coote, 2009; Hoffman y Street, 1992). La correcta asimilación del entrenamiento de resistencia podría facilitar que los biathletas llegaran al final de la prueba con una menor frecuencia cardiaca, y éste hecho podría ayudar a que los deportistas tuvieran una mejor puntería en el tiro de pie.

Además, tras la puesta a punto se observó una correlación negativa entre el número de aciertos en el tiro de pie y el tiempo empleado para realizarlos ($r=-0.772$). Los biathletas que mayores aciertos tuvieron, fueron los que a su vez menos tiempo emplearon, posiblemente, a que llegaron a la zona de tiro con menor frecuencia cardiaca y consecuentemente mayor control postural (Coote, 2009; Hoffman y Street, 1992).

En el score se observaron mejoras significativas (9.9%) con el entrenamiento, pero no tras la puesta a punto, a pesar de una mejora del 4.1% (ns). Esto podría ser debido a que el score es la suma del tiempo total de prueba más el tiempo de penalización, sin que este último tiempo tenga un efecto fisiológico en los atletas. Por tanto, el rendimiento en biathlon no sólo depende de las mejoras fisiológicas provocadas por el entrenamiento y la puesta a punto, sino también de la capacidad de lograr el máximo número de aciertos en el tiro. Dado que cada error en el tiro conlleva una penalización que se va a ver reflejada en el score final, se considera importante no descuidar el entrenamiento específico de esta habilidad.

5. CONCLUSIONES

1. Seis semanas de entrenamiento provocaron cambios significativos en las características físicas (peso), en las variables hematológicas (volumen corpuscular medio, ancho de distribución eritrocitaria, leucocitos, linfocitos y plaquetas), de daño muscular (urea y urato), del metabolismo del hierro (hierro, transferrina, porcentaje de saturación de la transferrina y ferritina), y hormonales (cortisol, ratio testosterona total/cortisol y testosterona libre/cortisol).
2. Los cambios sanguíneos ocurridos durante esas seis semanas pudieron ser la causa de la mejora significativa en la competición simulada de biathlon, en la cual se mejoró no sólo el tiempo total de carrera, el tiempo de tiro tumbado y el tiempo total de la prueba, sino también el score. Lo que parece indicar que hubo una correcta asimilación de la carga de entrenamiento.
3. La puesta a punto de alta frecuencia de seis días de duración produjo una mejora significativa en la competición simulada de biathlon, mejorándose no sólo el tiempo total de carrera y en el tiempo total de prueba, sino también el número de aciertos en el tiro de pie y el score. Lo que indica que una puesta a punto de alta frecuencia de una semana de duración, con una reducción progresiva no lineal del 80% del entrenamiento interválico de alta intensidad, podría ser suficiente para obtener mejoras significativas en el rendimiento en biathlon.
4. Además, dicha puesta a punto de alta frecuencia produjo no sólo un aumento de la hemoglobina, sino que también se observaron correlaciones negativas entre los valores de hemoglobina y hematocrito y el tiempo total de carrera y de prueba durante las tres mediciones del estudio; es decir, aquellos biathletas que presentaron mayores valores de hemoglobina y hematocrito fueron los que realizaron en menor tiempo la competición simulada de biathlon. Esto, junto con la correlación negativa hallada entre la presión parcial de oxígeno y el tiempo total de carrera, sugiere que hubo un aumento en la capacidad de transporte de

