



DEPARTAMENTO DE TEORIA E HISTORIA DE LA EDUCACION
Universidad del País Vasco

CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS,
CONDICIÓN FÍSICA Y VELOCIDAD DE
LANZAMIENTO EN BALONMANO
DE ELITE Y AMATEUR

Tesis doctoral presentada por Dña. Cristina Granados Domínguez

Dirigida por el Dr. D. Esteban M. Gorostiaga Ayestarán

Donostia, 2007

ISBN: 978-84-695-0023-1



DEPARTAMENTO DE TEORIA E HISTORIA DE LA EDUCACION
Universidad del País Vasco

**CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS,
CONDICIÓN FÍSICA Y VELOCIDAD DE
LANZAMIENTO EN BALONMANO
DE ELITE Y AMATEUR**

Tesis Doctoral

Cristina Granados Domínguez

Donostia, 2007



DEPARTAMENTO DE TEORIA E HISTORIA DE LA EDUCACION
Universidad del País Vasco

TÍTULO DE LA TESIS

CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS,
CONDICIÓN FÍSICA Y VELOCIDAD DE
LANZAMIENTO EN BALONMANO
DE ELITE Y AMATEUR

Tesis doctoral presentada por Dña. Cristina Granados Domínguez

Dirigida por el Dr. D. Esteban M. Gorostiaga Ayestarán

Donostia, 2007

Dr. D. ESTEBAN M. GOROSTIAGA AYESTARÁN, Director del Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte de Navarra,

DECLARA

Que el trabajo de investigación titulado **“CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS, CONDICIÓN FÍSICA Y VELOCIDAD DE LANZAMIENTO EN BALONMANO DE ELITE Y AMATEUR”** ha sido realizado por Dña. Cristina Granados Domínguez, bajo mi dirección en el Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte de Navarra (Instituto Navarro de Deporte y Juventud, Gobierno de Navarra) y reúne, a mi juicio, los requisitos necesarios para que pueda ser defendido como tesis doctoral.

Y para que conste y surta los efectos oportunos, expido la siguiente declaración en Pamplona a 12 de septiembre de dos mil seis.



Dr. D. Esteban M. Gorostiaga Ayestarán

*“No basta saber, se debe también aplicar;
no es suficiente querer, se debe también hacer”*

Johann Wolfgang Von Goethe (1749-1832)

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo esta dedicado:

Muy especialmente a **mi padre**, quien me enseñó a luchar por lo que realmente merecía la pena.

A **mi madre**, de quien herede el espíritu de sacrificio.

A **mi hermano**, que tantos consejos me ha dado.

A **Esteban M. Gorostiaga**, por su paciencia y su tesón.

A **Maite Ruesta**, por su ayuda infinita.

A **Régis**, por estar siempre a mi lado.

A **todas las personas del CEIMD**, por ayudarme a llevar cabo este proyecto.

A **todos y cada uno de vosotros**, que en momentos de debilidad supisteis darme un poco de vuestro aliento para que pudiese seguir adelante.

¡Simplemente gracias!

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) comparar las características antropométricas (talla, peso corporal [PC], porcentaje de grasa corporal, y masa magra [MM]), físicas (una repetición máxima en el ejercicio de press-banca [$1RM_{PB}$], altura del salto vertical [SV], velocidad de lanzamiento del balón, potencia muscular desarrollada por los músculos extensores de las piernas y de los brazos, tiempo de carrera a máxima velocidad en 5 y 15 m, y resistencia aeróbica), en dos equipos de balonmano masculino (un equipo de elite [EM, $n=15$] y otro equipo amateur [AM, $n=15$]), 2) comparar esas mismas características en dos equipos de balonmano femenino (un equipo de elite [EF, $n=16$] y otro equipo amateur [AF, $n=15$]), 3) examinar los efectos de una temporada deportiva sobre las características antropométricas, la condición física y la velocidad de lanzamiento del balón, en jugadores de balonmano de elite masculino (EM), y 4) examinar los efectos de una temporada deportiva sobre esas mismas características en jugadoras de balonmano de elite femenino (EF). En el tercer y cuarto estudio, se realizó la misma batería de tests que en los dos primeros estudios, en 4 ocasiones diferentes (T1, T2, T3 y T4) a lo largo de la temporada, y se cuantificó el tiempo individual dedicado a 11 actividades de entrenamiento y de competición. Los resultados del primer estudio mostraron que EM presentó valores superiores ($p<0.05-0.001$) de peso corporal (13%), MM (11%), $1RM_{PB}$ (22%), potencia muscular en la acción de press-banca (18-21%) y media sentadilla (13-17%), y de velocidad de lanzamiento del balón de penalti (8%) y con 3-pasos en apoyo (9%), que el grupo AM. Se observaron correlaciones significativas ($r=0.67-71$, $p<0.05-0.01$) en EM y AM entre los valores individuales de la velocidad desarrollada con una carga del 30% de $1RM_{PB}$ y los valores individuales de la velocidad de lanzamiento de penalti. También se encontraron correlaciones significativas en EM, pero no en AM, entre los valores individuales de la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo y los valores individuales de la velocidad desarrollada con una carga del 30% de $1RM_{PB}$ ($r=0.72$, $p<0.05$), así como con los valores individuales de la potencia desarrollada con una carga del 100% del peso corporal, durante la acción de media sentadilla ($r=0.62$, $p<0.05$). En el segundo estudio, EF mostró valores superiores ($p<0.05-0.001$) de talla (6%), MM (10%), $1RM_{PB}$ (23%), SV (10%), potencia muscular en la acción de press-banca (25%) y media-sentadilla (12%), velocidad de lanzamiento del balón de penalti (11%) y con 3-pasos en apoyo (11%), así como del tiempo de carrera a máxima velocidad en 5 y 15 m (3-4%) y de la resistencia aeróbica (13%), que el grupo AF. Se observaron correlaciones significativas en EF y en AF entre los valores individuales de $1RM_{PB}$ y los valores individuales de la velocidad de lanzamiento del balón de penalti

($R^2=0.64$). Los resultados del tercer estudio mostraron que el equipo masculino de elite presentó aumentos significativos ($p<0.05-0.001$) de T1 a T3, en la masa magra (1%), $1RM_{PB}$ (2%), velocidad de lanzamiento de penalti (7%) y con 3-pasos en apoyo (6%). Se observaron correlaciones significativas ($p<0.05-0.01$) entre el tiempo dedicado al entrenamiento de fuerza y los cambios producidos en la velocidad de lanzamiento del balón, así como entre el tiempo dedicado al entrenamiento de resistencia de alta intensidad y los cambios producidos en la resistencia aeróbica. También se observó una correlación significativa entre los cambios individuales en el porcentaje de grasa corporal y los cambios relativos individuales observados en la producción de potencia con la carga del 30% de $1RM_{PB}$, en la acción de press-banca. Además, se observó una correlación negativa entre el tiempo dedicado al entrenamiento de resistencia de baja intensidad y los cambios producidos en el desarrollo de potencia muscular de las extremidades inferiores. En el cuarto estudio, el equipo femenino de balonmano de elite mostró aumentos significativos ($p<0.05-0.01$) a lo largo de la temporada, en la masa magra (2%), $1RM_{PB}$ (11%), potencia muscular en el ejercicio de press-banca (12-21%) y media sentadilla (7-13%), SV (12%), velocidad de lanzamiento de penalti y con 3-pasos en apoyo (8%), así como un descenso significativo en el porcentaje de grasa (9%). Se observaron correlaciones significativas ($p<0.05-0.01$) entre el tiempo jugado por cada jugador en los partidos y los cambios individuales producidos en la masa magra y en la velocidad producida con cargas submáximas en la acción de press-banca, así como, entre los cambios individuales producidos en la velocidad desarrollada por las extremidades superiores en la acción de press-banca (con cargas del 30%, 45% y 70% de $1RM_{PB}$) e inferiores en la acción de media sentadilla (con cargas del 80% y 100% del peso corporal) y los cambios producidos en la velocidad de lanzamiento del balón. Los cambios producidos en el porcentaje de grasa o de peso corporal correlacionaron ($p<0.01$) positivamente con los cambios producidos en la fuerza máxima y en la potencia muscular, y negativamente con los cambios observados en la resistencia aeróbica. Los resultados del presente trabajo sugieren que los jugadores y jugadoras de balonmano que presentan mayor envergadura y son más potentes tienen ventaja en el juego del balonmano. Las diferencias observadas en la masa magra pueden explicar en parte las diferencias observadas entre los grupos de elite y amateur en la fuerza máxima y en la potencia muscular. En EM, una mayor eficiencia en la velocidad de lanzamiento del balón puede estar asociada con el desarrollo de potencia con cargas submáximas de las extremidades superiores e inferiores, mientras que en EF esta relación parece ser diferente. En las jugadoras de balonmano, la velocidad de lanzamiento del balón depende más de la fuerza máxima que de la capacidad para mover rápidamente cargas de intensidad baja durante las

acciones de extensión de codo. La temporada de balonmano en jugadores masculinos se acompañó de aumentos significativos de la fuerza máxima y de la fuerza específica de las extremidades superiores, pero no de las extremidades inferiores. Las correlaciones observadas en los jugadores de elite sugieren que se debería prestar menos atención al tiempo de entrenamiento de la resistencia y de entrenamiento técnico de baja intensidad, y dar prioridad al entrenamiento de resistencia y de fuerza de alta intensidad del miembro inferior durante la temporada. La temporada de balonmano femenino se acompañó de aumentos significativos en las características antropométricas, la condición física y la velocidad de lanzamiento del balón. La magnitud de los aumentos observados en estas jugadoras fue superior a la observada en los jugadores de balonmano masculino. Las correlaciones observadas en las jugadoras de elite sugieren la importancia de incluir en el entrenamiento de balonmano ejercicios de fuerza explosiva de los músculos extensores de la rodilla y del codo. Los partidos de entrenamiento y de competición pueden ser un estímulo suficiente para mejorar la condición física y algunas características antropométricas en jugadoras de elite de balonmano femenino. Por último, en los jugadores de elite de ambos sexos se debería prestar mucha atención a la forma de perder peso para no interferir en la ganancia de fuerza.

Palabras clave: fuerza muscular, potencia muscular, resistencia aeróbica, velocidad de lanzamiento del balón, programación de entrenamiento

ABSTRACT

The aims of this study were: 1) to compare anthropometric characteristics [body height, body mass (BM), body fat and free fatty mass (FFM)], physical (one repetition maximum bench-press [$1RM_{BP}$], vertical jumping height [VJ], handball throwing velocity, power-load relationships of the leg and arm extensor muscles, 5 and 15 m sprint running time, and running endurance) in two handball male teams (elite team [EM, $n=15$] and amateur team [AM, $n=15$]), 2) to compare the same characteristics in two handball female teams (elite team [EF, $n=16$] and amateur team [AFM, $n=15$]), 3) to examine the effects of an entire season on anthropometric characteristics, physical fitness and throwing velocity in elite handball male players (EM), and 4) to examine the effects of an entire season on the same characteristics in elite handball female players (EF). In the third and four studies, the test battery carried on was the same as the one performed in the two previous studies, in four different occasions (T1, T2, T3 and T4) during the season, and the time devoted to 11 training and competition activities was quantified. The results of the first study showed that EM gave higher values ($p<0.05-0.001$) in BM (13%), FFM (11%), $1RM_{BP}$ (22%), muscle power during bench-press (18-21%) and half squat (13-17%), and throwing velocities at standing (8%) and 3-step running (9%) actions than AM. Significant correlations ($r=0.67-0.71$, $p<0.05-0.01$) were observed in EM and AM between individual values of velocity at 30% of $1RM_{BP}$ and the individual values of ball velocity during a standing throw. Significant correlations were observed in EM, but not in AM, between the individual values of velocity during 3-step running throw and the individual values of velocity at 30% of $1RM_{BP}$ ($r=0.72$, $p<0.05$), as well as the individual values of power at 100% of body mass during half-squat actions ($r=0.62$, $p<0.05$). In the second study, EF showed higher values ($p<0.001-0.05$) in body height (6%), FFM (10%), $1RM_{BP}$ (23%), VJ (10%), muscle power during bench-press (25%) and half squat (12%), throwing velocities at standing (11%) and 3-step running (11%), as well as 5- and 15-m sprint (3-4%) and endurance running velocities (13%), than AF. Univariate regression analyses showed that $1RM_{BP}$ was associated with standing throw velocity ($R^2=0.64$). The results of third study showed that elite handball male players had significant increases ($p<0.05-0.001$) from T1 to T3, in free fatty mass (1.4%), $1RM_{BP}$ (1.9%), standing throwing velocity (6.5%) and 3-step throwing velocity (6.2%). Significant correlations ($p<0.05-0.01$) were observed between strength training time and changes in standing throwing velocity, as well as between high intensity endurance training time and changes in endurance running. Significant relationships were also observed between the individual relative changes in percent body fat and the individual relative changes in concentric power production at the load

of 30% of $1RM_{BP}$, during bench-press action. In addition, linear inverse relationships were observed between low intensity endurance training time and changes in muscle power output of the lower extremities. In the four study, elite handball female players showed significant increases ($p < 0.05-0.01$) during the season in free fatty mass (1.8%), $1RM_{BP}$ (11%), bench press (12-21%) and half-squat (7-13%) muscle power output, VJ (12%), standing and 3-step throwing velocity (8%), as well as a significant decrease in percent body fat (9%). Significant correlations ($p < 0.05-0.01$) were observed between time devoted to games and changes in velocity at submaximal loads during bench press actions, as well as between changes in muscle velocity output of the upper (with the loads of 30%, 45% and 70% of $1RM_{BP}$) and lower (with the loads of 80% and 100% of body weight) extremities and changes in throwing velocity. Changes in percent body fat or body mass correlated ($p < 0.01$) positively with changes in maximal strength and muscle power, and negatively with changes in endurance running. The present results suggest that more muscular and powerful handball male and female players are in advantage in handball. The differences observed in free fatty mass could partly explain the differences observed between groups in absolute maximal strength and muscle power. In EM, higher efficiency in handball throwing velocity may be associated with both upper and lower extremity power output capabilities, whereas in EF this relationship may be different. In handball female players throwing velocity values depend more on maximal strength than on the capacity to move low loads at high velocities, during elbow extension actions. The handball season in elite handball male players resulted in significant increases in maximal and specific strength of the upper extremity but no in the lower extremity actions. The magnitude of these changes is higher than the changes observed in male elite handball players. The correlations observed in the male handball team suggest that training time at low intensity should be given less attention whereas the training stimuli for high intensity endurance running and leg strength training should be given more careful attention in the full training season program. The handball season in elite handball female players resulted in significant increases in anthropometric characteristics, physical fitness and throwing velocity. The correlations observed suggest the importance of including explosive strength exercises of the knee and elbow extensions. Official and training games may be an adequate stimulus for enhancing certain physical fitness characteristics in female elite handball players. In both elites, male and female players, special attention may be needed to be paid to the mode of loss weight and body fat, in order to increase endurance capacity without interfering in strength gains.

Keywords: muscle strength, muscle power, endurance, arm throwing, training schedule

GLOSARIO

1 RM _{PB}	Una repetición máxima en el ejercicio de press- banca	Fp	Fuerza con pesas
		FC	Frecuencia cardíaca
		FCmax	Frecuencia cardíaca máxima
		FC ₃	Frecuencia cardíaca correspondiente a 3 mmol·l ⁻¹ de lactato en sangre
A		I	
AF	Amateur femenino	IMC	Índice de masa corporal
ANOVA	Análisis de varianza		
AM	Amateur masculino	M	
B		MM	Masa magra
B1	Ejercicios de balón de baja intensidad	MS	Media sentadilla
B2	Ejercicios de balón de media intensidad	P	
B3	Ejercicios de balón de alta intensidad	p	Significación estadística
C		PB	Press-banca
C	Competición	PC	Peso corporal
Cr	Creatina	PCr	Fosfocreatina
D		R	
DE	Desviación estándar	r	Coficiente de correlación
E		R	Coficiente de regresión
Ej.:	Ejemplo	R1	Resistencia de baja intensidad
EF	Elite femenina	R2	Resistencia de media intensidad
EM	Elite masculina		
E	Entrenamiento		
F			
Fe	Fuerza específica		

R3 Resistencia de alta
intensidad

S

SV Salto vertical

SV_P Potencia del salto
vertical

T

T1 Primer test

T2 Segundo test

T3 Tercer test

T3_F Tercer test de fuerza

T3_R Tercer test de
resistencia

T4 Cuarto test

V

V₃ Velocidad
correspondiente a 3
mmol·l⁻¹ de lactato en
sangre

VO₂max Consumo máximo de
oxígeno

Vs. Versus

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Antecedentes	12
1.1.1. Historia del balonmano.....	12
1.1.2. Forma de juego del balonmano.....	15
1.1.3. Características de un partido de balonmano.....	18
1.1.4. Características físicas de un partido de balonmano.....	18
1.1.5. Características fisiológicas de un partido de balonmano.....	19
1.1.5.1. Participación del metabolismo aeróbico.....	20
1.1.5.2. Participación del metabolismo anaeróbico láctico.....	20
1.1.5.3. Participación del metabolismo anaeróbico aláctico.....	23
1.1.5.4. Utilización de sustratos energéticos durante el partido de balonmano.....	23
1.1.6. Características físicas de los jugadores de balonmano.....	26
1.1.6.1. Características antropométricas.....	26
1.1.6.2. Composición de las fibras musculares.....	28
1.1.6.3. Evaluación de la resistencia aeróbica: consumo máximo de oxígeno.....	29
1.1.6.4. Fuerza máxima, potencia muscular, salto vertical y velocidad de carrera.....	31
1.1.6.5. Velocidad de lanzamiento de balón.....	32
1.1.7. Algunos aspectos dietéticos del balonmano.....	34
1.1.7.1. Hidratos de carbono, vitaminas y minerales.....	34
1.1.7.2. Creatina y balonmano.....	36
1.1.7.3. Consecuencias de la pérdida de peso y grasa corporal.....	41
1.1.8. Conclusión.....	42
1.2. Hipótesis	43
1.3. Objetivos	44

2. MATERIAL Y MÉTODOS	45
2.1. Diseño experimental	47
2.1.1. Estudios longitudinales.....	48
2.1.2. Estudios transversales.....	49
2.2. Sujetos	51
2.3. Programación de los tests	53
2.4. Mediciones	54
2.4.1. Características físicas.....	54
2.4.2. Medición del tiempo de carrera a máxima velocidad y de la resistencia aeróbica.....	54
2.4.3. Medición de la altura del salto vertical.....	56
2.4.4. Medición de la fuerza máxima y de la potencia muscular.....	57
2.4.5. Medición de la velocidad de lanzamiento del balón.....	59
2.4.6. Análisis de los datos de entrenamiento y competición.....	61
2.5. Análisis estadístico	66
3. RESULTADOS	69
3.1. Diferencias entre jugadores de balonmano de elite y amateur masculino	71
3.1.1. Características físicas.....	71
3.1.2. Carrera a máxima velocidad.....	72
3.1.3. Salto vertical.....	73
3.1.4. Fuerza máxima y potencia muscular.....	73
3.1.5. Velocidad de lanzamiento del balón.....	76
3.1.6. Correlaciones entre la fuerza, la potencia muscular y la velocidad de lanzamiento del balón.....	77
3.2. Diferencias entre jugadoras de balonmano de elite y amateur femenino	79
3.2.1. Características físicas.....	79
3.2.2. Carrera a máxima velocidad.....	79
3.2.3. Salto vertical.....	80