- oxígeno a los músculos y células del organismo, que tuvo como consecuencia un aumento del rendimiento.
5. Del mismo modo, el periodo de la puesta a punto disminuyó los niveles de creatina kinasa, del ratio testosterona libre/testosterona total, y del ratio testosterona total/cortisol y aumentó la concentración de testosterona total, revelando el efecto positivo de la puesta a punto sobre la recuperación de la fatiga provocada por el entrenamiento.
 6. Tras realizar la competición simulada de biathlon se observó un aumento significativo del ácido láctico y una disminución significativa del exceso de base y del bicarbonato, así como un descenso del pH respecto a los valores de reposo en los tres momentos de la medición, lo que provocó una acidosis metabólica.
 7. Además, la hemoglobina correlacionó significativamente con el exceso de base, confirmando no solo la importancia del bicarbonato como sistema tampón, sino también el de la hemoglobina como sistema buffer extracelular.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, R. (2004).** Regulación del equilibrio ácido-base durante el ejercicio: efectos de la intensidad, tipo de recuperación y velocidad de contracción en sujetos entrenados y no entrenados. *Tesis Doctoral Ciencias del Deporte. Toledo. Univ Castilla La Mancha.*
- Arosio, P. & Levi, S. (2010).** Cytosolic and mitochondrial ferritins in the regulation of cellular iron homeostasis and oxidative damage. *Biochem Biop Acta* 1800: 783-792.
- Banister, E. W., Carter, J. B. & Zarkadas, P. C. (1999).** Training theory and taper: validation in triathlon athletes. *Eur J Appl Physiol* 79: 182-191.
- Berger, B. G., Motl, R. W., Butki, B. D., Martin, D. T. & Wilkinson, J. G. (1999).** Mood and cycling performance in response to three weeks of high-intensity, short-duration overtraining, and two-week taper. *Sport Psychol* 13: 444-457.
- Bergholm, R., Mäkimattila, S., Valkonen, M., Liu, M., Lahdenpera, S., Taskinen, M. R., Sovijäri, A., Malmberg, P. & Yki-Järvinen, H. (1999).** Intense physical training decreases circulating antioxidants and endothelium-dependent vasodilatation in vivo. *Atherosclerosis* 145: 341-349.
- Bonifazi, M., Sardella, F. & Lupo, C. (2000).** Preparatory versus main competitions: differences in performances, lactate responses and pre-competition plasma cortisol concentrations in elite male swimmers. *Eur J Appl Physiol* 82: 368-373.
- Böning, D. (1997).** Altitude and hypoxia training. *Int J Sports Med* 18: 565-570.
- Bosco, C., Luhtanen, P. & Komi, P. V. (1983).** A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* 50: 273-282.
- Bosquet, L., Monpetit, J., Arvisais, D. & Mujika, I. (2007).** Effects of tapering on performance: A Meta-Analysis. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1358-1365.

- Busso, T., Häkkinen, K., Pakarinen, A., Kauhanen, H., Komi, P. V. & Lacour, J. R. (1992).** Hormonal adaptations and modelled responses in elite weightlifters during 6 weeks of training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 64: 381-386.
- Cavanaugh, J. & Musch, M. A. (1989).** Arm and leg power of elite swimmers increase after taper as measured by biokinetic variable resistance machines. *J Swimming Research* 5: 7-10.
- Chapman, R. F., Stickford, J. L. & Levine, B. D. (2009).** Altitude training considerations for the winter sport athlete. *Exp Physiology* 16: 411-421.
- Child, R. B., Wilkinson, D. M. & Fallowfield, J. L. (2000).** Effects of a training taper on tissue damage indices, serum antioxidant capacity and half-marathon running performance. *Int J Sports Med* 21: 325-331.
- Coote, J. H. (2009).** Recovery of heart rate following intense dynamic exercise. *Exp Physiology* 16: 431-440.
- Cordova, A., Seco, J., Tur, J. A., Abecia, L.C., Echevarría, E. & Pons, A. (2010).** Testosterone and cortisol changes in professional basketball players through a season competition. *J Strength Cond Res* 24: 1102-1108.
- Costill, D. L., Verstappen, F., Kuipers, H., Janssen, E. & Fink, W. (1984).** Acid-base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO₃. *Int J Sports Med* 5: 228-231.
- Costill, D. L., King, D. S., Thomas, R. & Hargreaves, M. (1985).** Effects of reduced training on muscular power in swimmers. *Physician Sportsmed* 13: 94-101.
- Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T. J. & Murphy, A. (2007a).** Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. *Int J Sports Med* 28: 116-124.
- Coutts, A. J., Wallace, L. K. & Slattery, K. M. (2007b).** Monitoring changes in performance,

physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *Int J Sports Med* 28: 125-134.

D'acquisto, L. J., Bone, M., Takahasi, S., Langhans, G., Barzdukas, A. P. & Troup, J. P. (1992). Changes in aerobic power and swimming economy as a result of reduced training volume. *Biomechanics and Medicine in Swimming. Swimming Science VI*, 201-205.

Douroudos, I. I., Fatouros, I. G., Gourgoulis, V., Jamurtas, A. Z., Tsitsios, T., Hatzinikolaou, A., Margonis, K., Mavromatidis, K. & Taxildaris, K. (2006). Dose-related effects of prolonged NaHCO₃ ingestion during high-intensity exercise. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1746-1753.

Dufaux, B., Hoederath, A., Streitberger, I., Hollmann, W. & Assmann, G. (1981). Serum ferritin, transferrin, haptoglobin, and iron in middle- and long-distance runners, elite rowers, and professional racing cyclists. 2: 43-46.

Edington, D. W. & Edgerton, V.R. (1976). The biology of physical activity. Houghton Mifflin. Boston.

Edwards, R.H. (1981). Human muscle function and fatigue. *Human muscle fatigue: physiological mechanisms*. Pitman Medical. 1-18. Londres

Evans, A., Tsai, L. W., Oelberg, D. A., Kazemi, H. & Systrom, D. M. (1998). Skeletal muscle ECF pH error signal for exercise ventilator control. *J Apply Physiol* 84:90-96.

Farhangimaleki, N., Zehsaz, F. & Tiidus, P. M. (2009). The effect of tapering period on plasma pro-inflammatory cytokine levels and performance in elite male cyclists. *Sports Sci Med* 8: 600-606.

Faude, O., Meyer, T., Scharhag, J., Weins, F., Urhausen, A. & Kindermann, W. (2008). Volume vs. Intensity in the training of competitive swimmers. *Int J Sports Med* 29: 906-912.

- Finaud, J., Lac, G. & Filaire, E. (2006a).** Oxidative stress: relationship with exercise and training. *Sports Med* 36: 327-358.
- Finaud, J., Scislowski, V., Lac, G., Durand, D., Vidalin, H., Robert, A. & Filaire, E. (2006b).** Antioxidant status and oxidative stress in professional rugby players: evolution throughout a season. *Int J Sports Med* 27: 87-93.
- Flynn, M. G., Pizza, F. X. & Brolinson, P. G. (1997).** Hormonal responses to excessive training: influence of cross training. *Int J Sports Med* 18: 191-196.
- Friis, U. G., Plovsing, R., Hansen, K., Laursen, B. & Wallstedt, B. (2010).** Teaching acid/base physiology in the laboratory. *Adv Physiol Educ* 34: 233-238.
- Gore, C. J. & Hahn, A. G. (2005).** Letter to the Editors Re: Heinicke K, Heinicke I, Schmidt W, Wolfarth B. A Three-Week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *Int J Sports Med* 26: 504-505.
- Graves, J. E., Pollock, M. L., Leggett, S. H., Braith, R. W., Carpenter, D. M. & Bishop, L. E. (1988).** Effect of reduced training frequency on muscular strength. *Int J Sports Med* 9: 316-319.
- Grebot, C., Gros Lambert, A., Pernin, J. N., Burtheret, A. & Rouillon, J. D. (2003).** Effects of exercise on perceptual estimation and short-term recall of shooting performance in a biathlon. *Percep Mot Skills* 97: 1107-1114.
- Green, H. J. & Fraser, I. G. (1988).** Differential effects of exercise intensity on serum uric acid concentration. *Med Sci Sports Exerc* 20: 55-59.
- Gros Lambert, A., Candau, R., Hoffman, M. D., Bardy, B. & Rouillon, J. D. (1999).** Validation of Simple Tests of Biathlon Shooting Ability. *Int J Sports Med* 20: 179-182.
- Gros Lambert, A., Candau, R., Grappe, F., Dugue, B. & Rouillon, J. D. (2003).** Effects of autogenic and imagery training on the shooting performance in Biathlon. *Res Q*

Exerc Sport 74: 337-341.

Guyton, A. (1999). Tratado de fisiología médica, in *Tratado de fisiología médica*. Madrid. España.

Heinicke, K., Heinicke, I., Schmidt, W. & Wolfarth, B. (2005). A Three-week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *Int J Sports Med* 26: 350-355.