3.2.4. Fuerza máxima y potencia muscular.....	81
3.2.5. Velocidad de lanzamiento del balón.....	84
3.2.6. Correlaciones entre la fuerza, la potencia muscular y la velocidad de lanzamiento del balón.....	85
3.3. Efectos de una temporada de balonmano en jugadores de elite masculino	86
3.3.1. Tiempo dedicado al entrenamiento y a la competición.....	86
3.3.2. Características físicas.....	87
3.3.3. Fuerza máxima y potencia muscular	88
3.2.4. Salto vertical.....	89
3.3.5. Carrera a máxima velocidad.....	89
3.3.6. Velocidad de lanzamiento del balón.....	90
3.3.7. Correlaciones entre los tiempos dedicados a las actividades de entrenamiento y competición, los cambios en la condición física, en la velocidad de lanzamiento y las características antropométricas, durante la temporada.....	90
3.4. Efectos de una temporada de balonmano en jugadoras de elite femenino	95
3.4.1. Tiempo dedicado al entrenamiento y a la competición.....	95
3.4.2. Características físicas.....	96
3.4.3. Fuerza máxima y potencia muscular	97
3.4.4. Salto vertical.....	98
3.4.5. Carrera a máxima velocidad.....	99
3.4.6. Velocidad de lanzamiento del balón.....	99
3.4.7. Correlaciones entre los tiempos dedicados a las actividades de entrenamiento y competición, los cambios en la condición física, y las características antropométricas, durante la temporada.....	99
3.4.8. Correlaciones entre los cambios en la fuerza y los cambios en la carrera a máxima velocidad.....	100
3.4.9. Correlaciones entre la fuerza y la velocidad de lanzamiento del balón.....	101
3.4.10. Correlaciones entre los cambios en las características físicas y los cambios en la fuerza y en la resistencia aeróbica.....	103

4. DISCUSIÓN	105
4.1. Diferencias entre jugadores de balonmano de elite y amateur masculino	107
4.2. Diferencias entre jugadoras de balonmano de elite y amateur femenino	112
4.3. Efectos de una temporada de balonmano en jugadores de elite masculino	118
4.4. Efectos de una temporada de balonmano en jugadoras de elite femenino	126
5. RESUMEN Y CONCLUSIONES	133
5.1. Diferencias entre jugadores de balonmano de elite y amateur masculino	135
5.2. Diferencias entre jugadoras de balonmano de elite y amateur femenino	135
5.3. Efectos de una temporada de balonmano en jugadores de elite masculino	136
5.4. Efectos de una temporada de balonmano en jugadoras de elite femenino	137
6. FUENTES DE FINANCIACIÓN	139
7. BIBLIOGRAFÍA	143
8. APÉNDICE Y PUBLICACIONES	163

“Cuando en un deporte la “habilidad de hacer” se convierte en arte, y sus protagonistas llegan a ser virtuosos, cuando el espíritu del equipo consigue subordinarse a la prominencia de cada individuo, y el deseo por el éxito sobrepasa el dolor mental y físico- entonces es cuando uno llega a ser el mejor entre los mejores dentro de un deporte.”

(Vlak y Pivalica, 2004)



INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El balonmano es un deporte de contacto en el que los jugadores regatean, pasan y tiran el balón con sus manos, intentando que el balón entre en la portería de los oponentes el mayor número de veces posible. Se juega entre dos equipos, hombres o mujeres, niños, jóvenes o adultos, en un terreno de 40 m x 20 m, cubierto o al aire libre. En cada equipo solamente pueden jugar a la vez un máximo de 7 jugadores (un portero y 6 jugadores de campo). Dichos jugadores pueden ser sustituidos en cualquier momento durante el partido por otros 5 jugadores. La duración del partido es de 60 minutos, dividida en dos partes de 30 minutos, separadas por 15 minutos de descanso. El juego solamente puede ser interrumpido temporalmente por el árbitro cuando hay una incidencia (Ej.: lesión de un jugador), o en los 2 periodos de tiempo muerto de un minuto de duración, que cada equipo puede solicitar si lo considera oportuno (1 período en cada tiempo, por cada equipo).

Desde sus orígenes, a finales del siglo XIX, el balonmano ha tenido numerosas transformaciones en lo referente a sus reglas, técnica, táctica, entrenamiento y competición. Estos cambios han sido especialmente marcados desde que el balonmano empezó a jugarse en campos cubiertos y desde que se admitió como deporte olímpico (1936).

El rápido desarrollo del balonmano que se ha producido con el incremento de espectadores, la televisión y los patrocinadores ha provocado, al igual que en otros deportes, una mayor profesionalización de todos los equipos de alto nivel. Esto también ha transformado profundamente este deporte, porque, por ejemplo, la velocidad, la fuerza y el peso de los jugadores ha aumentado en las últimas décadas (Norton y Olds, 2001). Además, la intensidad del juego durante el partido se ha acentuado, así como la potencia del tiro a portería. Todo esto ha hecho que el balonmano haya llegado a ser, hoy en día, un deporte duro y comprometedor, que requiere de una gran preparación física, mental y técnica de sus jugadores.

Los entrenadores sostienen que para ganar un partido de balonmano es muy importante tener una defensa firme y fuerte. Por ello, la astucia para

engañar al oponente y la agresividad al realizar las acciones ofensivas y defensivas caracteriza a este deporte, a cualquier edad, tanto en hombres como en mujeres. El éxito se convierte en la única medida. Los campeones, son recordados y los apenados perdedores olvidados. Cuando el concepto de “anular al contrario a toda costa” es aplicado, nos podemos encontrar con numerosas lesiones, muchas de ellas severas y con un pronóstico severo que puede poner en peligro la carrera de los deportistas.

El número de trabajos publicados en la literatura científica internacional sobre el balonmano es muy inferior al de los trabajos publicados sobre otros deportes de equipo, como el fútbol o el baloncesto. Por ejemplo, entre 1964 y 2005 se han publicado 230 artículos sobre balonmano, mientras que en la misma época se han publicado 2262 artículos sobre fútbol europeo (soccer) y 1246 artículos sobre baloncesto (Base de datos Pubmed, período 1964-2005). La mayoría de los trabajos sobre balonmano se han interesado en estudiar más aspectos relacionados con la traumatología y la rehabilitación que las características fisiológicas de los jugadores. Sin embargo, los pocos trabajos publicados que han analizado las características físicas y fisiológicas del juego del balonmano y de sus jugadores, permiten conocer mejor lo que ocurre en el organismo de los jugadores cuando juegan un partido de balonmano y las condiciones físicas que se requieren para jugarlo.

Como ha ocurrido con otros deportes de equipo, el balonmano se ha considerado tradicionalmente como un juego dominado por los hombres. Sin embargo, desde que en las Olimpiadas de Montreal de 1976 el balonmano femenino fue introducido como deporte olímpico (Khosla y McBroom, 1985), ha aumentado el número de participantes y el número de estudios científicos publicados sobre balonmano femenino.

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Historia del balonmano

Aunque el balonmano moderno es un deporte de reciente creación, sus orígenes se remontan a la antigua Grecia. Ya entonces, Homero describía en la

“Odisea” el “Juego de Ucrania”, un juego de pelota en el que sólo se utilizaba la mano y cuya finalidad era que la bola, del tamaño de una manzana, no tocara el suelo.

En la época romana, se tienen noticias de que un médico, Claudio Galeno, recomendaba a sus enfermos que jugaran al “Hapaston”, que se practicaba con un balón.

Durante la Edad Media, los juegos de pelota con la mano que se practicaban fueron bautizados como los “Primeros Juegos de Verano” por los trovadores de la época.

Sin embargo, se cree que los orígenes del balonmano moderno no comienzan hasta el siglo XIX. Así, en 1892, Honrad Koch, profesor de Gimnástica, creó el “Raffballspied”, que presentaba características muy parecidas al actual balonmano. En ese tiempo, en Checoslovaquia se practicaba en las escuelas un juego parecido al balonmano en el que cada equipo estaba formado por siete jugadores, denominado “Hazena”, cuyo primer reglamento apareció en 1905.

En 1898, Holger Nielsen, profesor de Gimnasia de un Instituto de Enseñanza Media de Dinamarca, introducía un nuevo juego al que llamó “Haandbol”, que se jugaba con un balón pequeño y cuyo objetivo era meter goles en una portería de fútbol, pero utilizando las manos.

Sin embargo, los historiadores apuntan a un profesor de Educación Física llamado Max Heiser, afincado en Berlín, como el verdadero y legítimo “padre” del balonmano. El juego creado por Heiser lo denominaba “Torball” y lo jugaba en 1907 con sus alumnas en una de las principales avenidas de Berlín.

En 1909, un compatriota de Heiser, Carl Schelen, “inventó” un nuevo juego inspirado en el fútbol, al que puso el nombre de “Handball”. Cada equipo estaba compuesto por once jugadores y se jugaba sobre un terreno de fútbol. Este juego se afianzó después de la Primera Guerra Mundial, convirtiéndose en Alemania en deporte oficial.

Otros estudios, atribuyen la paternidad de este deporte a Uruguay, donde comenzó a ser muy conocido en 1916 un juego muy parecido al actual, cuyo primer encuentro oficial se celebró en el estadio de Montevideo en 1918.

La primera Federación Internacional de Balonmano se constituyó en Ámsterdam, en 1928, con la adhesión de 11 países. Fue deporte olímpico por primera vez en 1936 (Olimpiada de Berlín), pero desapareció del programa olímpico y reapareció de nuevo en la Olimpiada de Munich en 1972 (masculino) y en la de Montreal de 1976 (femenino).

En España, comenzó a practicarse en el ejército. De hecho, fue la Escuela Militar de Toledo la que creó la primera normativa y los primeros trabajos técnicos sobre este deporte. La primera normativa, un primer esbozo de un reglamento titulado "balón a mano", la firmó el Capitán Hermosa y data de 1929. Diez años más tarde, el juego se formalizó en la Escuela Central de Educación Física de Toledo.

En 1941 se fundó la Federación Española de Balonmano, que organizó el primer Campeonato de España en la temporada 42-43, con la característica de que se jugaba once contra once jugadores en un terreno de fútbol. En ese mismo año la Federación Española editó oficialmente el reglamento del juego.

En el año 1951, comenzó a jugarse oficialmente en España el Campeonato de Primera División Nacional, con 7 jugadores de campo y en pista de 40 m x 20 m, proclamándose campeón el Atlético de Madrid. También comenzó a disputarse la Liga Nacional Femenina, con triunfo de la Selección Femenina de Madrid. El balonmano practicado con siete jugadores le fue ganando poco a poco el terreno al balonmano practicado con once jugadores, que terminó por desaparecer.

En 1958, España participó por primera vez en un Campeonato del Mundo de Balonmano, celebrado en la República Democrática Alemana.

Por su parte, el balonmano femenino español comenzó a romper los tabúes en 1967, año en el que se jugó el primer partido internacional, en Bilbao.

Diez años más tarde, la selección española femenina consiguió una plaza para participar en un Campeonato Mundial B femenino.

Para el balonmano español masculino, 1979 fue un año muy especial, ya que se obtuvo el título de campeón en el mundial B y una plaza para participar en los Juegos Olímpicos de Moscú de 1980.

Desde esa fecha la progresión de España en el concierto mundial del balonmano masculino ha sido evidente, figurando actualmente entre los mejores equipos del mundo. Esta escalada está referendada por los títulos conseguidos en los últimos años: medalla de bronce en los Juegos Olímpicos de Atlanta de 1996, medalla de plata en los Campeonatos de Europa de 1996, 1998 y 2006. También, en el año 2005, la Selección Española masculina se ha proclamado Campeona del Mundo. Además los clubes españoles, reforzados con jugadores de otras naciones, han conseguido varias Copas de Europa. Se puede afirmar, sin lugar a dudas, que la Liga española masculina, junto con la liga alemana, son las competiciones de más categoría del mundo (<http://www.rfebm.com>).

Por último, hay que decir que el balonmano español femenino también ha ido progresando mucho en los últimos años en las competiciones europeas. Por ejemplo, el equipo español Mar Osito ha ganado la Supercopa de Europa en el año 1998, la Recopa de Europa en el año 2000 y ha sido subcampeón de Europa en el año 2003 (<http://www.rfebm.com>).

Estos últimos resultados permiten afirmar que, actualmente, el balonmano masculino y femenino español se encuentran, a nivel de selección y de clubes, entre los mejores de Europa y del Mundo.

1.1.2. Forma de juego del balonmano

El balonmano es un deporte de asociación con adversarios, jugado por siete jugadores contra siete, y con cinco reservas por equipo (Delgado y de Miguel, 1988).

El partido comienza con los equipos situados en sus respectivos campos, cuando un jugador de uno de los equipos, pisando la línea central, cede la pelota a un compañero; a partir de aquí tratarán de introducir el balón en la portería contraria lanzándolo sin pisar el área de portería (Figura 1.1). Si el balón no penetra, porque lo para el portero o sale directamente fuera por la línea de fondo, el portero se encarga de poner en juego el balón, pasando a algún compañero sin salir con el balón del área de portería. También está prohibido que un jugador de campo pase al portero mientras se encuentra dentro del área de portería. Ningún jugador de campo puede penetrar en el área de portería y el portero puede salir del área de portería, siempre que en ese momento no esté en posesión del balón (Delgado y de Miguel, 1988).

El balón avanza mediante pases o se conduce botándolo con una mano evitando hacer “dobles” (botar el balón, cogerlo y volverlo a botar) y hacer “pasos” (dar más de tres pasos con el balón en la mano).

Las características específicas del balonmano según Delgado y de Miguel (1988), son las siguientes:

- 1) *El balón*: Es un balón de entre 48 y 60 cm de diámetro, de cuero o de material sintético. Sus medidas y peso varían según el sexo, y son las siguientes:
 - *Masculino*: de 58 a 60 cm de diámetro y de 425 a 475 gr de peso.
 - *Femenino*: de 54 a 56 cm de diámetro y de 325 a 400 gr de peso.
- 2) *El terreno de juego*: Es un rectángulo de 40 m x 20 m. Esto permite que se pueda jugar el balón de un extremo a otro del campo con acciones a diferente velocidad (Figura 1.1).

Dentro del terreno existen zonas y líneas:

- *Área de portería:* Es un espacio que tiene la forma de un semicírculo de 6 metros de radio, para uso exclusivo del portero, estando sancionada su invasión por parte de los jugadores.
- *Área de golpe franco:* Es un espacio comprendido entre la línea de 6 metros y la línea de 9 metros.

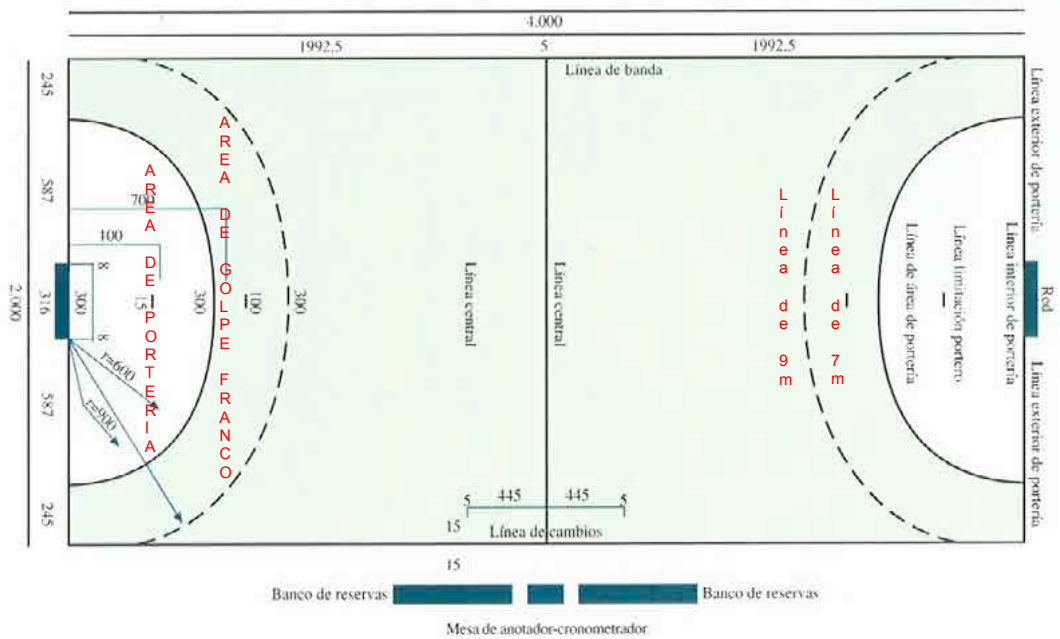


Figura 1.1. Campo de balonmano, zonas y líneas (Delgado y Miguel, 1988).

- *Línea de 6 metros:* Es una línea que delimita el área de portería.
 - *Línea de 7 metros:* Es una línea de un metro de longitud situada en frente de la portería desde donde se realiza el lanzamiento de 7 metros o penalti.
 - *Línea de 9 metros:* Es una línea discontinua o de golpe franco, desde donde se realiza el saque de toda falta cometida entre las líneas de 6 m y 9 m.
- 3) *Los jugadores:* Un equipo se compone de 12 jugadores inscritos en el acta. Solo pueden jugar a la vez 6 jugadores de campo y 1 portero. El resto de los jugadores puede entrar en cualquier momento en el terreno, sustituyendo a un compañero.

- 4) *La portería*: Mide 3 metros de largo y 2 metros de alto. Está defendida directamente por el portero y por los jugadores defensores, que se deben situar fuera del área (línea de 6 metros).
- 5) *El gol*: Es el elemento de puntuación o tanteo para determinar al equipo ganador o perdedor de un partido. Se consigue cuando el balón rebasa totalmente la línea interior de la portería (línea de portería).
- 6) *Duración del partido*: Un partido de balonmano consta de dos tiempos de 30 minutos, con un descanso entre ellos de 10 minutos. Durante el tiempo de juego solamente se puede parar el cronómetro por circunstancias excepcionales y a instancias del árbitro. Algunas de estas circunstancias excepcionales son: lesión de un jugador, irregularidades en el marcador, o cuando el balón ha ido a parar muy lejos del terreno de juego, o tarda en devolverse a los jugadores.

1.1.3. Características de un partido de balonmano

El estudio descriptivo de un partido de balonmano se suele abordar de dos modos: midiendo variables mecánicas (distancias recorridas, velocidades empleadas, cambios de ritmo) y midiendo variables biológicas (frecuencia cardiaca, concentración de lactato sanguíneo, utilización de sustratos energéticos, etc.). Este doble análisis permite obtener una información valiosa a la hora de analizar posteriormente las cualidades físicas que debería poseer un jugador de balonmano y de diseñar un programa de entrenamiento adecuado.

1.1.4. Características físicas de un partido de balonmano

Desde un punto de vista físico, se puede decir que el balonmano es un deporte de equipo en el que se realizan esfuerzos de elevada intensidad relativa, intercalando momentos de reposo o de baja intensidad con esfuerzos de máxima intensidad y corta duración, en los que los jugadores tienen que correr, saltar y lanzar el balón a la máxima intensidad posible (Jacobs, 1998). Se puede considerar que el balonmano es un deporte de contacto, porque durante los

partidos los jugadores realizan a menudo acciones contra sus adversarios (bloqueos, golpes, empujes y agarres).