Hellsten, Y., Tullson, P. C. & Richter, E. A. (1997). Oxidation of urate in human skeletal muscle during exercise. *Free Radic Biol Med* 22:169-174.

Hellsten, Y., Svensson, M., Sjodin, B., Smith, S., Christensen, A., Richter, E. A. & Bangsbo, J. (2001). Allantoin formation and urate and glutathione exchange in human muscle during submaximal exercise. *Free Radic Biol Med* 31:1313-1322.

Hickson, R. C. & Rosenkoetter, M. A. (1981). Reduced training frequencies and maintenance of increased aerobic power. *Med Sci Sports Exerc* 13: 13-16.

Hickson, R. C., Kanakis, C. Jr., Davis, J. R., Moore, A. M. & Rich, S. (1982). Reduced training duration effects on aerobic power, endurance, and cardiac growth. *J Appl Physiol* 53: 225-229.

Hickson, R. C., Foster, C., Pollock, M. L., Galassi, T. M. & Rich, S. (1985). Reduced training intensities and loss of aerobic power, endurance, and cardiac growth. *J Appl Physiol* 58: 492-499.

Hoff, J., Gran, A. & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 12: 288-295.

Hoffman, M. D., Gilson, P. M., Westenburg, T. M. & Spencer, W. A. (1992). Biathlon shooting performance after exercise of different intensities. *Int J Sports Med* 13: 270-273.

- Hoffman, M. D. & Street, G. M. (1992).** Characterization of the heart rate response during Biathlon. *Int J Sports Med* 13: 390-394.
- Hooper, S. L., Mackinnon, L. T. & Ginn, E. M. (1998).** Effects of three tapering techniques on the performance, forces and psychometric measures of competitive swimmers. *Eur J Appl Physiol* 78: 258-263.
- Houmard, J. A., Kirwan, J. P., Flynn, M. G. & Mitchell, J. B. (1989).** Effects of reduced training on submaximal and maximal running responses. *Int J Sports Med* 10: 30-33.
- Houmard, J. A., Costill, D. L., Mitchell, J. B., Park, S. H., Fink, W. J. & Burns, J. M. (1990a).** Testosterone, cortisol, and creatine kinase levels in male distance runners during reduced training. *Int J Sports Med* 11: 41-45.
- Houmard, J. A., Costill, D. L., Mitchell, J. B., Park, S. H., Hickner, R. C. & Roemmich, J. N. (1990b).** Reduced training maintains performance in distance runners. *Int J Sports Med* 11: 46-52.
- Houmard, J. A. (1991).** Impact of reduced training on performance in endurance athletes. *Sports Med* 12: 380-393.
- Houmard, J. A., Scott, B. K., Justice, C. L. & Chenier, T. C. (1994).** The effects of taper on performance in distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 26: 624-631.
- Houmard, J. A. & Johns, R. A. (1994).** Effects of taper on swim performance. practical implications. *Sports Med* 17: 224-232.
- Houmard, J. A., Tyndall, G. L., Midyette, J. B., Hickey, M. S., Dolan, P. L., Gavigan, K. E., Weidner, M. L. & Dohm, G. L. (1996).** Effect of reduced training and training cessation on insulin action and muscle GLUT-4. *J Appl Physiol* 81: 1162-1168.
- Houmard, J. A. (2009).** Endurance athletes: What is the optimal training strategy. *Int J Sports Med* 30: 313-314.

- Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Badillo, J. J., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., Häkkinen, K., Bonnbau, H., Granados, C., French, D. N. & Gorostiaga, E. M. (2007). Detraining and tapering effects on hormonal responses and strength performance. *J Strength Cond Res* 21: 768-775.
- Jeukendrup, A. E., Hesselink, M. K., Snyder, A. C., Kuipers, H. & Keizer, H. A. (1992). Physiological changes in male competitive cyclists after two weeks of intensified training. *Int J Sports Med* 13: 534-541.
- Johns, R. A., Houmard, J. A., Kobe, R. W., Hortobágyi, T., Bruno, N. J., Wells, J. M. & Shinebarger, M. H. (1992). Effects of taper on swim power, stroke distance, and performance. *Med Sci Sports Exerc* 24: 1141-1146.
- Juel, C. (1998). Skeletal muscle Na^+/H^+ exchange in rats: pH dependency and the effect of training. *Acta Physiol Scand* 164: 135-140.
- Kaiser, V., Janssen, G. M. & van Wersch, J. W. (1989). Effect of training on red blood cell parameters and plasma ferritin: a transverse and a longitudinal approach. *Int J Sports Med* 10: S169-S175.
- Kajiura, J. S., MacDougall, J. D., Ernst, P. B. & Younglai, E. V. (1995). Immune response to changes in training intensity and volume in runners. 27 edn, pp. 1111-1117.
- Kenitzer, R. F. (1998). Optimal taper period in female swimmers. *J Swimming Research* 13: 31-36.
- Kubukeli, Z. N., Noakes, T. D. & Dennis, S. C. (2002). Training Techniques to Improve Endurance Exercise Performances. *Sports Med* 32: 489-509.
- Lacour, J. R., Bouvat, E. & Barthélémy, J. C. (1990). Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur J Apply Physiol* 61: 172-176.

- Lakie, M. (2009).** The influence of muscle tremor on shooting performance. *Exp Physiology* 95: 441-450.
- Larsson, P. & Henriksson-Larsén, K. (2008).** Body composition and performance in cross-country skiing. *Int J Sports Med* 29: 971-975.
- Lindh, A. M., Peyrebrune, M. C., Ingham, S. A., Bailey, D. M. & Folland, J. P. (2008).** Sodium bicarbonate improves swimming performance. *Int J Sports Med* 29: 519-523.
- Lindiger, M. I. (1995).** Origins of [H⁺] changes in exercising skeletal muscle. *Can J Apply Physiol* 20: 357-368.
- López, J. L. & Fernández, A. (2008).** *Fisiología del Ejercicio*. Panamericana. Buenos Aires.
- Manfredini, F., Tschukin, A., Moran, M., angolini, C., uzzoni, D. & aberstroh, J. (1999).** Blood testing in Biathlon: Observation of hematocrit values during competitive periods 1994-1997. *Int J Sports Med* 20: 403-406.
- Manfredini, F., Manfredini, R., Carrabre, J. E., Litmanen, H., Zhukovskaja, L., Dal Follo, D. & Haberstroh, J. (2002).** Competition load and stress in sports: a preliminary study in Biathlon. *Int J Sports Med* 23: 348-352.
- Manfredini, F., Carrabre, J. E., Litmanen, H., Zhukovskaja, L., Malagoni, A. M., Dal Follo, D. & Haberstroh, J. (2003).** Blood tests and fair competition: the Biathlon experience. *Int J Sports Med* 24: 352-358.
- Manfredini, F., Malagoni, A. M., Litmanen, H. & Zhukovskaja, L. (2009).** Blood parameters and biathlon performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 49: 208-213.
- Martin, D. T., Scifres, J. C., Zimmerman, S. D. & Wilkinson, J. G. (1994).** Effects of interval training and a taper on cycling performance and isokinetic leg strength. *Int J Sports Med* 15: 485-491.

- McConell, G. K., Costill, D. L., Widrick, J. J., Hickey, M. S., Tanaka, H. & Gastin, P. B. (1993).** Reduced training volume and intensity maintain aerobic capacity but not performance in distance runners. *Int J Sports Med* 14: 33-37.
- McNair, M., Vrieze, S., Bacharach, D. & Bednarski, P. (2001).** Predicting heart rate and blood lactate in a roller ski biathlon race using field test data. *Med Sci Sports Exerc* 33 (5) Supplement 1, p S11
- McNeely, E. & Sandler, D. (2007).** Tapering for Endurance Athletes. *Strength Cond J* 29: 18-24.
- Medbø, J. L. & Sejersted, O. M. (1985).** Acid-base and electrolyte balance after exhausting exercise in endurance-trained and sprint-trained subjects. *Acta Physiol Scand* 125: 97-109.
- Morgan, W. P., Brown, D. R., Raglin, J. S., O'Connor, P. J. & Ellickson, K. A. (1987).** Psychological monitoring of overtraining and staleness. *Br J Sports Med* 21: 107-114.
- Morkeberg, J., Saltin, B., Belhage, B. & Damsgaard, R. (2009).** Blood profiles in elite cross-country skiers: a 6-year follow-up. *Scand J Med Sci Sports* 19: 198-205.
- Mujika, I. (2009).** *Tapering and Peaking for Optimal Performance*. Human Kinetics.
- Mujika, I., Chatard, J. C., Busso, T., Geysant, A., Barale, F. & Lacoste, L. (1995).** Effects of training on performance in competitive swimming. *Can J Appl Physiol* 20: 395-406.
- Mujika, I., Chatard, J. C. & Geysant, A. (1996a).** Effects of training and taper on blood leucocyte populations in competitive swimmers: relationships with cortisol and performance. *Int J Sports Med* 17: 213-217.
- Mujika, I., Chatard, J. C., Padilla, S., Guezennec, C. Y. & Geysant, A. (1996b).** Hormonal responses to training and its tapering off in competitive swimmers: relationships with performance. *Eur J Appl Physiol* 74: 361-366.