El número de minutos que un jugador juega en cada partido es muy variable porque cualquier jugador puede ser sustituido y puede volver a jugar en cualquier momento del partido, siempre que en el terreno de juego haya un máximo de 7 jugadores. En un estudio realizado en los años 70, Mikkelsen y Olesen (1976) encontraron que los jugadores de elite jugaban una media de 34 a 39 minutos por partido oficial. Sin embargo, el rango de minutos jugados por un jugador puede oscilar entre unos pocos segundos y 60 minutos.

Existen muy pocos trabajos que han analizado la distancia que recorren los jugadores de balonmano durante los partidos oficiales (Alexander y Boreskie, 1989; Cuesta, 1991; Wallace y Cardinale, 1997). Además, la metodología empleada para medirla (una sola cámara de vídeo, registro manual sobre planilla) es menos precisa que la utilizada en otros deportes. Los resultados de estos estudios indican que la distancia media recorrida en un partido de balonmano por los jugadores masculinos de elite internacional puede oscilar entre 2 y 4 km (Cuesta, 1991; Wallace y Cardinale, 1997). Esta distancia es muy inferior a los 10-12 km que recorren los futbolistas durante un partido (Withers y col., 1982). Además, los jugadores de balonmano recorren una importante fracción de la distancia del partido moviéndose lateralmente o hacia atrás (Alexander y Boreskie, 1989). Lo que se ha visto en los últimos años es que el número medio de ataques que hace un equipo por partido ha aumentado significativamente (Suter, 1996). Esto refleja, probablemente, un aumento de la intensidad del juego de balonmano.

En balonmano masculino se han encontrado algunas diferencias en la distancia recorrida durante un partido, en función de la posición ocupada en el terreno del campo. Por ejemplo, los extremos y los pivotes parece que recorren algo más de distancia que los laterales (Cuesta, 1991). Sin embargo, debido al pequeño número de estudios realizados, a la pobre metodología empleada y a que dichos estudios se llevaron a cabo a finales de los años 80, no se pueden establecer conclusiones definitivas al respecto. En lo que nosotros conocemos, no existen estudios publicados en la literatura que hayan analizado la distancia

recorrida por las jugadoras de balonmano, ni el tipo de actividad e intensidad desarrolladas durante los partidos de balonmano masculino o femenino.

1.1.5. Características fisiológicas de un partido de balonmano

1.1.5.1. Participación del metabolismo aeróbico

El método más utilizado para estimar el costo energético durante un partido de balonmano es el que mide durante el mismo la evolución de la frecuencia cardiaca. Ello se debe a que la medida de la frecuencia cardiaca es muy fácil de llevar a cabo y a que, en cada individuo, la frecuencia cardiaca está relacionada directamente con el consumo de oxígeno, en condiciones ambientales similares, y a condición de utilizar masas musculares similares. Esta medida indirecta del consumo de oxígeno permite estimar la participación del metabolismo aeróbico (producción de energía utilizando oxígeno) durante un partido de balonmano.

El trabajo más completo realizado hasta la fecha sobre los aspectos fisiológicos del balonmano es el llevado a cabo por Mikkelsen y Olesen en los años 70, con jugadores internacionales suecos (Mikkelsen y Olesen, 1976). La figura 1.2 muestra la evolución de la frecuencia cardiaca de un jugador internacional de la Primera División sueca, durante la segunda parte de un partido amistoso (Ekblom, 1986; Mikkelsen y Olesen, 1976). Se observa que la frecuencia cardiaca media durante el partido se situó en valores de 170-175 latidos por minuto, y que presentó a lo largo de esos 30 minutos de partido variaciones que oscilaron entre 160 y 185 latidos por minuto. En ningún momento el jugador alcanzó durante el partido el valor de su frecuencia cardiaca máxima (FCmax), obtenido en laboratorio durante una prueba progresiva realizada hasta el agotamiento. Estos valores de frecuencia cardiaca han sido confirmados por otros autores en jugadores de menor nivel (Delamarche y col., 1987; Ekblom, 1986; Loftin y col., 1996; Van Gool y col., 1988) y corresponden a una intensidad relativa media del 75% - 85% de la frecuencia cardiaca máxima individual de reserva (Karvonen y col., 1957; Rodhe y Espersen, 1988; Van Gool y col., 1988).

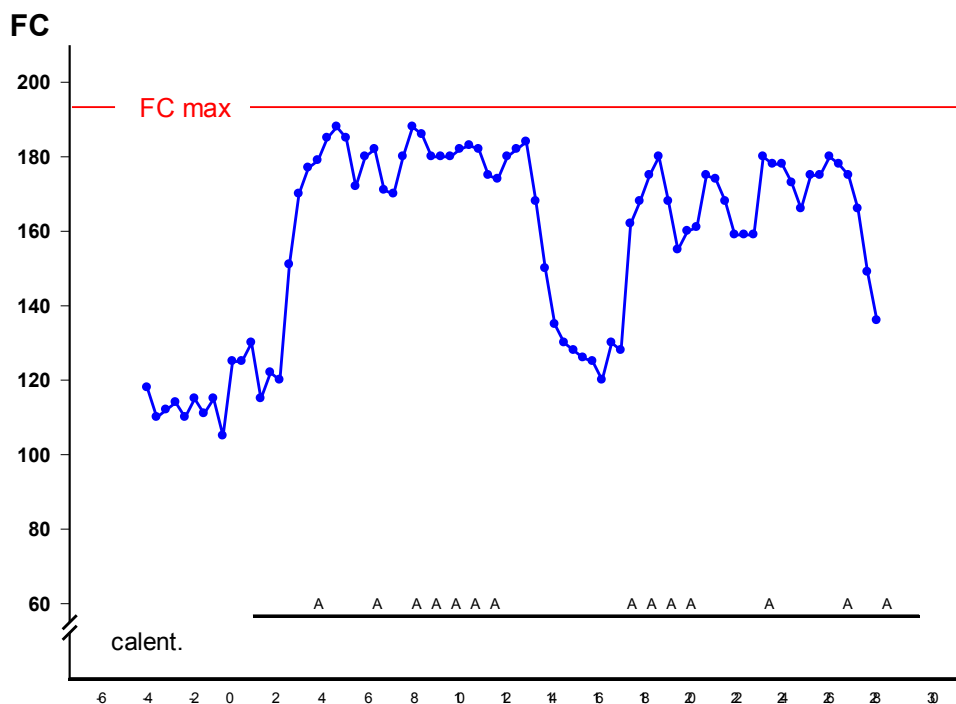


Figura 1.2. Evolución de la frecuencia cardiaca de un jugador de balonmano de la primera división sueca durante la segunda parte de un partido amistoso de balonmano. “FCmax”: Frecuencia cardiaca máxima; “calent.”: calentamiento; “A”: corresponde a las fases de ataque del partido (adaptada de Mikkelsen y Olesen, 1976).

Teniendo en cuenta la relación que existe entre la frecuencia cardiaca de reserva (en porcentaje de la frecuencia cardiaca máxima) y el consumo de oxígeno (en porcentaje del consumo máximo de oxígeno), se puede estimar que la intensidad media de un partido de balonmano corresponde al 75-85% del consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{max}$) individual (Van Gool y col., 1988). Mikkelsen y Olesen (1976) confirmaron estos valores porque midieron realmente el consumo de oxígeno en jugadores internacionales de elite suecos mientras llevaban a cabo acciones de juego que simulaban fases de un partido. Estos resultados indican que la sollicitación del metabolismo aeróbico durante un partido de balonmano es importante, y que el juego del balonmano puede ser un estímulo adecuado y recomendable para mejorar la resistencia aeróbica y la aptitud del aparato cardiovascular en personas de baja condición física, siempre que se juegue por lo menos 3 veces por semana, 30 minutos cada vez. Sin embargo, los jugadores de balonmano solamente suelen jugar unos 30-35 minutos de media durante los partidos oficiales, con un consumo calórico bastante pequeño (entre 500 y 800 kcal) (Banister, 1964). Este tiempo de juego

y de gasto calórico es tres veces menor que el de los futbolistas. Por lo tanto, aunque el metabolismo aeróbico participa de modo significativo durante un partido de balonmano, la importancia que tiene dicho metabolismo aeróbico en las prestaciones del juego de balonmano será probablemente inferior a la que tiene en el fútbol.

1.1.5.2. Participación del metabolismo anaeróbico láctico

La participación del metabolismo anaeróbico (producción de energía sin utilizar oxígeno) láctico durante un partido de balonmano masculino se suele estimar de modo indirecto, mediante el estudio de la evolución de la concentración sanguínea de lactato. Los resultados de distintos trabajos indican que la concentración media de lactato en sangre total durante los partidos amistosos de balonmano masculino de nivel internacional es de alrededor de 3 a 6 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Gerisch y col., 1988; Rodhe y Espersen, 1988), aunque las variaciones individuales pueden oscilar entre 2 y 12 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Delamarche y col., 1987; Gerisch y col., 1988; Mikkelsen y Olesen, 1976). En general, los valores medios observados al final de la primera parte del partido son ligeramente superiores (1-2 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) a los observados en la segunda parte (Mikkelsen y Olesen, 1976). Aunque existen muy pocos estudios que han analizado la concentración sanguínea de lactato durante partidos oficiales de nivel internacional, parece que los valores medios suelen ser ligeramente superiores a los encontrados en los partidos amistosos (Delamarche y col., 1987).

Los valores de lactato sanguíneo observados parecen confirmar que la intensidad relativa media de un partido de balonmano oscila entre el 75 y el 85% del consumo máximo de oxígeno, y que la participación del metabolismo anaeróbico es muy inferior, cuantitativamente, a la de los procesos aeróbicos, aunque es decisiva durante las fases de ejecución a máxima velocidad.

Con respecto al balonmano femenino, no conocemos trabajos que hayan estudiado la evolución de la frecuencia cardiaca, del consumo de oxígeno o de la concentración sanguínea de lactato durante fases de un partido de balonmano.

Los valores de lactato sanguíneo observados durante los partidos son muy inferiores a los encontrados por otros autores ($10-20 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$) al realizar ejercicios en los que la acidosis parece favorecer la aparición de la fatiga (Sahlin, 1978). Esto permite suponer que la capacidad para tolerar grandes cantidades de ácido láctico no es un factor que limita el rendimiento durante un partido de balonmano.

1.1.5.3. Participación del metabolismo anaeróbico aláctico

El metabolismo anaeróbico aláctico participa de modo predominante en la producción de energía en acciones realizadas a gran intensidad y de muy pequeña duración (inferior a 5 segundos). La capacidad para producir la máxima cantidad de energía por unidad de tiempo de esta fuente de producción de energía está muy relacionada con la capacidad para generar la máxima tensión muscular. Aunque el tiempo durante el cual se producen acciones a la máxima velocidad de ejecución durante un partido de balonmano es muy pequeño, estas acciones realizadas a máxima velocidad son decisivas (anticiparse, saltar, fintar, tirar, bloquear, golpear, empujar y agarrar, etc.). Para aumentar la velocidad de ejecución de estas acciones, es importante mejorar la fuerza explosiva (tiros, sprint, saltos), la fuerza máxima (bloqueos, empujones, agarres) y la fuerza excéntrica (caída de salto). Por lo tanto, se puede concluir señalando que la participación del metabolismo anaeróbico aláctico durante un partido de balonmano no es importante cuantitativamente, pero sí lo es cualitativamente, porque participa en las acciones decisivas del partido.

1.1.5.4. Utilización de substratos energéticos durante el partido de balonmano

Se sabe que durante la realización de un ejercicio de intensidad relativa media del 75 al 85% del consumo máximo de oxígeno (VO_2max), como ocurre en los partidos de balonmano, existe una utilización significativa de substratos energéticos (Hermansen y col., 1967; Hultman y col., 1971). De entre ellos, el substrato clave parece ser la disponibilidad de glucógeno (glúcidos) en el hígado y en el músculo. Ello se debe a que las reservas de glucógeno del organismo son pequeñas (unos 300-500 g), y a que su utilización durante este tipo de

ejercicio es elevada. Sin embargo, como la duración del esfuerzo durante el partido no suele ser muy elevada (30-35 minutos), se puede pensar teóricamente que no se observará un vaciamiento completo de dichas reservas al terminar el partido.

El único trabajo conocido que ha estudiado la evolución de la concentración muscular de glucógeno durante un partido de entrenamiento de balonmano es el de Mikkelsen y Olesen (1976). Estos investigadores estudiaron en los años 70 la concentración de glucógeno de los músculos del miembro superior (deltoides) y del miembro inferior (vasto externo), en jugadores de elite suecos de balonmano, antes y después de jugar un partido de entrenamiento de 30-35 minutos de duración, es decir, la duración media de participación de un jugador en un partido oficial de balonmano. La técnica utilizada para estudiar la utilización del glucógeno muscular fue la de tinción PAS, que permite determinar cualitativamente la concentración muscular de glucógeno a partir de la intensidad de coloración. Por ejemplo, si la intensidad de la coloración de una fibra muscular es oscura, se considera que esa fibra muscular tiene una concentración elevada de glucógeno. Si, por el contrario, la fibra muscular es clara (blanco), se considera que prácticamente no hay glucógeno muscular, mientras que si la coloración es moderada, se considera que la concentración de glucógeno muscular es mayor que en las fibras claras, pero inferior a la de las fibras coloreadas de negro.

En la figura 1.3 se presenta la utilización de glucógeno muscular del estudio de Mikkelsen y Olsen (1976) en las fibras musculares (tipo I, IIA y IIB) de los músculos de las piernas (vasto lateral del cuádriceps) y de los brazos (deltoides), antes y después de jugar un partido de entrenamiento de balonmano. Los autores encontraron que al terminar el partido, la concentración muscular de glucógeno había disminuido de media (mezcla de fibras musculares) un 39% con respecto a los valores iniciales. También se observa que, aunque esa disminución media no era importante, en las fibras musculares de tipo IIB de los miembros superiores e inferiores, especialmente en la pierna de batida y en el brazo de tiro, era casi completa. Se cree que esta mayor utilización de glucógeno muscular que se observa en las fibras musculares de tipo IIB, se debe a que probablemente estas fibras se utilizan selectivamente

durante las acciones del partido (tiro, salto, sprint) a la máxima intensidad posible, utilizando cargas bajas (peso del balón, propio peso corporal).

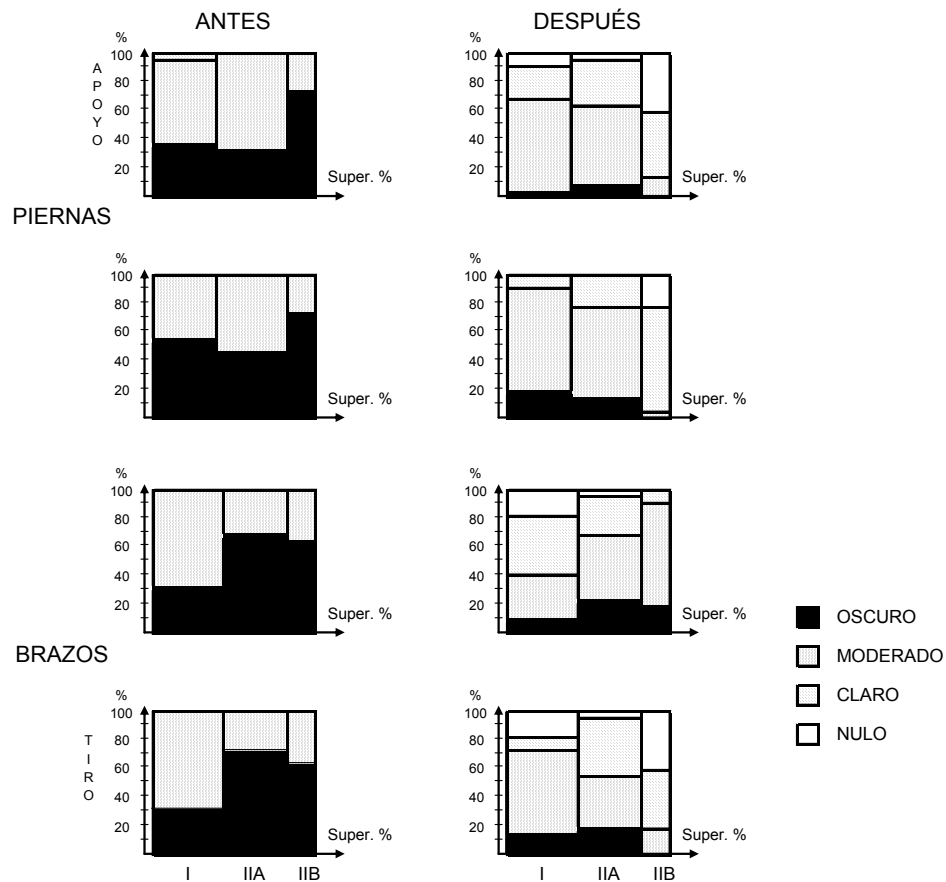


Figura 1.3. Utilización de glucógeno muscular en fibras musculares de tipo I, IIA y IIB, en jugadores suecos de balonmano, durante un partido de entrenamiento. “ANTES”: antes del partido; “DESPUÉS”: al terminar el partido. “APOYO”: pierna de batida; “TIRO”: brazo de tiro. Coloración: “OSCURO”: elevadas reservas de glucógeno; “MODERADO”: reservas moderadas de glucógeno; “CLARO”: reservas bajas de glucógeno; “NULO”: reservas agotadas de glucógeno. “Super.”: área de la fibra muscular (en %) (adaptada de Mikkelsen y Olesen, 1976).

Aunque no conocemos trabajos que hayan estudiado la evolución de la concentración muscular de glucógeno en partidos de balonmano femenino, como la evolución de las concentraciones musculares de glucógeno durante los ejercicios de intensidad media similar a la que se juegan los partidos de balonmano (75-85% de $VO_2\text{max}$), es parecida en hombres y mujeres, es probable que no existan grandes diferencias en la utilización de sustratos energéticos durante los partidos de balonmano masculino y femenino.

El estudio de Mikkelsen y Olesen (1976) permite concluir que el glucógeno del músculo es un substrato que tiene una importancia significativa en los partidos de balonmano. Ello se debe a que, aunque en el conjunto de las fibras musculares el glucógeno se utiliza moderadamente (cerca del 40% de las reservas iniciales), sin embargo en las fibras musculares de tipo IIB su depleción durante el partido es prácticamente total. Es probable que esta depleción selectiva de glucógeno de las fibras musculares rápidas (IIB), se acompañe de una disminución de la potencia o velocidad de las acciones en las que estas fibras intervienen selectivamente (tiros, saltos, aceleraciones). Por lo tanto, se debería prestar especial atención en la elaboración cuidadosa de estrategias desde el punto de vista de la nutrición y del control y distribución de las cargas de trabajo y recuperación, con objeto de conseguir que los jugadores: 1) presenten antes del partido reservas de glucógeno elevadas en los músculos de los brazos y de las piernas (especialmente en las fibras de tipo IIB) y en el hígado, 2) presenten una depleción de glucógeno durante el partido lo más retardada posible, y 3) recuperen dichas reservas rápidamente, una vez finalizado el partido.

1.1.6. Características físicas de los jugadores de balonmano

Los tests físicos que se realizan a los jugadores de balonmano están orientados a medir las variables más representativas de los tipos de metabolismo que participan de modo predominante en el balonmano, es decir: el metabolismo aeróbico (resistencia aeróbica), el metabolismo anaeróbico predominantemente aláctico (reflejado por la fuerza explosiva de los miembros superiores e inferiores y por la velocidad de desplazamiento y de lanzamiento del balón) y por la fuerza máxima y potencia muscular (necesarias para realizar acciones contra los adversarios, como golpes, empujes o agarres).

1.1.6.1. Características antropométricas

Las características antropométricas parece que son esenciales para poder jugar a balonmano. Por ejemplo, la talla media de los jugadores de balonmano de alto nivel (cercana a 187 cm) (Bartosiewicz y col., 1986; Elias, 1993; Fleck y col., 1992; Mikkelsen y Olesen, 1976) es un 6% superior a la talla media de los

futbolistas masculinos de alto nivel (176 cm) (Casajaús y Aragonés, 1991; Ekblom, 1986; Raven y col., 1976), mientras que la talla media de las mujeres jugadoras de balonmano, cercana a 170-175 cm (Fairchild y col., 2003; Hoff y Almasbakk, 1995; Jastrzebski, 1989; Khosla y McBroom, 1985), también es un 6% superior a la de las jugadoras de fútbol (entre 158 y 169 cm) (Davis y Brewer, 1993). En lo referente al peso corporal, los valores medios de los jugadores de balonmano (cerca de 87 Kg) (Bartosiewicz y col., 1986; Elias, 1993; Fleck y col., 1992; Mikkelsen y Olesen, 1976) son un 14% superiores a los de los futbolistas masculinos (76 kg; rango entre 64 y 86 kg) (Casajaús y Aragonés, 1991; Ekblom, 1986; Raven y col., 1976), mientras que el peso corporal medio de las jugadoras de balonmano (cerca de 66 Kg) (Fairchild y col., 2003; Hoff y Almasbakk, 1995; Jastrzebski, 1989; Khosla y McBroom, 1985) es un 8% superior al de las mujeres futbolistas (entre 59 y 63 Kg) (Davis y Brewer, 1993).

Como en otros muchos deportes, en las últimas décadas se ha observado un aumento del tamaño y de la corpulencia de los jugadores de balonmano (Norton y Olds, 2001). Esta tendencia ha sido especialmente atribuida a las mejoras en la condición de vida, nutrición, control de infecciones, y globalización del juego del balonmano (Lozovina y Pavicic, 2004; Norton y Olds, 2001).

Varios autores han indicado que deben existir probablemente unos niveles de porcentaje de grasa corporal y de masa magra específicos para cada disciplina (Koutedakis, 1995). Sin embargo, pocos investigadores han correlacionado esas variaciones con el rendimiento deportivo.

La tabla 1.1 muestra algunas características antropométricas de jugadores de balonmano de elite masculino y femenino publicados en la literatura. (Fradet, y col., 2004; Holm y col., 2004; Jastrebski, 1989; Jensen y col., 1997; Rannou y col., 2001; Van Den Tillaar y Ettema, 2004):

Tabla 1.1. Características antropométricas de los jugadores de balonmano de elite masculino y femenino.

	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)	IMC (kg·m⁻²)
Elite masculino	20.7 (5)	189.0 (2)	80.7 (2)	22.6 (0.8)
Elite femenino	21.3 (1)	172.6 (2)	70.3 (2)	23.4 (0.04)

Los resultados son Medias (DE).

Presumiblemente, estas diferencias antropométricas son el resultado de ambas, la selección natural y las decisiones del entrenador. Estos resultados sugieren que hay unas mínimas exigencias antropométricas requeridas por los jugadores de balonmano de alto nivel. Dichas exigencias son prácticamente específicas para cada posición de juego y, para cualquier deportista, pueden depender de las habilidades técnicas y de las características antropométricas del resto de los miembros del equipo (Smith, 1998).

1.1.6.2. Composición de las fibras musculares

Se considera que el conocimiento de las características de las fibras musculares de un deportista permite obtener información de interés sobre la capacidad potencial y real del músculo para realizar la actividad contráctil, para poder desarrollar la energía que se le solicita y, por último, para poder adaptarse a diferentes estímulos.

Mikkelsen y Olesen (1976), en su excelente estudio sobre el balonmano de elite, analizaron la composición de las fibras musculares del músculo vasto lateral del cuádriceps y del músculo deltoides de jugadores de la selección sueca masculina de balonmano. Los autores encontraron que los jugadores de balonmano presentaron un porcentaje de fibras lentas (tipo I) del 53% en el músculo vasto lateral y del 59% en el músculo deltoides. Los valores de porcentaje de fibras lentas del músculo vasto lateral encontrado en esos jugadores de balonmano son bastantes similares al de los atletas de 400 m en

atletismo, y a los de otros deportes de equipo como el hockey o el fútbol, aunque las fibras rápidas de los jugadores de balonmano suelen ser, al mismo tiempo, más aeróbicas y resistentes a la fatiga que las de los atletas de 400 m. Además, la actividad oxidativa (enzima SDH) muscular de los jugadores de balonmano es un 20% superior a la de los sedentarios, similar a la de los jóvenes activos y un 50% inferior a la de los corredores de fondo (Mikkelsen y Olesen, 1976). Esto sugiere que la capacidad aeróbica muscular de los jugadores de balonmano no es excesivamente elevada. Es muy probable que las características de las fibras musculares de los hombres y de las mujeres que juegan al balonmano sean similares.

Estos resultados permiten pensar que los jugadores masculinos y femeninos de balonmano de alto nivel deberían poseer un porcentaje bastante elevado de fibras rápidas debido, probablemente, a que los instantes decisivos de un partido son los que corresponden a movimientos muy rápidos y de corta duración que necesitan para su realización la puesta en marcha de estas fibras de contracción rápida. Sin embargo, debido a que las actividades a máxima velocidad están intercaladas por períodos de carrera a intensidad media durante 30-35 minutos, las fibras musculares de los jugadores de balonmano también deben presentar una capacidad oxidativa (aeróbica) superior a la de los sedentarios.

1.1.6.3. Evaluación de la resistencia aeróbica: consumo máximo de oxígeno

Teniendo en cuenta la intensidad media relativa a la que se juega un partido de balonmano (75-85% del consumo máximo de oxígeno), y su duración (30-35 minutos), es lógico pensar que la resistencia aeróbica es una cualidad importante en los jugadores de balonmano, aunque probablemente menos importante que en otros deportes de mayor duración, como el fútbol. La resistencia aeróbica se suele evaluar en los jugadores de balonmano mediante la determinación del consumo máximo de oxígeno ($VO_2\text{max}$). El consumo máximo de oxígeno mide las posibilidades máximas de transferencia de oxígeno desde el aire ambiente hasta la célula muscular. Un consumo máximo de

oxígeno elevado se acompaña de una gran capacidad para realizar esfuerzos intensos durante mucho tiempo.

Existen varios estudios que han medido el consumo máximo de oxígeno en hombres jugadores de balonmano de diferentes niveles (Bangsbo y col., 1991; Bangsbo y Mizumo, 1988; Bunc y col., 1992; Caru y col., 1970; Faina y col., 1988; Hollmann y col., 1981; Jacobs y col., 1982; Raven y col., 1976; Rhodes y col., 1986; Rost y Hollmann, 1983; Van Fraechem y Tomas, 1992; White y col., 1988; Whithers y col., 1977). En general, los valores medios de consumo máximo de oxígeno corriendo en tapiz rodante de los jugadores de balonmano de elite oscilan entre 55 y 60 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Alexander y Borekie, 1989; Hermansen, 1973; Mikkelsen y Olesen, 1976; Rannou y col., 2001). Estos valores son de un 10 a un 20% superiores a los de los sedentarios, similares a los de los jóvenes activos y a los atletas de 400 metros (Rannou y col., 2001), ligeramente inferiores a los de los futbolistas (entre 56 y 69 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (Bangsbo, 1998), y de un 30 a un 40% inferiores a los de los atletas de fondo. Además, no existen diferencias en los valores de consumo máximo de oxígeno entre los equipos de balonmano de elite y los de nivel inferior (Mikkelsen y Olesen, 1976; Rannou y col., 2001). Estas diferencias en el consumo máximo de oxígeno entre diferentes poblaciones son similares a las encontradas en la capacidad oxidativa muscular y sugieren que la resistencia aeróbica no es una cualidad física decisiva para jugar balonmano de elite.

Existen muy pocos trabajos que hayan medido el consumo máximo de oxígeno a jugadoras de balonmano (Hoff y Almasbakk, 1995; Jensen y col., 1997). Los resultados de dichos trabajos indican que las jugadoras de elite presentan valores medios de consumo máximo de oxígeno cercanos a 51 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y que no existen diferencias en los valores de consumo máximo de oxígeno entre los equipos de balonmano de elite femenino y los de nivel inferior. Estos valores de consumo máximo de oxígeno de las jugadoras de balonmano son de un 10 a un 15% inferiores a los que presentan los equipos masculinos y de un 10 a un 20% superiores a los de las mujeres sedentarias. Esto sugiere que, como en el caso de los hombres, la resistencia aeróbica no es una cualidad física determinante para jugar al balonmano femenino.

1.1.6.4. Fuerza máxima, potencia muscular, salto vertical y velocidad de carrera

Los tests más utilizados para medir la fuerza de los jugadores de balonmano son: el test de fuerza máxima (peso que pueden levantar una sola vez), el test de la potencia muscular desarrollada (producto del peso levantado multiplicado por la velocidad media del movimiento) por los músculos extensores de la rodilla y de los brazos, y el test de salto vertical con contramovimiento previo.

Cuando se describían las características de un partido de balonmano, se señalaba que los jugadores deben generar elevadas tensiones musculares durante la mayoría de las acciones decisivas de un partido (anticiparse, saltar, fintar, tirar, bloquear, golpear, empujar, agarrar, etc.). Por dicho motivo, es lógico pensar que los jugadores de balonmano deberán presentar valores elevados de fuerza máxima y de potencia muscular de las extremidades superiores e inferiores. En general, se observa que los jugadores de balonmano presentan valores de fuerza máxima y de potencia de las extremidades superiores e inferiores que son un 50% superiores a los valores de los jóvenes sedentarios (Izquierdo y col., 2002a). Esta diferencia observada en los valores de fuerza y de potencia entre los jugadores de elite y los sedentarios es muy superior a la que se observa en los valores de resistencia aeróbica (10-20%). Esto sugiere que la fuerza máxima y potencia muscular son más determinantes en el balonmano que la resistencia aeróbica. Por lo tanto, se puede pensar que la cualidad física que más distingue a los jugadores de balonmano de elite de los de nivel inferior sea su capacidad para producir una mayor fuerza máxima y potencia con los miembros superiores e inferiores.

Al analizar las características antropométricas, se señalaba que los jugadores de balonmano de elite masculina suelen presentar valores de peso corporal significativamente mayores que los jugadores de menor nivel. No se conoce si hay diferencias en la potencia muscular entre los jugadores de balonmano de diferentes niveles.

En lo referente a los valores de salto vertical, los valores medios de salto vertical (con contramovimiento previo e impulsándose con los brazos) de los jugadores de balonmano masculino de elite suelen ser cercanos a 46 cm (Bartosiewicz y col., 1986). No se sabe si los equipos masculinos de nivel inferior tienen valores diferentes.

La evaluación de la velocidad de carrera a máxima velocidad en distancias muy cortas es muy importante en el jugador de balonmano porque la mayoría de las acciones decisivas de un partido se desarrollan a máxima velocidad en un espacio muy pequeño. Existen pocos trabajos que hayan medido el tiempo de carrera a máxima velocidad en jugadores de balonmano masculino. Mikkelsen y Olesen (1976) observaron que los jugadores de balonmano de elite emplearon más tiempo (saliendo desde parado) en correr 5 y 15 metros a la máxima velocidad que la que emplean los jugadores de fútbol de elite (0.95 segundos y 2.28 en 5 y 15 metros, respectivamente) (Coen y col., 1998; Gorostiaga y col., 2002).

No conocemos trabajos que hayan medido la fuerza y potencia muscular en las extremidades superiores e inferiores en jugadoras de balonmano. Existen muy pocos trabajos que han medido el tiempo empleado en correr distancias cortas a máxima velocidad en jugadoras de balonmano (Jensen y col., 1997). Por ejemplo, Jensen y col. (1997) encontraron en jugadoras de la selección noruega de balonmano que el tiempo medio empleado en recorrer los últimos 10 metros de una carrera de 30 metros fue de 1.27 segundos.

1.1.6.5. Velocidad de lanzamiento del balón

La capacidad para lanzar el balón a gran velocidad es decisiva para jugar al balonmano. Ello se debe a que, para un mismo nivel de precisión, cuanto más rápidamente se lance el balón, menos tiempo tendrán los defensas y el portero para desviarlo de su trayectoria. Por ello, es de gran interés medir en los jugadores de balonmano la velocidad a la que lanzan el balón.

La velocidad de lanzamiento del balón depende básicamente de tres factores (Joris y col., 1985; Van Muijen y col., 1991): la fuerza muscular, la

eficiente concatenación de las acciones de los diferentes segmentos corporales y la técnica del lanzamiento. La fuerza muscular se refiere a la capacidad que deben tener los músculos que mueven esos segmentos corporales para generar la mayor tensión muscular posible durante el tiempo que dura el lanzamiento (Atwater, 1979). La eficiente concatenación de los segmentos corporales se refiere a que los segmentos corporales que intervienen durante el lanzamiento (miembro inferior, tronco, miembro superior) deben entrar en juego de modo sincronizado, en el momento oportuno y a la velocidad angular óptima.

Existen varios trabajos que han medido la velocidad de lanzamiento del balón en jugadores y jugadoras de balonmano durante dos tipos de lanzamiento típicos del juego de balonmano: el tiro desde posición de parado (tiro de penalti) y el tiro de 3-pasos (lanzar después de dar tres pasos hacia delante) (Fleck y col., 1992; Hoff y Almasbakk, 1995; Mikkelsen y Olesen, 1976; Müller, 1980). Es difícil comparar los resultados de los pocos estudios que han medido la velocidad de lanzamiento del balón en balonmano, porque difieren claramente en numerosos factores, incluyendo los métodos de medida (células fotoeléctricas, radar, cinematografía), comienzo de la medida (desde el despegue de la mano, o de 1 a 3 metros de distancia desde donde se lanza), el peso del balón (entre 325 y 375 g), el nivel de balonmano y el tipo y dirección de lanzamiento.

Existen muy pocos trabajos que hayan medido la velocidad de lanzamiento en jugadoras de balonmano (Hoff y Almasbakk, 1995). Teniendo en cuenta las limitaciones señaladas anteriormente, y que el balón que utilizan las jugadoras de balonmano (370 g de peso, 52 cm de circunferencia) pesa menos y es más pequeño que el utilizado por los hombres (480 g de peso, 58 cm de circunferencia), los resultados de los estudios indican que la velocidad de lanzamiento del balón es, en general, un 15-20% inferior en las mujeres que en los hombres.

Al comenzar este apartado, se señalaba que la fuerza muscular es una cualidad determinante en la velocidad de lanzamiento del balón de balonmano. Algunos estudios han confirmado esta afirmación (Fleck y col., 1992; Joris y col., 1985; Mikkelsen y Olesen, 1976) porque han encontrado en hombres relaciones

lineales directas significativas entre la velocidad de lanzamiento y la fuerza, así como con la fuerza ejercida sobre el balón durante el lanzamiento. Sin embargo, no se han encontrado en jugadores de balonmano masculino relaciones significativas entre la velocidad de lanzamiento y la fuerza máxima que se puede levantar una sola vez durante la extensión del codo ($1RM_{PB}$ de press-banca). Ello se debe a que el tiempo durante el cual se puede aplicar fuerza durante el lanzamiento del balón (unos 200 milisegundos) (Joris y col., 1985) es muy inferior al tiempo que se necesita para aplicar la fuerza máxima que se puede levantar una sola vez (más de 500-700 milisegundos). Por ejemplo, se ha visto que jugadoras de balonmano pueden producir durante el lanzamiento del balón una fuerza máxima equivalente a 9 kg durante los 200 milisegundos de tiempo que tienen para poder aplicar la fuerza, mientras que pueden producir una fuerza máxima de unos 50 kg cuando realizan un test de una repetición máxima de extensión de codo (press-banca), durante los 500-700 milisegundos de tiempo que tienen para aplicarla.

1.1.7. Algunos aspectos dietéticos del balonmano

1.1.7.1. Hidratos de carbono, vitaminas y minerales

Al estudiar en apartados anteriores la utilización de sustratos energéticos durante el partido de balonmano se indicaba que el glucógeno del músculo es un sustrato que tiene una importancia significativa en los partidos de balonmano porque, aunque en el conjunto de las fibras musculares se utiliza moderadamente (cerca del 40% de las reservas iniciales), sin embargo en las fibras musculares de tipo IIB su depleción durante el partido es prácticamente total. Además, el número elevado de sesiones de entrenamiento y de competiciones que tienen los jugadores puede favorecer la depleción progresiva de las reservas musculares de glucógeno y, como consecuencia de ello, empeorar las prestaciones durante el partido.

Aunque no se ha estudiado experimentalmente este aspecto en jugadores de balonmano, los estudios realizados en otros deportes cuya intensidad relativa del ejercicio es similar a la del balonmano (75-85% del consumo máximo de

oxígeno), permiten sugerir las siguientes recomendaciones dietéticas a los jugadores de balonmano:

1) Se recomienda que los jugadores de balonmano se alimenten diariamente con una dieta que contenga como mínimo un 55-60% de glúcidos (Jacobs, 1998).

2) Se aconseja la alimentación e ingesta de glúcidos en las horas previas al partido. En general se recomienda que la última comida que precede al partido se realice 3 a 4 horas antes del mismo, que sea bastante ligera y que contenga un elevado porcentaje de glúcidos. No conviene que esta última comida contenga un porcentaje elevado de grasas o proteínas porque se digieren más lentamente que los glúcidos.

3) En la hora que precede al calentamiento no parece que sea conveniente alimentarse con glúcidos, porque algunos autores han encontrado que puede haber una secreción elevada de insulina y un gran consumo de glucosa por parte del músculo que puede provocar una hipoglucemia en los primeros minutos de ejercicio. Sin embargo conviene señalar que otros investigadores no han encontrado este efecto negativo de la ingestión de glúcidos en reposo, en la hora que precede al calentamiento.

4) Conviene ingerir durante el calentamiento unos 400 ml de agua que contengan unos 70 gramos de glucosa o polímeros de glucosa y a lo largo del partido otro tanto (en total 800 ml de agua y 140 g de glucosa). Esta última cantidad es mejor tomarla distribuida a lo largo del partido que de una sola vez, aprovechando los tiempos muertos solicitados por los equipos o las sustituciones de los jugadores.

5) No parece necesario que las bebidas energéticas que se consuman inmediatamente antes y durante el partido contengan minerales. En caso de que las contengan, su concentración debería ser muy pequeña.

6) Durante las 2 horas posteriores a la finalización del partido es muy importante beber líquidos o suplementos que contengan grandes cantidades de glúcidos. También es conveniente que durante este período de tiempo se ingieran proteínas, especialmente aminoácidos esenciales, junto con los glúcidos. Las cantidades mínimas que se recomiendan son de unos 30-40 gramos de glúcidos y unos 3 a 6 gramos de proteína por cada hora, durante 3-4 horas.