- Mujika, I., Busso, T., Lacoste, L., Barale, F., Geysant, A. & Chatard, J. C. (1996c).** Modeled responses to training and taper in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 28: 251-258.
- Mujika, I., Padilla, S., Geysant, A. & Chatard, J. C. (1997).** Hematological responses to training and taper in competitive swimmers: relationships with performance. *Arch Physiol Biochem* 105: 379-385.
- Mujika, I. (1998).** The influence of training characteristics and tapering on the adaptation in highly trained individuals: a review. *Int J Sports Med* 19: 439-446.
- Mujika, I. & Padilla, S. (2000a).** Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part I. Short Term Insufficient Training Stimulus. *Sports Med* 30: 79-87.
- Mujika, I. & Padilla, S. (2000b).** Detraining: Loss of training-induced physiological and performance adaptations. Part II. Long Term Insufficient Training Stimulus. *Sports Med* 30: 145-154.
- Mujika, I., Goya, A., Padilla, S., Grijalba, A., Gorostiaga, E. & Ibañez, J. (2000c).** Physiological responses to a 6-d taper in middle-distance runners: influence of training intensity and volume. *Med Sci Sports Exerc* 32: 511-517.
- Mujika, I., Goya, A., Ruiz, E., Grijalba, A., Santisteban, J. & Padilla, S. (2002).** Physiological and performance responses to a 6-day taper in middle-distance runners: influence of training frequency. *Int J Sports Med* 23: 367-373.
- Mujika, I. & Padilla, S. (2003).** Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1182-1187.
- Mujika, I., Padilla, S., Pyne, D. & Busso, T. (2004).** Physiological changes associated with the pre-event taper in athletes. *Sports Med* 2004, 13-891.

- Neary, J. P., Martin, T. P., Reid, D. C., Burnham, R. & Quinney, H. A. (1992).** The effects of a reduced exercise duration taper programme on performance and muscle enzymes of endurance cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 65: 30-36.
- Neary, J. P., Martin, T. P. & Quinney, H. A. (2003).** Effects of taper on endurance cycling capacity and single muscle fiber properties. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1875-1881.
- Neufer, P. D., Costill, D. L., Fielding, R. A., Flynn, M. G. & Kirwan, J. P. (1987).** Effect of reduced training on muscular strength and endurance in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 19: 486-490.
- Nikolaidis, M. G., Jamurtas, A. Z., Paschalis, V., Fatouros, I. G., Koutedakis, Y. & Kouretas, D. (2008).** The effect of muscle-damaging exercise on blood and skeletal muscle oxidative stress: magnitude and time-course considerations. *Sports Med* 38: 579-606.
- Papoti, M., Martins, L. E. B., Cunha, S. A., Zagatto, A. M. & Gobatto, C. A. (2007).** Effects of taper on swimming force and swimmer performance after an experimental ten-week training program. *J Strength Cond Res* 21: 538-542.
- Peak, J. (2000).** Fine tuning. Athletic performance. *Sportsmed News*, 2-3.
- Pizza, F. X., Flynn, M. G., Boone, J. B., Rodriguez-Zayas, J. R. & Andres, F. F. (1997).** Serum haptoglobin and ferritin during a competitive running and swimming season. *Int J Sports Med* 18: 233-237.
- Ploetz, J. A. & Rundell, K. W. (1998).** Serum haptoglobin and ferritin during a competitive running and swimming season. *Med Sci Sports Exerc* 33 (5) Supplement, p 311
- Prins, J. H., Lally, D. A., Maes, K. E., Uno, J. & Hartung, G. H. (1991).** Changes in peak force and work in competitive swimmers during training and taper as tested on a biokinetic swimming bench. *Aquatic Sports Medicine*, London, 80-88.