7) Ejemplo de alimentos que contienen una elevada proporción de glúcidos: arroz, macarrones, fideos, legumbres (alubias, garbanzos, lentejas), fruta. Ejemplo de alimentos naturales que contienen aminoácidos esenciales: leche desnatada, clara de huevo cocido.

En lo que nosotros conocemos, no se han publicado trabajos que hayan estudiado en jugadoras de balonmano la evolución de la concentración de glucógeno muscular durante las horas posteriores a un partido, ni los efectos de la ingestión de diferentes dietas antes, durante y al finalizar los partidos. Sin embargo, como la evolución de las concentraciones musculares de glucógeno durante los ejercicios de intensidad media similar a la que se juegan los partidos de balonmano debe ser bastante similar en hombres y en mujeres, es probable que no existan grandes diferencias entre sexos en la evolución de la concentración muscular de glucógeno durante los partidos, ni cuando se ingieren diferentes tipos de dietas ricas en glúcidos o en aminoácidos.

1.1.7.2. Creatina y balonmano

La creatina (Cr) o ácido acético metilguanidina, es un nutriente natural que se encuentra en diferentes alimentos, pero que también se puede sintetizar en el organismo a partir de 3 aminoácidos: la glicina, la arginina y la metionina (Williams y Kreider, 1999). La gran mayoría de las reservas de creatina del organismo están localizadas en el interior del músculo esquelético (Williams y Kreider, 1999). Del 60% al 70% de las reservas musculares de creatina existen bajo la forma de fosfocreatina (PCr), mientras que del 30% al 40% restantes están en forma de creatina libre (Williams y Kreider, 1999).

Al analizar la actividad durante un partido de balonmano se indicaba que durante el mismo los jugadores ejecutan un gran número de acciones decisivas (anticiparse, saltar, fintar, tirar, bloquear, golpear, empujar y agarrar), a la máxima velocidad, en el mínimo tiempo posible (unas pocas décimas de segundo). Estas acciones están separadas entre sí por periodos más largos de tiempo en los que los jugadores desarrollan una actividad de baja intensidad o están parados. Se sabe que durante estas acciones rápidas y cortas, el sustrato energético utilizado de modo predominante por el organismo es la fosfocreatina muscular, mientras que durante las fases de recuperación las concentraciones musculares de fosfocreatina se recuperan de modo parcial (cuando el tiempo de recuperación es insuficiente) o total (cuando el tiempo de recuperación es suficiente). Algunos autores han sugerido que la repetición muy frecuente de estos esfuerzos durante las sesiones de entrenamiento y las competiciones de balonmano podría provocar un déficit de las reservas de fosfocreatina y de creatina muscular en los jugadores de balonmano. Este déficit de la disponibilidad de creatina o fosfocreatina del músculo podría limitar la producción de energía y la marca deportiva durante las acciones decisivas del partido de balonmano. Esto indujo a sugerir a algunos autores que si se administraba creatina para aumentar sus reservas musculares, esto se debería acompañar de una mayor producción de energía proveniente de la fosfocreatina y, por lo tanto, de una mejora de prestaciones durante las acciones cortas, intensas y repetidas que se producen durante el partido de balonmano.

En los últimos años se han publicado numerosos trabajos que han estudiado los efectos de la administración de creatina (en forma de monohidrato de creatina) sobre la fuerza muscular, en sujetos entrenados practicantes de diferentes disciplinas deportivas, pero que no eran jugadores de balonmano (Arciero y col., 2001; Becque y col., 2000; Bembem y col., 2001; Earnest y col., 1995; Goldberg y Bechtel, 1997; Kelly y Jenkins, 1998; Kreider y col., 1998; Maganaris y Maughan, 1998; Noonan y col., 1998; Pearson y col., 1999; Peeters y col., 1999; Stevenson y Dudley, 1998; Stone y col., 1999; Stout y col., 1999; Volek y col., 1997b; Volek y col., 1999; Warber y col., 1998). Los resultados de estos estudios parecen indicar que la administración crónica de monohidrato de creatina en sujetos entrenados previamente en fuerza y que se entrenaron intensamente durante el tiempo que duró la experimentación, se acompañó en la

mayoría de los casos de una mejora significativa de las diferentes manifestaciones de la fuerza muscular, especialmente en los sujetos que están muy entrenados en fuerza o que están sometidos a entrenamientos intensos y frecuentes. Esta mejora fue significativamente superior a la que se observó en un grupo de similares características que realizó el mismo entrenamiento de fuerza, pero que no ingirió creatina.

No se conocen los mecanismos por los cuales aumenta la fuerza en la mayoría de los trabajos que han estudiado los efectos de la ingestión de creatina en sujetos entrenados. Algunos autores sugieren que el aumento de la fuerza que se observa tras la ingestión de creatina podría deberse al aumento de la disponibilidad de reservas de PCr en el músculo (Volek y col., 1997a), y a un aumento de la cantidad de energía producida por unidad de tiempo durante los primeros segundos del ejercicio (Volek y col., 1997a). También podría deberse a la existencia de un déficit crónico de creatina en los sujetos que se entrenan frecuente e intensamente. Por último, algunos autores sugieren que la ingestión de creatina podría estimular una síntesis neta diaria de cerca de 1 gramo de proteína por kg de peso muscular (Williams y Kreider, 1999; Ziegenfuss y col., 2000), y favorecer el aumento de la fuerza muscular (Volek y col., 1997a).

Los trabajos que han estudiado los efectos de la administración de creatina en la velocidad empleada en hacer corriendo a pie series repetidas a la máxima velocidad posible, obtienen resultados discordantes, porque algunos estudios han encontrado efectos positivos (Aaserud y col., 1998; Lefavi y col., 1998; Noonan y col., 1998; Stout y col., 1999), mientras que en otros estudios no se han encontrado efectos positivos ni negativos sobre la velocidad de carrera (Goldberg y Bechtel, 1997; Javierre y col., 1997; Miszko y col., 1998; Redondo y col., 1996; Smart y col., 1998; Thorensen y col., 1998). La razón más probable que puede explicar estas discordancias es que el aumento del peso corporal inducido por la ingestión de creatina podría enmascarar los efectos positivos que tendría la mayor disponibilidad de creatina y PCr sobre la producción de energía, en los ejercicios intensos, repetidos y cortos. También, es posible que los efectos de la creatina puedan manifestarse más claramente en distancias más cortas que las medidas en los estudios analizados. Por último, es probable que los efectos de la ingestión de creatina sean más importantes en los deportistas que

practican entrenamientos intensos y frecuentes que incluyen series repetidas de corta duración, realizadas a la máxima intensidad e intercaladas con tiempos de recuperación muy cortos.

Aaserud y col. (1998) e Izquierdo y col. (2002b) estudiaron en jugadores de balonmano, los efectos de la administración diaria de 20 gramos de monohidrato de creatina, durante 5 días, en el tiempo empleado en recorrer, a la máxima velocidad posible, varias series de 15 (Izquierdo y col., 2002b) o de 40 metros (Aaserud y col., 1998), con 25 (Aaserud y col., 1998) a 90 segundos (Izquierdo y col., 2002b) de descanso entre series, (Mujika y col., 2000). Ambos estudios encontraron que la administración de creatina se acompañó de una mejora en la velocidad media de las series de carrera. Además, Izquierdo y col. (2002b) encontraron que la administración de creatina a jugadores de balonmano amateur se acompañó de una mayor producción de potencia muscular al realizar extensiones repetidas de codos (press-banca) o de rodillas (media sentadilla) a la máxima velocidad posible. Estos resultados sugieren que puede ser recomendable administrar creatina a los jugadores de balonmano, teniendo en cuenta que es una sustancia natural, producida por el propio organismo, permitida y sin efectos secundarios conocidos (American College of Sports Medicine, 2000). Las recomendaciones para su administración son las siguientes:

1) ¿Qué dosis?: las dosis de creatina más utilizadas en la literatura que se han acompañado generalmente de un aumento de la concentración muscular y de la marca deportiva han seguido dos protocolos de administración: agudo y crónico. El protocolo agudo consiste en administrar por vía oral, de 20 a 30 gramos diarios de monohidrato de creatina durante 5 a 6 días (American College of Sports Medicine, 2000; Balsom y col., 1995; Casey y col., 1996; Green y col., 1996; Greenhaff y col., 1993; Harris y col., 1992; Hultman y col., 1996), y administrar posteriormente como dosis de mantenimiento, una dosis diaria de 2 gramos (Hultman y col., 1996). Un protocolo alternativo al protocolo agudo consiste en administrar por vía oral, 3 gramos de monohidrato de creatina durante 28 días (Hultman y col., 1996). Con este protocolo se consigue alcanzar los mismos aumentos en la concentración

muscular de creatina que con los protocolos agudos, aunque se necesita más tiempo para lograrlo (28 días en vez de 5 días). No parece recomendable utilizar dosis más elevadas en el protocolo agudo, porque no se obtienen aumentos mayores de las concentraciones musculares de creatina, ni mejores resultados deportivos. Por último, se sabe que cuando se deja de administrar la creatina, las concentraciones musculares disminuyen lentamente hasta volver a alcanzar los niveles iniciales a los 28 días de haber finalizado el tratamiento (Williams y Kreider, 1999).

2) ¿Cómo administrarla a lo largo del día?: Noonan y col. (1998), recomiendan que durante la fase aguda de suplementación (20-30 gramos diarios durante 5 a 6 días), los días de entrenamiento se administre el 25% de la dosis durante el desayuno, otro 25% de la dosis una hora antes de que comience el entrenamiento y el 50% restante inmediatamente después de haber finalizado dicho entrenamiento. Los mismos autores recomiendan que los días que no se entrene, se administre la dosis diaria, repartida en 4 tomas de igual cantidad a lo largo del día, durante las diferentes comidas. Durante la fase de administración de dosis de mantenimiento de creatina (2 a 5 gramos diarios), se suele aconsejar ingerirla en una sola toma diaria durante la comida del día en el que no se entrene, e inmediatamente después de haber finalizado el entrenamiento, el día en el que se entrene. No se recomienda ingerir creatina inmediatamente antes o durante el entrenamiento, porque algunos autores han referido que algunos sujetos se quejan de molestias gastrointestinales.

3) ¿Durante cuanto tiempo? No se sabe actualmente si es más adecuado mantener las dosis diarias de mantenimiento de creatina a lo largo de todos los días de una temporada deportiva o si, por el contrario, es mejor intercalar períodos de tiempo sin ingerir creatina. Parece lógico pensar que es recomendable intercalar fases de 7 a 10 días sin ingerir creatina durante los ciclos de entrenamiento intenso o competición, porque no se deberían acompañar de descensos significativos de la concentración muscular de creatina.

4) ¿En qué momento de la vida deportiva es conveniente suplementar con creatina? La respuesta a esta pregunta no se conoce. Sin embargo, el Colegio Americano de Medicina Deportiva (American College of Sports Medicine), en su posicionamiento oficial sobre la creatina (American College of Sports Medicine, 2000), recomienda no administrar creatina a jóvenes de edad inferior a 18 años, ni a mujeres embarazadas, y no recomendar la ingestión de creatina ni de cualquier otro producto ergogénico, hasta las últimas etapas de la vida deportiva. Esto se debe a que es un error comenzar a aportar sustancias exógenas cuando las posibilidades de mejora de las habilidades técnicas, de la aptitud física, de la higiene de vida, de la alimentación, del carácter, de la capacidad de sacrificio y de las cualidades personales, son muy grandes.

1.1.7.3. Consecuencias de la pérdida de peso y grasa corporal

Muchos jugadores de balonmano desean perder peso y ganar músculo para mejorar su rendimiento deportivo. Sin embargo, una pérdida rápida de peso puede tener graves consecuencias para la salud y puede también provocar una reducción del rendimiento. Teniendo en cuenta que un 95% de las personas que se someten a dietas de adelgazamiento fracasan, a medio plazo (5 años), es esencial conocer métodos que no sean nocivos para la salud y que no tengan efectos negativos sobre la marca deportiva. Parece ser, que el control del estilo de vida es la clave, a largo plazo, para controlar el peso.

Por desgracia, muchos deportistas recurren a métodos de adelgazamiento que tienen un efecto contraproducente sobre el rendimiento deportivo y la salud. Los dos métodos más corrientes son las dietas y la deshidratación aguda. En realidad, hay pocas evidencias de que la disminución de peso / grasa corporales mejore siempre el rendimiento deportivo.

Diversos autores han estudiado los efectos de la pérdida rápida de peso en relación con el rendimiento deportivo (Fogelholm, 1994; Houston y col., 1981; Morgan, 1970; Torranin y col., 1979). Así Fogelholm (1994), encontró que la disminución rápida de peso por deshidratación se acompañaba de una

disminución de la capacidad aeróbica (hasta de un 5% en deportistas que perdieron hasta un 2-3% del peso corporal por deshidratación).

Hay pocos estudios que hayan investigado los efectos de la pérdida de peso o de grasa corporal sobre la fuerza muscular. Algunos investigadores han encontrado una mejora de la fuerza (en relación al peso corporal) después de una pérdida gradual de peso (Houston y col., 1981; Morgan, 1970; Torranin y col., 1979; Viitasalo y col., 1998).

1.1.8. Conclusión

El análisis realizado en este capítulo ha mostrado que los jugadores de balonmano de elite parecen ser más corpulentos que los de menor nivel y presentan algunas características físicas y específicas que les diferencian de los de menor nivel. Sin embargo, hasta la fecha, no se ha realizado ningún trabajo en jugadores y/o jugadoras de balonmano, que compare simultáneamente jugadores de elite y amateur para conocer si existen diferencias en las características antropométricas, en las cualidades físicas (fuerza, velocidad y resistencia) y en acciones específicas del balonmano (velocidad de lanzamiento). El estudio de estas comparaciones debería permitir conocer mejor el perfil físico y antropométrico de los jugadores de elite y seleccionar los tests más adecuados para evaluar la condición física de los jugadores de balonmano.

Por otra parte, se conoce muy poco sobre el programa y tipo de entrenamiento más adecuado que deben realizar los equipos de balonmano masculino y femenino de elite o sobre la evolución a lo largo de la temporada de las cualidades físicas determinantes en el balonmano. Tampoco se conoce el tiempo que dedican dichos equipos a entrenar diferentes cualidades físicas y técnicas, ni si existe una relación entre el tiempo dedicado a entrenar cada componente de entrenamiento y la evolución de las cualidades físicas a lo largo de la temporada. Esta información resulta esencial para construir programas de entrenamiento eficaces que se acompañen de una mejora en el juego del balonmano.

Teniendo en cuenta las consideraciones precedentes, las hipótesis del presente trabajo, fueron las siguientes:

1.2. HIPOTESIS

- 1) Los jugadores de balonmano de elite masculino se diferenciarán de los jugadores de balonmano amateur en las cualidades físicas (fuerza muscular), características antropométricas (corpulencia) y acciones específicas (velocidad de lanzamiento) que parecen ser determinantes para conseguir el éxito en el juego del balonmano.
- 2) Las jugadoras de balonmano de elite femenino se diferenciarán de las jugadoras de balonmano amateur en las cualidades físicas (fuerza muscular), características antropométricas (corpulencia) y acciones específicas (velocidad de lanzamiento) que parecen ser determinantes para conseguir el éxito en el juego del balonmano.
- 3) El programa de entrenamiento y de competición realizado y cuantificado con precisión a lo largo de toda una temporada en un equipo de balonmano masculino de elite, se traducirá en una mejora de las cualidades físicas y de la velocidad de lanzamiento, determinantes del juego del balonmano, y estará relacionado con el tiempo empleado en entrenar dichas cualidades.
- 4) El programa de entrenamiento y de competición realizado y cuantificado con precisión a lo largo de toda una temporada en un equipo de balonmano femenino de elite, se traducirá en una mejora de las cualidades físicas y de la velocidad de lanzamiento, determinantes del juego del balonmano, y estará relacionado con el tiempo empleado en entrenar dichas cualidades.

1.3. OBJETIVOS

- 1) Comparar las características antropométricas, de condición física y de velocidad de lanzamiento del balón existentes entre jugadores de balonmano de elite y amateur masculino.
- 2) Comparar las características antropométricas, de condición física y de velocidad de lanzamiento del balón existentes entre jugadoras de balonmano de elite y amateur femenino.
- 3) Examinar los efectos de una temporada (entrenamiento y competición) sobre las características antropométricas, la condición física y la velocidad de lanzamiento del balón, en un equipo de balonmano de elite masculino.
- 4) Examinar los efectos de una temporada (entrenamiento y competición) sobre las características antropométricas, la condición física y la velocidad de lanzamiento del balón en un equipo de balonmano de elite femenino.

MATERIAL Y MÉTODOS



2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Este estudio se realizó en el Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte de Navarra, perteneciente al Instituto Navarro de Deporte y Juventud (Gobierno de Navarra), y en distintas instalaciones deportivas de Pamplona, entre los meses de agosto de 2002 y mayo de 2003, y entre agosto y octubre de 2005. En la figura 2.1 se muestra el esquema del diseño experimental llevado a cabo. Se observa que en el desarrollo del mismo participaron 4 equipos de balonmano: dos equipos masculinos (elite y amateur), y dos equipos femeninos (elite y amateur). Su denominación fue la siguiente:

- *EM*: Elite masculino (N=15)
- *AM*: Amateur masculino (N=15)
- *EF*: Elite femenino (N=16)
- *AF*: Amateur femenino (N=15)

El trabajo se dividió en cuatro estudios diferentes:

- Dos estudios longitudinales realizados con los dos equipos de elite (*EM* y *EF*) que analizaron los efectos de una temporada de entrenamiento y de competición sobre las características antropométricas, la condición física y la velocidad de lanzamiento del balón.
- Dos estudios transversales que analizaron las diferencias existentes entre jugadores de balonmano de elite y amateur masculino (comparación de *EM* con *AM*) y femenino (comparación de *EF* con *AF*) sobre las características antropométricas, la condición física y la velocidad de lanzamiento del balón.

2.1.1. Estudios longitudinales

Ambos estudios se realizaron durante la temporada 2002-2003, con una duración de 45 semanas de entrenamiento, en el que compitieron en 42 (EM) y 29 (EF) partidos de competición. En el equipo EM la temporada comenzó el 29 de julio, mientras que en el equipo EF comenzó el día 9 de agosto.

En la figura 2.1 se observa que la temporada constó en ambos equipos de 5 periodos:

- *Un primer periodo preparatorio*, en el que los jugadores entrenaron pero no participaron en competiciones oficiales, de una duración de 5 (EM) y 7 (EF) semanas, al que siguió
- *Un primer periodo competitivo* de 17 (EM) ó 18 (EF) semanas de duración, que incluyó la disputa de 20 (EM) y de 11 (EF) partidos oficiales, que fue seguido de
- *Una semana de vacaciones*, a la que siguió
- *Un segundo periodo preparatorio*, en el que los jugadores entrenaron pero no participaron en competiciones oficiales, de 4 semanas de duración, que fue seguido de
- *Un segundo periodo competitivo* de 12 (EM) y 21 (EF) semanas de duración que incluyó la disputa de 22 (EM) y 18 (EF) partidos oficiales.

A lo largo de las 45 semanas, se sometió cuatro veces a cada uno de los dos equipos (EM y EF) a una batería de tests (valoración antropométrica, condición física y velocidad de lanzamiento del balón) (Figura 2.1). Los cuatro momentos de la temporada en los que se llevan a cabo los tests fueron los siguientes:

- *Primer test (T1)*: tres días después de comenzar la temporada (primer periodo preparatorio).

- *Segundo test (T2)*: en las primeras dos semanas del primer periodo competitivo.
- *Tercer test (T3)*: en las últimas tres semanas del primer periodo competitivo, con la particularidad de que el equipo EM, el tercer test de velocidad de carrera y de resistencia lo llevo a cabo unas semanas más tarde (durante la última semana del segundo periodo preparatorio).
- *Cuarto test (T4)*: tres semanas antes de finalizar la última competición oficial del segundo periodo competitivo.

2.1.2. Estudios transversales

Además de los dos estudios longitudinales, se llevaron a cabo otros dos estudios transversales (Figura 2.1), para analizar las diferencias existentes en las características antropométricas, la condición física y la velocidad de lanzamiento del balón, entre los equipos de elite y los equipos amateur, tanto masculino (EM comparado con AM), como femenino (EF comparado con AF).

Las comparaciones entre los equipos de elite y amateur se llevaron a cabo durante el segundo test, es decir, durante las dos primeras semanas del periodo competitivo posterior al primer periodo preparatorio de cada uno de los cuatro equipos (EM, AM, EF y AF) evaluados. Estas pruebas se realizaron en la temporada 2002-2003 (equipos EM, AM y EF) y en la temporada 2005 (equipo AF).

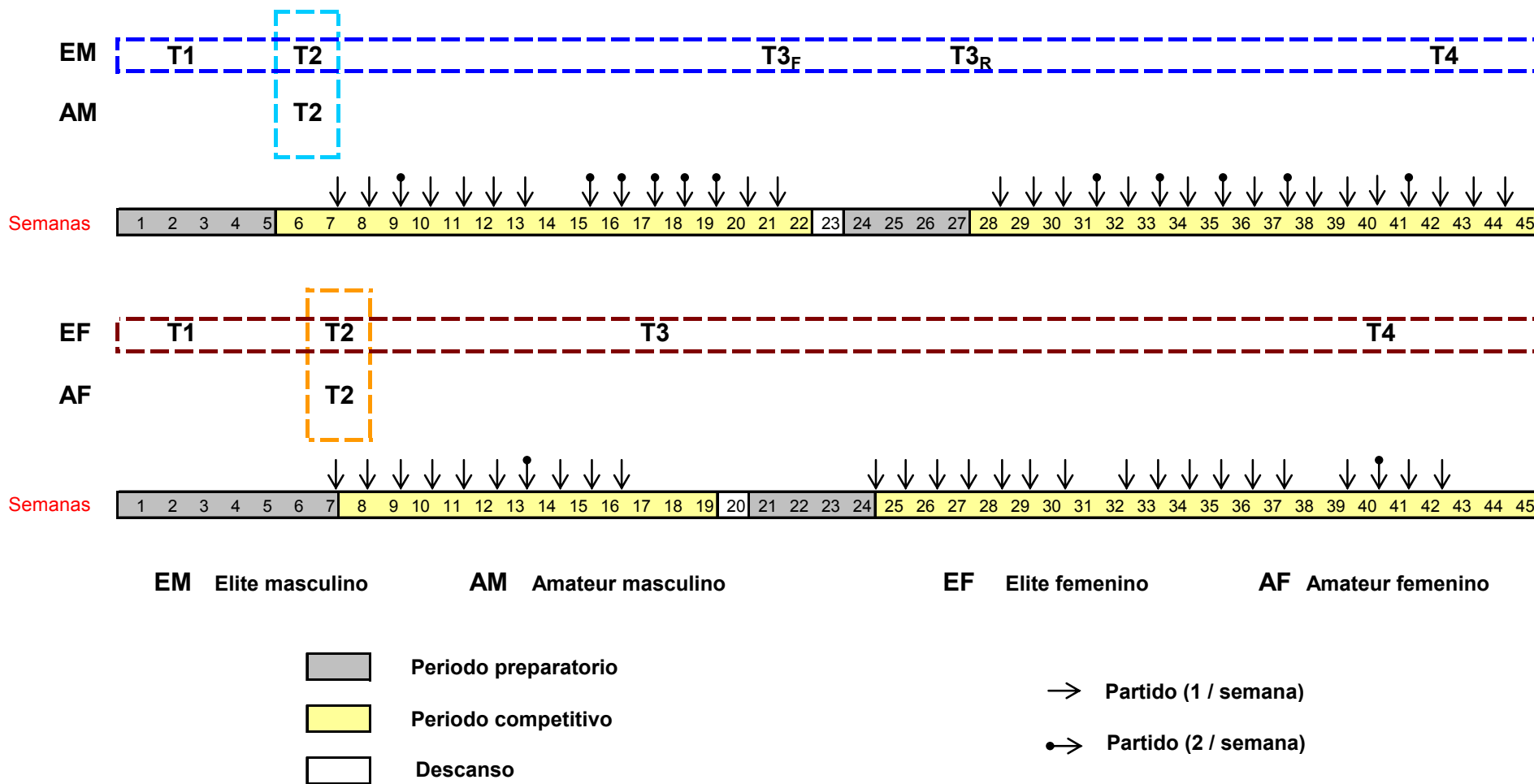


Figura 2.1. Esquema del diseño experimental.

La batería de tests consistió en medir las características antropométricas (altura, peso corporal, porcentaje de grasa corporal y masa magra), la condición física (una repetición máxima en press-banca ($1RM_{PB}$), altura del salto vertical (SV), relación de carga-potencia de los músculos extensores de las piernas y de los brazos, tiempo de carrera a máxima velocidad en 5 y 15 m, y resistencia aeróbica), y velocidad de lanzamiento del balón de balonmano en la posición de penalti y en la posición de 3-pasos, en apoyo.

En la literatura no existen trabajos que hayan estudiado en jugadores de balonmano de elite la relación existente entre el tiempo dedicado a diferentes actividades de entrenamiento y competición y los cambios en la condición física. El conocimiento de dichas relaciones resulta interesante para intentar mejorar el rendimiento y para ayudar a prevenir lesiones y fatiga en jugadores de balonmano de elite. Por ello, en los dos estudios longitudinales se cuantificó los tiempos e intensidades dedicados al entrenamiento y a la competición, desglosados en 11 actividades (carrera de resistencia de baja, media y alta intensidad, ejercicios de balón de baja, media y alta intensidad, entrenamiento de fuerza con pesas, entrenamiento de fuerza específico, entrenamiento de carrera de velocidad, partido de entrenamiento y partido de competición). De esta forma, cuantificando el tiempo e intensidad dedicados a cada actividad de entrenamiento y competición, se pudo examinar la influencia que tuvo el entrenamiento y competición realizados, sobre las características antropométricas, la condición física y la velocidad de lanzamiento del balón, en jugadores de balonmano de elite.

2.2. SUJETOS

Cuatro equipos de balonmano, dos masculinos y dos femeninos, de la Comunidad Foral de Navarra, con una experiencia en el entrenamiento y la competición en balonmano comprendida en un rango de 10 y 20 años, participaron en este estudio. De acuerdo con su nivel deportivo y su sexo, los equipos se denominaron del siguiente modo: elite masculino (EM, n=15), amateur masculino (AM, n=16), elite femenino (EF, n=16) y amateur femenino (AF, n=15). Su edad estaba comprendida entre 17 y 35 años (Tablas 3.1 y 3.3).

EM y EF fueron considerados de nivel elite porque: 1) se clasificaron entre los cuatro mejores equipos de la liga española del nivel de competición más alto, 2) 12 jugadores del grupo EM y 7 del grupo EF eran o habían sido internacionales y habían ganado 18 (EM) y 15 (EF) medallas en Campeonatos del Mundo u Olimpiadas, 3) se clasificaron para jugar a nivel europeo en la siguiente temporada, 4) el equipo EM fue finalista de la Copa de Europa y Campeones de Liga en la temporada en que se llevo a cabo el estudio, y 5) los jugadores europeos de balonmano son considerados como jugadores del más alto nivel mundial porque en las 3 últimas Olimpiadas y en los 5 últimos Campeonatos del Mundo que precedieron al presente estudio, los 5 primeros puestos habían sido obtenidos por equipos europeos.

Los otros dos equipos (AM y AF) fueron considerados de nivel amateur porque: 1) jugaban en la segunda división española, y 2) no tenían ningún incentivo económico.

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

Los sujetos y entrenadores fueron informados cuidadosamente sobre los procedimientos experimentales y los posibles riesgos y beneficios que podía entrañar el proyecto, que fue aprobado previamente por el Comité Revisor Institucional del Instituto Navarro de Deporte y Juventud, de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Los jugadores no tomaron esteroides anabólico-andrónicos exógenos ni otro tipo de sustancias prohibidas o drogas que pudiesen afectar el rendimiento o el balance hormonal durante este estudio. La Federación Española y la Federación Internacional de Balonmano sometieron a varios jugadores de los equipos de elite a controles periódicos de dopaje, sin que hubiese caso alguno de infracción. Tampoco ingirieron medicamentos que pudiesen alterar los resultados del estudio.

2.3. PROGRAMACIÓN DE LOS TESTS

En el apartado 2.1.1 y 2.1.2 se ha explicado la cronología de los tests a los que se sometieron los sujetos que participaron en los dos estudios longitudinales (EM y EF) y en los dos estudios transversales (EM vs. AM, EF vs. AF).

Todos los sujetos estaban familiarizados con los tests a realizar, porque ya los habían llevado a cabo en las temporadas anteriores (EM, AM y EF) o en sesiones de familiarización previas (AF). Cada batería de tests se llevó a cabo en tres días diferentes separados entre sí por, al menos, dos días. Todos los sujetos de un mismo equipo realizaron los tests en el mismo día y en el mismo orden. Durante la primera sesión de medición, cada sujeto realizó la prueba de carrera a máxima velocidad y la de carrera de resistencia aeróbica. En la segunda sesión se les midieron las variables antropométricas, la altura del salto vertical, la fuerza máxima y la potencia muscular. En la tercera sesión, se midió la velocidad de lanzamiento de balón en el gesto de penalti (desde 7 m) y en el de 3-pasos en apoyo (desde 9 m). A los sujetos se les animó y motivó verbalmente para que realizasen los tests a la máxima intensidad posible. Los días en que se realizaron las mediciones fueron integrados en la programación de entrenamiento semanal de cada equipo.

En un estudio piloto, la reproducibilidad test-retest de las mediciones de fuerza máxima y potencia, variables antropométricas, y resistencia aeróbica fue evaluada en dos ocasiones con una separación de siete días en un equipo de jugadores de balonmano. Los coeficientes de correlación intraclase (ICC) test-retest de las variables de antropometría, fuerza máxima y explosiva (Ej.: lanzamiento y salto vertical) usadas en este estudio fueron mayores de 0.91 y el rango del coeficiente de variación (CV) fue de 0.9% a 7.3%. De manera similar, el ICC y CV de la velocidad asociada a una concentración de lactato de 3 mmol·l⁻¹ (V₃) fueron de 0.94 y 2.2%, respectivamente.

2.4. MEDICIONES

2.4.1. Características físicas

Las variables antropométricas que se midieron a cada sujeto fueron la altura (m), el peso corporal (kg), el porcentaje de grasa corporal (%) y la masa magra (masa libre de grasa, MM) (kg). La altura y el peso corporal fueron medidas con una balanza-tallímetro (Año Sayol, Barcelona, España), de una precisión de 0.01 kg y 0.001 m, respectivamente. El índice de masa corporal (IMC) se calculó a partir del peso corporal y de la altura ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$). El porcentaje de grasa se calculó midiendo 7 pliegues cutáneos con un plicómetro de Harpenden (British Indicators Ltd, Burgess Hill, West Sussex, Reino Unido), mediante la fórmula de Jackson y Pollock para jugadores masculinos (Jackson y Pollock, 1978) y para jugadoras femeninas (Jackson y col., 1980). La masa magra (MM, en kg) se calculó sustrayendo la masa grasa calculada del peso corporal.

2.4.2. Medición del tiempo de carrera a máxima velocidad y de la resistencia aeróbica

Después del calentamiento habitual de cada equipo de unos 15 min de duración, que incluyó carreras de baja intensidad, varias carreras con aumento progresivo de la velocidad, y estiramientos, los sujetos llevaron a cabo el test de carrera a máxima velocidad que consistió en correr tres series de 15 m a máxima velocidad, en una pista cubierta de balonmano, con 90 s de descanso entre cada serie. Durante este periodo de descanso, los sujetos volvieron andando hasta la línea de salida.



Figura 2.2. Medición del tiempo de carrera a máxima velocidad en 5 m y 15 m.

El tiempo de carrera se registró y grabó mediante células fotoeléctricas (Newtest OY, Oulu, Finlandia), situadas a una altura de 0.4 m del suelo, con una precisión de 0.001 s. Los sujetos comenzaron la carrera a máxima velocidad desde la posición de parado, con uno de los dos pies adelantado, pero sin que llegase a pisar la línea de salida, que estaba situada 0.5 m detrás de la primera célula fotoeléctrica. El tiempo de registro de la carrera se activaba automáticamente cuando el sujeto pasaba por delante de la primera célula situada a 0 m y se grabaron los tiempos parciales de paso de los 5 m y 15 m. Se tomó como valor para el análisis posterior el mejor tiempo de las tres series.

La prueba de resistencia aeróbica se llevo a cabo 5 minutos después de finalizar el test de máxima velocidad, en el misma pista de balonmano. Cada sujeto realizó un test discontinuo progresivo submáximo de cuatros estadios, alrededor de la pista de balonmano de 40 x 20 m, que estaba balizada cada 20 m. Cada estadio duró 5 minutos y las velocidades en cada estadio fueron de 10 km/h, 12 km/h, 14 km/h y 16 km/h, para los equipos masculinos, y de 8.5 km/h, 10 km/h, 11.5 km/h y 13 km/h, para los equipos femeninos. El descanso entre cada estadio fue de 3 minutos. Para controlar la velocidad de cada estadio se utilizó un dispositivo auditivo (ordenador + altavoces) (Balise Temporelle, Bauman, Switzeland) que permitió que los jugadores regulasen su velocidad cada 20 metros de carrera.



Figura 2.3. *Medición de carrera de resistencia.*

Durante el test, se registró y grabó la frecuencia cardiaca de cada jugador, cada 15 segundos (Sportester Polar, Kempele, Finlandia), y se promediaron los últimos 60 segundos de cada estadio. Inmediatamente después de finalizar cada estadio, se tomó a cada sujeto una muestra de sangre

hiperemizada del lóbulo de la oreja mediante un tubo-capilar. Las muestras se desproteinizaron, se almacenaron a 4° C y se analizaron (YSI, 1500 Sport L-Lactate Analyzer, Ohio, USA) en menos de 7 días desde el momento de la extracción. A partir de los valores de lactato sanguíneo y de la velocidad se calculó por interpolación la velocidad de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de 3 mmol·l⁻¹ (V₃).



Figura 2.4. Toma de lactato al final del estadio.

2.4.3. Medición de la altura del salto vertical

El test de salto vertical se llevó a cabo en la misma pista cubierta de balonmano en la que se realizó el test de carrera a máxima velocidad y el test de resistencia. Dicho test consistió en realizar saltos verticales a máxima intensidad,



Figura 2.5. Medición del salto vertical.

precedidos de un contra-movimiento previo con los brazos libres, sobre una plataforma de contacto (Newtest OY, Oulu, Finlandia). A los sujetos se les pidió que realizasen sobre la plataforma de contacto un salto máximo desde la posición de parado con las rodillas extendidas. Para ello, realizaban un movimiento preparatorio de flexión de las rodillas hasta la posición de flexión de 90°, seguido de una extensión de las rodillas y del salto. Los sujetos podían mover los brazos libremente pero debían aterrizar en la plataforma en la misma posición de

despegue. La altura del salto se calculó a partir del tiempo de vuelo (Bosco y col., 1983). Se registraron y grabaron dos series de dos saltos cada una. En cada serie, el descanso entre cada salto fue de 10 s, mientras que el descanso entre las dos series fue cercano a 90 s. El mejor salto de los cuatro se utilizó para el análisis posterior. La potencia mecánica absoluta desarrollada durante el salto vertical (SV_P) fue calculada utilizando la siguiente formula:

$$SV_P = PC \cdot g \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{1/2}$$

en donde "PC" es el peso corporal (en kg), "g" es la aceleración de la gravedad ($9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), y "h" es la altura del salto (en m).

2.4.4. Medición de la fuerza máxima y de la potencia muscular

La fuerza máxima del miembro superior fue evaluada mediante el test de una repetición máxima concéntrica, en el movimiento de press-banca ($1RM_{PB}$). Se eligió el movimiento de press-banca porque es un movimiento bastante específico del lanzamiento del balón (Fleck y col., 1992). El test fue llevado a cabo en una máquina adaptada para realizar sentadilla (Technogym, Gambettola, Italia), en la que los extremos de la barra se desplazan por dos carriles laterales, que permiten realizar verticalmente todo el movimiento, pero que a su vez sirven de seguridad para que no se produzcan desplazamientos laterales. La barra se situó 1 cm por encima del pecho del sujeto mediante dos toques de seguridad colocados a ambos lados de la barra.

Se les pidió a los sujetos que solo realizasen la acción concéntrica del movimiento desde esta posición, manteniendo los hombros en una posición de abducción de 90° para conseguir que las



Figura 2.6. Medición de 1RM en press-banca.

articulaciones del codo y del hombro se mantuviesen en la misma posición durante el test (Izquierdo y col., 2002a; Newton y col., 1997).

No se permitió que los jugadores realizasen rebotes ni que arqueasen la espalda. El calentamiento consistió en realizar una serie de 5 repeticiones, con una carga del 40-60% de una repetición máxima percibida subjetivamente por el sujeto. Al sujeto se le permitió varios intentos hasta conseguir extender completamente los brazos con la carga examinada. Si los brazos no se extendían completamente no se consideraba como válida una determinada repetición. La última extensión aceptable con la mayor carga posible fue denominada como $1RM_{PB}$. El periodo de descanso entre cada intento fue de 2 minutos (Figura 2.6).

La relación carga-potencia de los músculos extensores de los brazos y de las piernas se midió en las acciones de press-banca y de media sentadilla, respectivamente, utilizando las cargas relativas del 30%, 45%, 60% y 70% de $1RM_{PB}$ para el ejercicio de press-banca, y del 60%, 80%, 100% y 125% del peso corporal (PC), para el ejercicio de media sentadilla.

En las acciones de media sentadilla (Figura 2.7), los hombros estuvieron en contacto con la barra y el ángulo inicial de extensión de la rodilla fue de 90° (Izquierdo y col., 2002a). A la orden del experimentador, el sujeto realizaba una extensión concéntrica de rodillas, con la carga (barra y pesas correspondientes) situada encima de sus hombros a la mayor velocidad posible, partiendo desde la posición de flexión de rodillas anteriormente mencionada, hasta lograr la extensión



Figura 2.7. *Medición de potencia en media sentadilla.*

completa de las piernas (180°). Durante las acciones concéntricas los sujetos intentaron mantener el tronco lo más recto posible. Se permitió el uso de cinturón de pesas a aquellos sujetos que lo quisieron. El calentamiento consistió en realizar una serie de 5 repeticiones con una carga del 40 al 60% del peso corporal. Se registraron y grabaron dos acciones para cada carga y la mejor de las dos acciones (la de mayor velocidad) se utilizó para el análisis posterior. El tiempo de recuperación entre cada repetición y cada serie fue de 1.5 minutos.