- Pyne, D. (1995).** A model 14 day taper: the transition from training to racing. *Australian Swim Coach* 11: 28-30.
- Raglin, J. S., Morgan, W. P. & O'Connor, P. J. (1991).** Changes in mood states during training in female and male college swimmers. *Int J Sports Med* 12: 585-589.
- Raglin, J. S., Koceja, D. M., Stager, J. M. & Harms, C. A. (1996).** Mood, neuromuscular function, and performance during training in female swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 28: 372-377.
- Reaburn, P. (1998).** Tapering. *Sports Coach* 21, 30-31.
- Renaud, J. M. (1989).** The effect of lactate on intracellular pH and force recovery of frog Sartorius muscles of the frog, *rana ripiens*. *J Physiol* 416: 31-47.
- Rietjens, G. J., Keizer, H. A., Kuipers, H. & Saris, W. H. (2001).** A reduction in training volume and intensity for 21 days does not impair performance in cyclists. *Br J Sports Med* 35: 431-434.
- Rietjens, G. J., Kuipers, H., Hartgens, F. & Keizer, H. A. (2002).** Red blood cell profile of elite olympic distance triathletes. A three-year follow-up. *Int J Sports Med* 23: 391-396.
- Robergs, R. A., Costill, D. L., Fink, W. J., Williams, C., Pascoe, D. D., Chwalbinska-Moneta, J. & Davis, J. A. (1990).** Effects of warm-up on blood gases, lactate and acid-base status during sprint swimming. *Int J Sports Med* 11: 273-278.
- Rundell, K. W. & Bacharach, D. W. (1995).** Physiological characteristics and performance of top U.S. biathletes. *Med Sci Sports Exerc* 27: 1302-1310.
- Rundell, K. W. (1995).** Treadmill roller ski test predicts biathlon roller ski race results of elite U.S. biathlon women. *Med Sci Sports Exerc* 27: 1677-1685.
- Rundell, K. W. & Szmedra, L. (1998).** Energy cost of rifle carriage in biathlon skiing. *Med*

-
- Sci Sports Exerc* 30: 570-576.
- Rushall, B. S. (1997).** Tapering considerations for big meets. *Australian Swim Coach* 13: 56-63.
- Santhiago, V., da Silva, A. S., Papoti, M. & Gobatto, C. A. (2009).** Responses of hematological parameters and aerobic performance of elite men and women swimmers during a 14-week training program. *J Strength Cond Res* 23: 1097-1105.
- Schumacher, Y. O., Schmid, A., Grathwohl, D., Bültermann, D. & Berg, A. (2002).** Hematological indices and iron status in athletes of various sports and performances. *Med Sci Sports Exerc* 34: 869-875.
- Shalin, K. (1978).** Intracellular pH and energy metabolism in skeletal muscle of man. With special reference to exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 455: 1-56
- Shalin, K. & Henriksson, J. (1984).** Buffer capacity and lactate accumulation in skeletal muscle of trained and untrained men. *Acta Physiol Scand* 122: 331-339
- Sharp, R. L., Costill, D. L., Fink, W. J. & King, D. S. (1986).** Effects of eight weeks of bicycle ergometer sprint training on human muscle buffer capacity. *Int J Sports Med* 7: 13-17.
- Shepley, B., MacDougall, J. D., Cipriano, N., Sutton, J. R., Tarnopolsky, M. A. & Coates, G. (1992).** Physiological effects of tapering in highly trained athletes. *J Appl Physiol* 72: 706-711.
- Siegler, J. C., Keatley, S., Midgley, A. W., Nevill, A. M. & McNaughton L. R. (2008).** Pre-Exercise alkalosis and acid-base recovery. *Int J Sports Med* 29: 545-551.
- Siegler, J. C., McNaughton L. R., Midgley, A. W., Keatley, S. & Hillman, A. (2010).** Metabolic alkalosis, recovery and sprint performance. *Int J Sports Med* 31: 797-802.
- Stephens, T. J., McKenna, M. J., Canny, B. J., Snow, R. J. & McConell, G. K. (2002).** Effect

of sodium bicarbonate on muscle metabolism during intense endurance cycling. *Med Sci Sports Exerc* 34: 614-621.

Svensson, M. B., Ekblom, B., Cotgreave, I. A., Norman, B., Sjöbert, B., Ekblom, Ö., Sjödin, B. & Sjödin, A. (2002). Adaptative stress response of glutathione and uric acid metabolism in man following controlled exercise and diet. *Acta Physiol Scan* 176: 43-56.

Taylor, S. R., Rogers, G. G. & Driver, H. S. (1997). Effects of training volume on sleep, psychological, and selected physiological profiles of elite female swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 29: 688-693.

Terzis, G., Stattin, B. & Holmberg, H. C. (2006). Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 16: 121-126.

Tharp, G. D. & Barnes, M. W. (1990). Reduction of saliva immunoglobulin levels by swim training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 60: 61-64.

Thomas, L. & Busso, T. (2005). A theoretical study of taper characteristics to optimize performance. *Med Sci Sports Exerc* 37: 1615-1621.

Trappe, S., Costill, D. & Thomas, R. (2000). Effect of swim taper on whole muscle and single muscle fiber contractile properties. *Med Sci Sports Exerc* 32: 48-56.

Trinity, J. D., Pahnke, M. D., Sterkel, J. A. & Coyle, E. F. (2008). Maximal power and performance during a swim taper. *Int J Sports Med* 29: 500-506.

Troup, J. P., Metzger, J. M. & Fitts, R. H. (1986). Effect of high-intensity exercise training on functional capacity of limb skeletal muscle. *J Appl Physiol* 60: 1743-1751.

Urso, M. L. & Clarkson, P. M. (2003). Oxidative stress, exercise and antioxidant supplementation. *Toxicology* 189: 41-54.

Van Handel, P. J., Katz, A., Troup, J. P., Daniels, J. T. & Bradley, P. W. (1988). Oxygen

- consumption and blood lactic acid response to training and taper. *Swimming Science V*. Champaign, IL. Human Kinetics, 18: 269-275.
- Vergès, S., Flore, P. & Favre-Juvin, A. (2003).** Blood lactate concentration/heart rate relationship: laboratory running test vs field roller skiing test. *Int J Sports Med* 24: 446-451.
- Vergès, S., Flore, P., Laplaud, D., Guinot, M. & Favre-Juvin, A. (2006).** Laboratory running test vs. field roller skiing test in cross-country skiers: a longitudinal study. *Int J Sports Med* 27: 307-313.
- Westerbald, H. & Lonnergren, J. (1991).** Slowing of relaxation during fatigue in single mouse muscle fibers. *Journal of Physiology* 434: 323-336.
- Williams, J. M. (1991).** *Psicología aplicada al deporte*. Biblioteca Nueva. Madrid.
- Wilmore, J. H. & Costill, D. L. (2004).** *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics. United States.
- Wittig, A. F., Houmard, J. A. & Costill, D. L. (1989).** Psychological effects during reduced training in distance runners. *Int J Sports Med* 10: 97-100.
- Yamamoto, Y., Mutoh, Y. & Miyashita, M. (1988).** Hematological and biochemical indices during the tapering period of competitive swimmers. *Swimming Science V*. Champaign, IL. Human Kinetics, 18: 243-249
- Zarkadas, P. C., Carter, J. B. & Banister, E. W. (1995).** Modelling the effect of taper on performance, maximal oxygen uptake, and the anaerobic threshold in endurance triathletes. *Adv Exp Med Biol* 393: 179-186.
- Zehsaz, F., Azarbaijani, M. A., Farhangimaleki, N. & Tiidus, P. (2011).** Effect of tapering period on plasma hormone concentrations, mood state, and performance of elite male cyclist. *Eur J Sport Sci* 11: 183-190.