Durante estas acciones de extensión de las extremidades superiores e inferiores, se registró y grabó el desplazamiento de la barra (m), la velocidad media ($m \cdot s^{-1}$) y la potencia media (W) mediante un encoder rotatorio unido a uno de los extremos de la barra. El encoder rotatorio grabó la posición y dirección de la barra con una precisión de 0.0002 m. Se utilizó un software personalizado (JLML I+D, Madrid, España) para calcular la potencia muscular media de cada repetición durante todo el movimiento en el ejercicio de press-banca y de media sentadilla.

En todo el desarrollo de estos tests neuromusculares, se animó verbalmente a cada sujeto para motivarle a desarrollar las acciones concéntricas lo más rápidamente posible.

2.4.5. Medición de la velocidad de lanzamiento del balón

La producción de fuerza explosiva específica en balonmano fue evaluada en un campo de balonmano cubierto, mediante el lanzamiento, por encima del hombro, del balón de balonmano en dos situaciones distintas: desde parado (tiro de penalti) y en la acción de 3-pasos en apoyo. Después de un calentamiento estándar de 10 minutos, los sujetos lanzaron un balón estándar de balonmano (480 g de masa y 58 cm de circunferencia, los jugadores masculinos; 370 g de masa, y 52 cm de circunferencia, las jugadoras femeninas), con una mano, lo más rápidamente posible a una portería estándar de balonmano, utilizando su propia técnica. En el tiro de penalti, uno de los pies tenía que estar en contacto con el suelo, detrás de la línea situada a 7 m de la portería (línea de penalti); en el tiro de 3-pasos en apoyo, se permitió que los jugadores hicieran una carrera previa de un máximo de 3-pasos, antes de soltar el balón de su mano. En el

momento de soltar el balón en esta acción, el pie más adelantado del jugador debería estar situado detrás de la línea de 9 m de la portería (área de líneas discontinuas) (Figura 1.1).

La medición del tiempo de lanzamiento se llevo a cabo con una precisión de 0.001 s, mediante células fotoeléctricas (Newtest OY, Oulu, Finlandia) colocadas en dos trípodes que se encontraban situados paralelamente a la trayectoria del tiro, enfrente del poste izquierdo de la portería (Figura 2.8). El primer trípode se situó a 3.4 m de la línea de penalti (7 m) y contenía cinco células fotoeléctricas distribuidas verticalmente (rango 1.49-2.10 m por encima del suelo). El segundo trípode se situó a 6.4 m desde la marca de penalti y contenía cuatro células fotoeléctricas distribuidas verticalmente (rango 1.37-1.89 m por encima del suelo). Para simular una acción de juego real, se les pidió a los jugadores y jugadoras que lanzaran el balón al cuadrante superior derecho de la portería a la máxima velocidad, y se les permitió ponerse resina en las manos para lanzar el balón.

El tiempo se activaba automáticamente cuando el balón pasaba por delante de las células fotoeléctricas del primer trípode, y se paraba cuando el balón pasaba enfrente de las células fotoeléctricas del segundo trípode. El haz de células fotoeléctricas del primer trípode (el más cercano de la línea de penalti) estaba situado ligeramente más alto que el haz del segundo trípode porque alguno de los jugadores más altos lanzaban el balón desde una altura situada ligeramente por encima de la altura de la portería (2 m). La velocidad media de lanzamiento del balón se calculó a partir del tiempo empleado y de la distancia (3 m) recorrida por el balón. Los entrenadores supervisaron el test de lanzamiento para asegurar que los jugadores tiraban con su técnica habitual. En cada tipo de lanzamiento, cada sujeto realizó hasta 3 intentos validos (el balón entró a la portería por el cuadrante superior derecho) de un máximo de 3 series de 3 repeticiones, con un descanso de 10-15 segundos entre repeticiones y de 1-2 minutos entre series. Como motivación, a los sujetos se les informaba inmediatamente de su rendimiento. El lanzamiento realizado a mayor velocidad media fue seleccionado para su análisis posterior.

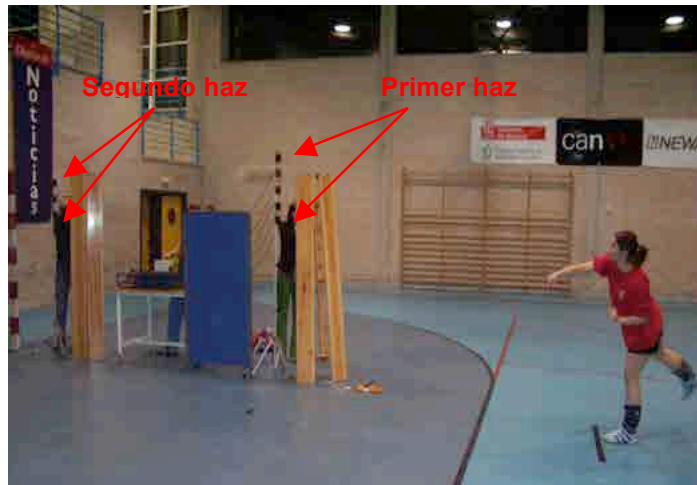


Figura 2.8. Medición de la velocidad de lanzamiento del balón, en la modalidad de tiro de penalti.

2.4.6. Análisis de los datos de entrenamiento y competición

Durante el periodo experimental los entrenadores registraron diariamente a cada jugador el tiempo empleado en el entrenamiento y el tiempo de competición de cada jugador. Las figuras 2.9 y 2.10 muestran las planillas de recogida de datos que utilizaron los técnicos de los equipos para anotar los tiempos de entrenamiento (Figura 2.9) y de competición (Figura 2.10) de cada jugador en una sesión de entrenamiento y en un partido. El volumen de entrenamiento individual se consideró como el tiempo que cada jugador dedicó a cada actividad. La participación del jugador se dividió en 11 actividades (carrera de resistencia de baja, media y alta intensidad; ejercicios de balón de baja, media y alta intensidad; entrenamiento de fuerza con pesas y entrenamiento de fuerza específica; carrera a máxima velocidad; partido de entrenamiento y partido de competición).

El entrenamiento de resistencia se dividió en: carrera de baja (R1; frecuencia cardiaca observada cuando corrían a una velocidad inferior al 80% de la velocidad correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ [V_3]), media (R2; frecuencia cardiaca observada cuando corrían a una velocidad del 80% al 90% de la velocidad correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ [V_3]) y alta (R3; frecuencia cardiaca observada cuando corrían a una velocidad superior al 90% de la velocidad

correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ [V_3]) intensidad, basándose en las relaciones individuales observadas entre la velocidad de carrera, la frecuencia cardíaca y la concentración de lactato, durante la medición de la carrera de resistencia aeróbica. Del mismo modo, el entrenamiento de los ejercicios con balón se dividió en baja (B1; frecuencia cardíaca observada cuando corrían a una velocidad inferior al 80% de la velocidad correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ [V_3]), media (B2; frecuencia cardíaca observada cuando corrían a una velocidad del 80% al 90% de la velocidad correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ [V_3]) y alta (B3; frecuencia cardíaca observada cuando corrían a una velocidad superior al 90% de la velocidad correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ [V_3]) intensidad. Durante varias sesiones de entrenamiento de carrera de resistencia y de ejercicios con balón, se registró la frecuencia cardíaca mediante un pulsómetro (Polar, Oulu, Finlandia), para verificar las intensidades de los ejercicios de entrenamiento.

El tiempo dedicado al entrenamiento de la fuerza se dividió en: entrenamiento de pesas (Fp; entrenamiento utilizando pesas libres y máquinas) y entrenamiento de fuerza específica (Fe; entrenamiento corriendo cuestas, haciendo saltos y lanzando balones medicinales con las manos).

Fp consistió en realizar dos ejercicios principales con la barra de halterofilia: la media sentadilla y el press-banca, y dos ejercicios secundarios: la cargada y el pullover.

NOMBRE DEL EQUIPO

Fecha:

Nº	JUGADOR	Asist	Lesión	RESISTENCIA (min)			FUERZA (min)		VEL (min)	BALON (min)			PARTIDO
				R1	R2	R3	F pesas	F espec	V	B 1	B 2	B 3	Part
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													

Asist = "Si" cuando asiste al entrenamiento
 Lesión = "Si" cuando esta lesionado ese día

R1 ó B1 = Frecuencia cardiaca correspondiente a <80% de $V_{3mmol \cdot l^{-1}}$ en ejercicios de carrera sin balón (R1) o con balón (B1)
 R2 ó B2 = Frecuencia cardiaca correspondiente a 80-90% de $V_{3mmol \cdot l^{-1}}$ en ejercicios de carrera sin balón (R2) o con balón (B2)
 R3 ó B3 = Frecuencia cardiaca correspondiente a >90% de $V_{3mmol \cdot l^{-1}}$ en ejercicios de carrera sin balón (R3) o con balón (B3)
 F pesas = Entrenamiento de fuerza con pesas
 F espec = Entrenamiento de fuerza específica
 V = Entrenamiento de velocidad
 Part = Partido de entrenamiento

Figura 2.9. Planilla de recogida de los tiempos de entrenamiento de cada jugador, en una sesión de entrenamiento, del nombre del jugador, de su asistencia al entrenamiento y de su estado (lesionado o no lesionado).

NOMBRE DEL EQUIPO

Fecha del partido:

Nivel del partido:

Nº	JUGADOR	Asist	Lesión	JUEGO (min)	LANZAMIENTOS	Nº GOLES	% GOLES	PERDIDAS	RECUPERACIONES
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									

Asist = Si asiste o no al partido

Juego = minutos totales jugados

Nº goles = goles conseguidos

Lesión = Si esta o no lesionado ese día

Lanzamientos = lanzamientos a portería

% goles = $(nº \text{ goles} * 100) / \text{lanzamientos}$

Nivel de partido = de entrenamiento (E) o de competición (C)

Perdidas = pérdidas del balón

Recuperación = recuperación del balón

Figura 2.10. Planilla de recogida de los datos de partido.

Los pesos que levantaron los sujetos en los ejercicios de media sentadilla (2-5 series, 2-5 repeticiones en EM; 3-4 series, 3-4 repeticiones en EF) oscilaron entre el 85% y el 110% (EM), o entre el 60% y el 110% (EF), de los pesos con los que el sujeto desarrolló su máxima potencia en la curva carga-potencia del test de media sentadilla. Esto suele corresponder a una intensidad relativa comprendida entre el 51% y el 77% (EM), y entre el 36% y el 77% (EF) de la fuerza máxima concéntrica en el ejercicio de media sentadilla (Izquierdo y col., 2002a).

Los pesos que levantaron los sujetos en el ejercicio de cargada (3-5 series, 3-6 repeticiones en EM; 3-4 series, 3-6 repeticiones en EF) oscilaron entre el 65% y el 95% (EM y EF) del peso que podían levantar 6 veces seguidas (6RM). Esto se corresponde a una intensidad relativa aproximada de entre el 41% y el 76% (EM y EF) del peso que solo se puede levantar una vez (1RM), en el ejercicio de cargada.

Los pesos que levantaron los sujetos en el ejercicio de press-banca (2-4 series, 1-5 repeticiones en EM; 3-4 series, 1-4 repeticiones en EF) oscilaron entre el 85% y el 100% (EM y EF) del peso que sólo se puede levantar una vez ($1RM_{PB}$). Los pesos fueron ajustados durante la temporada en función de los nuevos valores de $1RM_{PB}$ que se observaron en cada test.

Los pesos en el ejercicio de pullover (3-4 series, 5-10 repeticiones en EM y en EF) oscilaron entre el 15% y el 25% (EM y EF) del peso corporal. Además, los jugadores realizaron otros ejercicios de fuerza, pero de poca intensidad relativa para prevenir lesiones y fortalecer otros músculos como los gemelos, los isquiotibiales, los aductores y los abdominales.

La frecuencia del entrenamiento de fuerza fue de entre 1 y 2 sesiones semanales, con una duración de la sesión comprendida entre 55 y 120 minutos (EM), y entre 45 y 90 minutos (EF). El entrenamiento del equipo EM se orientó comenzando con una fase de alto volumen y de baja intensidad en los periodos preparatorios, progresando hacia una fase de bajo volumen y de alta intensidad en los periodos competitivos. Sin embargo, la planificación en el equipo EF, fue diferente a la de EM porque el entrenamiento se orientó comenzando con una

fase de bajo volumen y de baja intensidad en los periodos preparatorios, progresando hacia una fase de alto volumen y de alta intensidad en los periodos competitivos.

Todo el entrenamiento fue supervisado por los entrenadores y por los preparadores físicos. En el grupo EM no se controlaron las dietas o los estilos de vida durante la temporada, a pesar de que los entrenadores forzaron a algunos jugadores a disminuir su peso corporal, bajo amenaza de multa económica. Sin embargo, en el grupo EF, no se amenazó con multa económica, sino que expertos profesionales dieron algunas pautas alimenticias a algunas jugadoras que presentaban un exceso de grasa, a juicio de los técnicos.

2.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El tratamiento estadístico se realizó utilizando los programas SPSS 8.0 y Statistica, para Windows.

Para los dos estudios (longitudinal y transversal) se utilizaron cálculos estadísticos estándar para calcular la media y la desviación estándar (DE).

Para determinar las diferencias existentes entre los equipos de elite y amateur (estudio transversal), se utilizó el análisis de varianza de un factor (ANOVA), y el test post-hoc de Newman-Keuls, cuando la diferencia era estadísticamente significativa en el análisis de varianza.

Para determinar las diferencias intra-grupo en el equipo de balonmano de elite masculino y femenino durante los estudios longitudinales, se utilizó el análisis de varianza de un factor (ANOVA) de medidas repetidas, y el test post-hoc de Scheffé, cuando la diferencia era estadísticamente significativa en el análisis de varianza.

Para determinar la posible asociación entre las características físicas, una repetición máxima en press-banca ($1RM_{PB}$), la altura del salto vertical, la velocidad de lanzamiento del balón, la potencia de los músculos extensores de los brazos y las piernas, la velocidad de carrera en 5 y 15 m, la carrera de

resistencia aeróbica, y el tiempo de entrenamiento y competición, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson (r).

La reproducibilidad test-retest intra-sujeto presentó un coeficiente de correlación intraclass (R) mayor o igual a 0.95.

El rango de la potencia estadística para la correlación t-test de este estudio estuvo comprendido entre 0.69 y 0.95.

El criterio de significación estadística se estableció como $p \leq 0.05$.



RESULTADOS

3. RESULTADOS

3.1. DIFERENCIAS ENTRE JUGADORES DE BALONMANO DE ELITE Y AMATEUR MASCULINO

3.1.1. Características físicas

La tabla 3.1 muestra la altura (en cm), el peso corporal (en kg), el porcentaje de grasa corporal (en porcentaje del peso corporal) y la masa magra (en kg) del equipo de elite (EM) y del equipo amateur (AM) masculino.

Tabla 3.1. Características físicas y experiencia de entrenamiento del equipo de elite (EM) y del equipo amateur (AM) masculino.

	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)	% graso (%)	Masa magra (kg)	Experiencia de entrenamiento (años)
Elite masculino (n=15)	31.0 (3) ^a	188.7 (8)	95.2 (13) ^a	13.8 (2)	81.7 (9) ^a	20.2 (4) ^a
Amateur masculino (n=15)	22.2 (4)	183.8 (7)	82.4 (10)	11.6 (3)	72.4 (7)	11.4 (3)

^a Diferencia significativa ($p < 0.05$) comparada con los jugadores amateur masculino de balonmano. Los resultados son Medias (DE).

Como se puede observar en dicha tabla, el equipo de elite (EM) mostró mayor peso corporal (13%, $p < 0.05$), mayor masa magra (11%, $p < 0.05$), más edad (29%, $p < 0.001$) y mayor experiencia en años de entrenamiento (43%, $p < 0.01$) que el equipo amateur (AM). El índice de masa corporal (IMC, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) de EM ($26.8 \pm 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) fue también significativamente mayor (8%, $p < 0.05$) que el de AM ($21.2 \pm 8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$).

3.1.2. Carrera a máxima velocidad y resistencia aeróbica

Los resultados de las mediciones del tiempo de carrera a máxima velocidad y de la resistencia aeróbica se presentan en la tabla 3.2. No se observaron diferencias significativas entre los grupos EM y AM en los tiempos de carrera a máxima velocidad en 5 y 15 m. Durante la medición de la resistencia aeróbica, no se observaron diferencias significativas en la concentración media de lactato sanguíneo en ambos grupos, a velocidades de carrera de 10 km·h⁻¹ (1.8 ± 0.5 mmol·l⁻¹ y 1.8 ± 0.4 mmol·l⁻¹ en EM y AM, respectivamente), 12 km·h⁻¹ (3.2 ± 1.1 mmol·l⁻¹ y 2.9 ± 0.8 mmol·l⁻¹ en EM y AM, respectivamente), y 14 km·h⁻¹ (7.2 ± 2.0 mmol·l⁻¹ y 6.1 ± 1.5 mmol·l⁻¹ en EM y AM, respectivamente). Del mismo modo, no se observaron diferencias en los valores de frecuencia cardiaca media en ambos grupos, a velocidades de carrera de 10 km·h⁻¹ (140 ± 8 latidos·min⁻¹ y 146 ± 8 latidos·min⁻¹ en EM y AM, respectivamente), 12 km·h⁻¹ (158 ± 7 latidos·min⁻¹ y 161 ± 7 latidos·min⁻¹ en EM y AM, respectivamente), y 14 km·h⁻¹ (172 ± 6 latidos·min⁻¹ y 178 ± 6 latidos·min⁻¹ en EM y AM, respectivamente). La velocidad media de carrera (V₃) y la frecuencia cardiaca (FC₃) media correspondientes a una concentración sanguínea de lactato de 3 mmol·l⁻¹ no fueron diferentes en los dos grupos (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. Tiempo de carrera a máxima velocidad en 5 y 15 m, y velocidad (V₃) y frecuencia cardiaca (FC₃) correspondientes a una concentración de lactato en sangre de 3 mmol·l⁻¹, durante el test de carrera de resistencia, en ambos grupos.

	Tiempo en 5 m (s)	Tiempo en 15 m (s)	V ₃ (km·h ⁻¹)	FC ₃ (latidos·min ⁻¹)
Elite masculino (n=15)	1.03 (0.05)	2.46 (0.09)	11.8 (1)	156 (6.3)
Amateur masculino (n=15)	1.04 (0.03)	2.41 (0.07)	12.0 (1)	161 (9.3)

Los resultados son Medias (DE).

3.1.3. Salto vertical

No se observaron diferencias en la altura del salto vertical entre EM y AM (46.8 ± 7.0 cm y 46.9 ± 7.0 cm en EM y AM, respectivamente). Sin embargo, la producción absoluta de potencia muscular media durante el salto vertical en EM (2846 ± 303 W) fue un 13% mayor ($p < 0.01$) que en AM (2468 ± 184 W).

3.1.4. Fuerza máxima y potencia muscular

Los valores medios de una repetición máxima en el ejercicio de press-banca ($1RM_{PB}$) medidos en EM (106.9 ± 11.6 kg) fueron 22% mayores ($p < 0.001$) que los obtenidos en AM (82.5 ± 14.8 kg) (Figura 3.1).

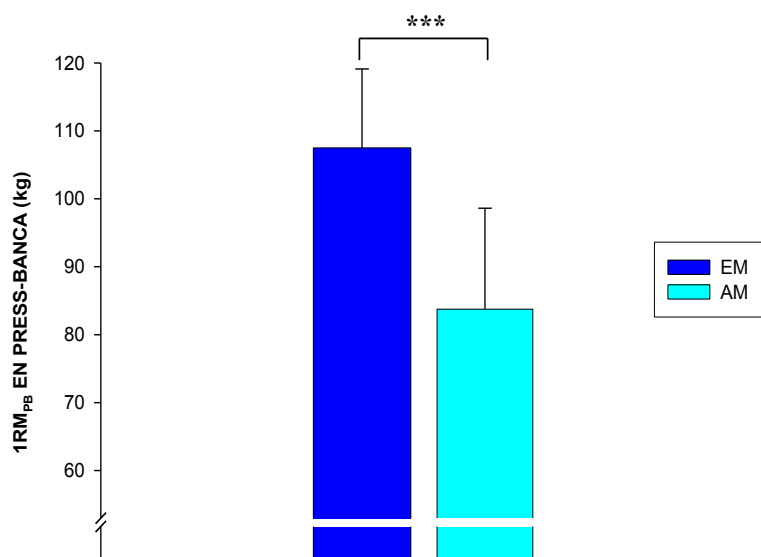


Figura 3.1. Valores de una repetición máxima ($1RM_{PB}$) en el ejercicio de press-banca, en el equipo de elite masculino (EM) y en el equipo amateur masculino (AM). *** Indica diferencia significativa ($p < 0.001$) entre los dos grupos. Los valores son Medias (DE).

Los valores medios absolutos obtenidos en las curvas de carga-potencia en el ejercicio de press-banca difirieron entre los grupos (Figura 3.2). Para todas las cargas examinadas (desde el 30% al 70% de $1RM_{PB}$), la potencia media desarrollada por las extremidades superiores fue mayor en EM ($p < 0.05-0.01$)

que en AM. El índice de potencia media desarrollada en todas las cargas por EM (451 ± 31.5 W) fue un 20% mayor ($p < 0.05$) que el índice desarrollado por AM (359 ± 20.0 W).

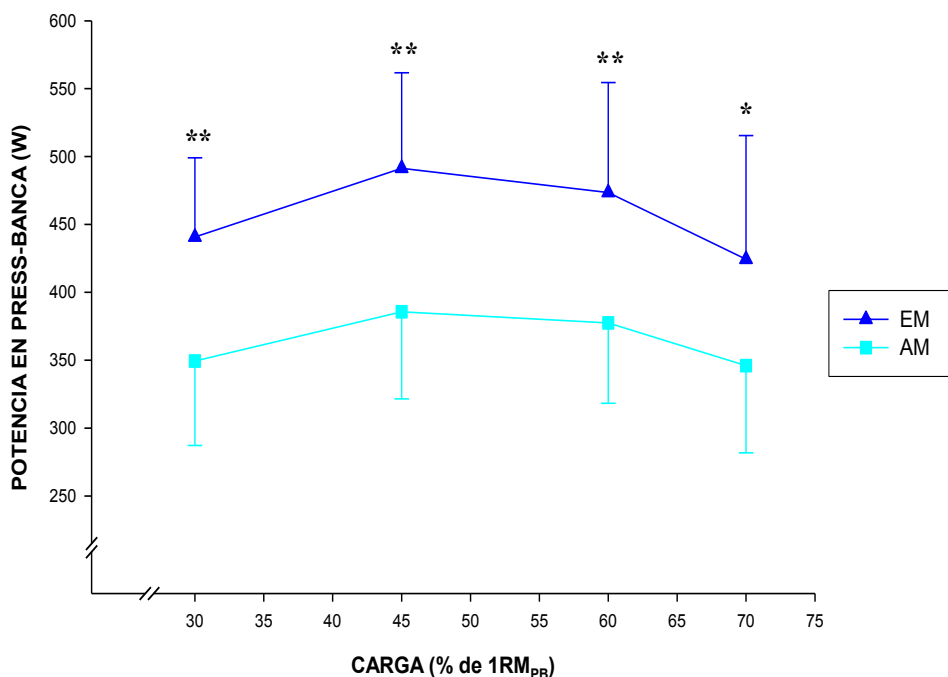


Figura 3.2. Potencia muscular media (DE) de los músculos de la extremidad superior, en la acción concéntrica de press-banca, con las distintas cargas correspondientes al 30%, 45%, 60% y 70% del valor absoluto individual de una repetición máxima ($1RM_{PB}$) (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

Los valores medios absolutos obtenidos en las curvas de carga-potencia en el ejercicio de media sentadilla también difirieron entre los grupos (Figura 3.3). Para todas las cargas examinadas (desde el 60% al 125% del peso corporal), la potencia media desarrollada por la extremidades inferiores fue mayor en EM ($p < 0.05-0.01$) que en AM. El índice de potencia media desarrollada en todas las cargas por EM (776 ± 97.2 W) fue un 16% mayor ($p < 0.05$) que el índice desarrollado por AM (648 ± 97.2 W).

La relación entre el índice de potencia media absoluta desarrollada durante la acción de press-banca y el índice de potencia media absoluta desarrollada durante la acción de media sentadilla (índice de potencia media en press-banca $\times 100$ / índice de potencia media en media sentadilla) no fue diferente entre los grupos ($59 \pm 6\%$ y $55 \pm 6\%$, en EM y AM, respectivamente).

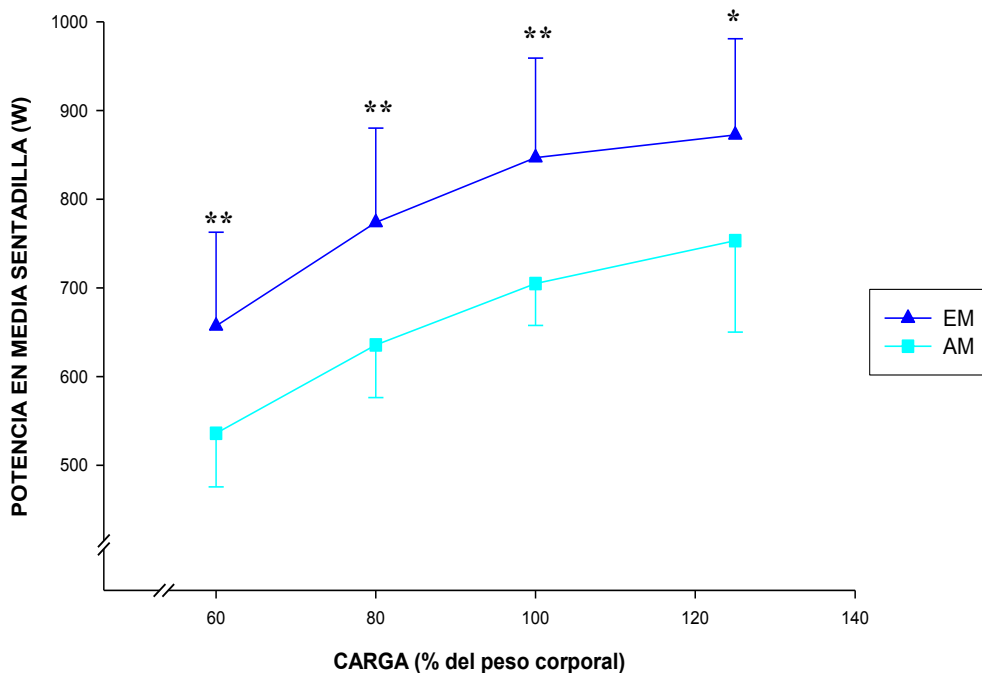


Figura 3.3. Potencia muscular media (DE) de los músculos de la extremidad inferior producida en la acción concéntrica de media sentadilla, con las cargas correspondientes al 60%, 80%, 100% y 125% de los valores absolutos individuales del peso corporal (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

Cuando la potencia muscular desarrollada en la acción concéntrica de media sentadilla se expresó en relación al peso corporal de cada jugador, las diferencias observadas en la potencia muscular entre EM y AM desaparecieron. De igual modo, cuando la potencia muscular desarrollada en la acción concéntrica de media sentadilla se expresó en relación a la masa magra (MM) (Figura 3.4), las diferencias entre EM y AM desaparecieron. Por último, cuando el índice de potencia media desarrollada con todas las cargas examinadas se expresó en relación al peso corporal ($6.5 \pm 0.2 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $8.0 \pm 0.3 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ para EM y AM, respectivamente) o a la masa magra ($9.5 \pm 0.3 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ y $9.1 \pm 0.3 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ para EM y AM, respectivamente), las diferencias entre EM y AM desaparecieron.

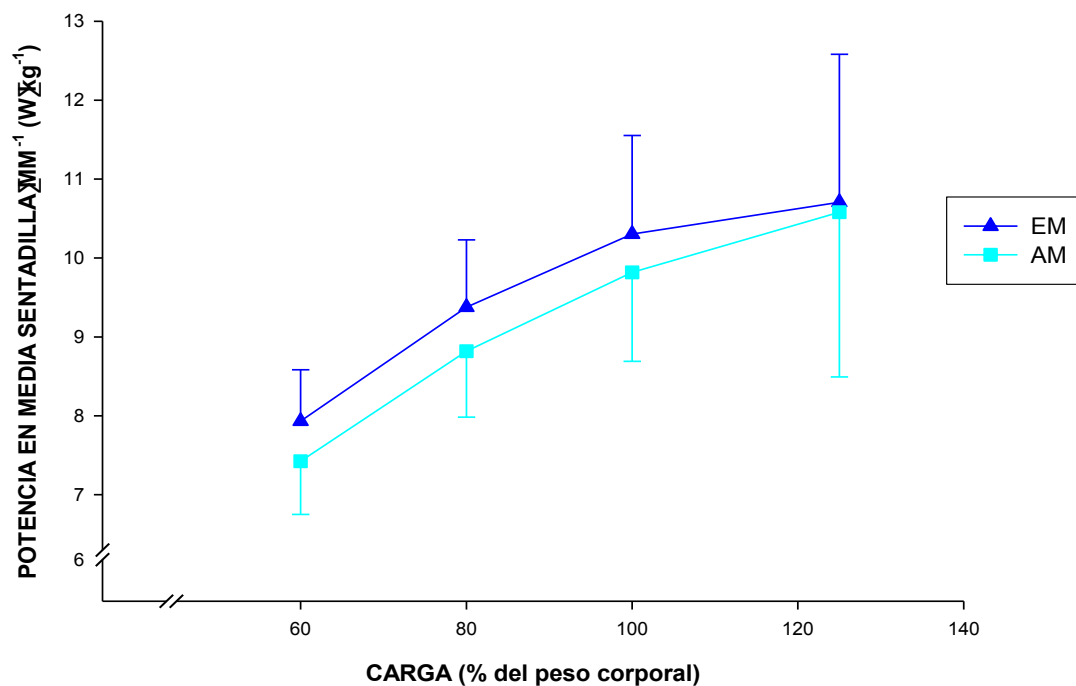


Figura 3.4. Potencia muscular media (DE) de los músculos de la extremidad inferior producida en la acción concéntrica de media sentadilla, en relación a la masa magra (MM), con las cargas correspondientes al 60%, 80%, 100% y 125% de los valores absolutos individuales del peso corporal.

3.1.5. Velocidad de lanzamiento del balón

La velocidad media de lanzamiento de penalti en EM ($23.8 \pm 1.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) fue un 8% mayor ($p < 0.01$) que en AM ($21.8 \pm 1.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Al igual que en el lanzamiento de penalti, la velocidad media de lanzamiento con 3-pasos en apoyo fue un 9% mayor ($p < 0.01$) en EM ($25.3 \pm 2.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) que en AM ($22.9 \pm 1.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). En ambos equipos, la velocidad media de lanzamiento con 3-pasos en apoyo fue mayor (5.9% y 4.8%; $p < 0.001$ para EM y AM, respectivamente) que la velocidad de lanzamiento de penalti.

3.1.6. Correlaciones entre la fuerza, la potencia muscular y la velocidad de lanzamiento del balón

En ambos grupos, los valores individuales de la velocidad desarrollada con la carga del 30% de $1RM_{PB}$ correlacionaron positivamente con los valores individuales de la velocidad de lanzamiento de penalti ($r=0.67$ y 0.71 ; $p<0.05-0.01$, en EM y AM, respectivamente).

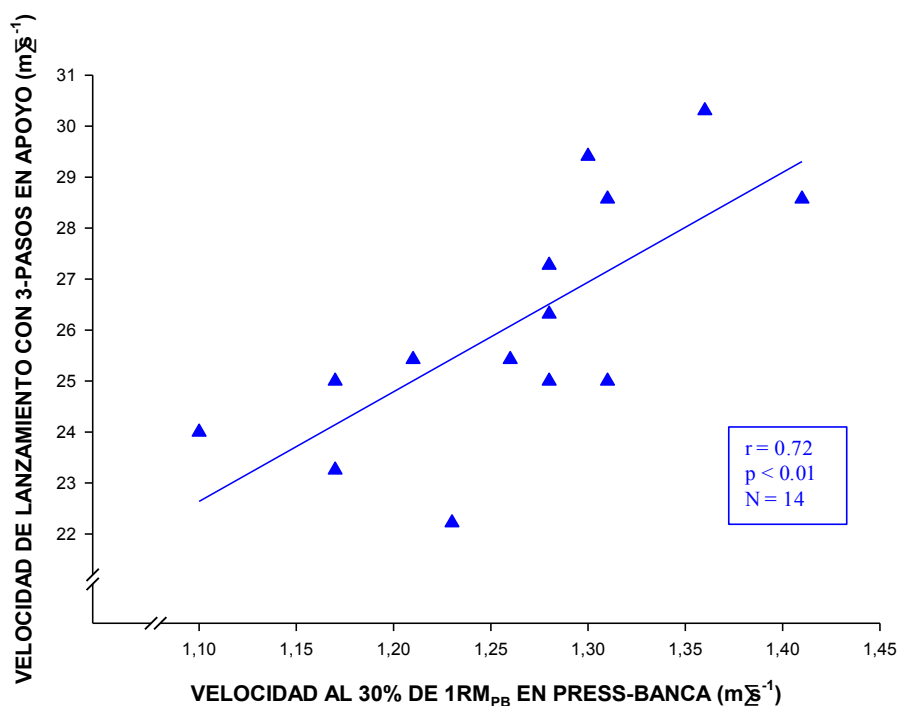


Figura 3.5. Correlación entre los valores individuales de la velocidad producida concéntricamente con la carga del 30% de $1RM_{PB}$ en el ejercicio de press-banca y los valores individuales de la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo, en EM.

En EM, los valores individuales de la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo correlacionaron significativamente con los valores individuales de la velocidad producida concéntricamente con las cargas del 30%, 60% y 70% de $1RM_{PB}$ (de 0.57 a 0.72, $p<0.05$), así como con los valores individuales de la potencia producida con la carga del 60% y del 100% del peso corporal (de 0.61 a 0.62, $p<0.05$), durante la acción concéntrica de media sentadilla. En EM, las mayores correlaciones se dieron entre la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo y los valores individuales de la velocidad desarrollada al 30% de $1RM_{PB}$ ($r=0.72$, $p<0.01$) (Figura 3.5), y con los valores individuales de la potencia

producida con la carga del 100% del peso corporal durante la acción concéntrica de media sentadilla ($r=0.62$, $p<0.05$) (Figura 3.6). No se encontraron correlaciones significativas en AM entre los valores individuales de la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo y la fuerza máxima, la potencia o la velocidad muscular desarrollada en las acciones concéntricas de press-banca o de media sentadilla.

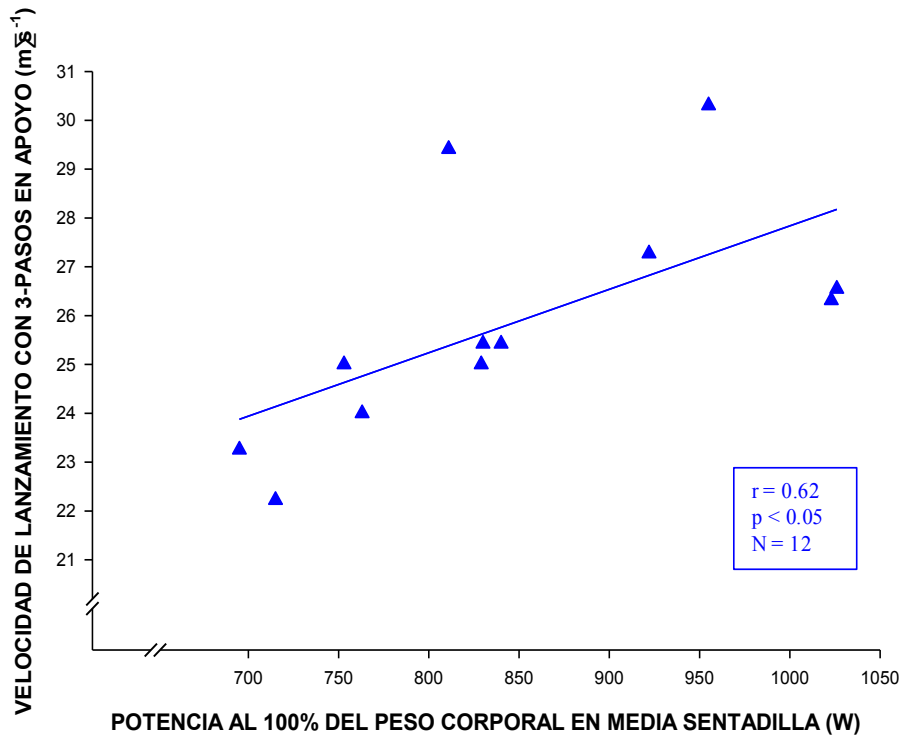


Figura 3.6. Correlación entre los valores individuales de la potencia producida concéntricamente con la carga del 100% del peso corporal, durante la acción de la media sentadilla y los valores individuales de la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo, en EM.

3.2. DIFERENCIAS ENTRE JUGADORAS DE BALONMANO DE ELITE Y AMATEUR FEMENINO

3.2.1. Características físicas

La tabla 3.3 muestra la altura (en cm), el peso corporal (en kg), el porcentaje de grasa corporal (en porcentaje del peso corporal) y la masa magra (en kg) del equipo de elite (EF) y del equipo amateur (AF) femenino.

Tabla 3.3. Características físicas y experiencia de entrenamiento de el equipo de elite (EF) y amateur (AF) femenino.

	Edad (años)	Altura (cm)	Peso (kg)	% graso (%)	Masa magra (kg)	Experiencia de entrenamiento (años)
Elite femenino (n=16)	23.5 (4)	175.4 (8) ^a	69.8 (7)	20.5 (5)	55.1 (4) ^a	12.7 (5)
Amateur femenino (n=15)	21.4 (3)	165.8 (4)	64.6 (5)	23.3 (3)	49.7 (3)	10.4 (3)

^a Diferencia significativa ($p < 0.05$) comparada con las jugadoras amateur femenino de balonmano. Los resultados son Medias (DE).

Como se puede observar en dicha tabla, el equipo de elite (EF) mostró mayor masa magra (10%, $p < 0.001$) y mayor altura (6%, $p < 0.001$), que el equipo amateur (AF). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre los dos equipos en el peso corporal, porcentaje de grasa corporal y experiencia de entrenamiento. Tampoco se observaron diferencias en los valores de índice de masa corporal (IMC, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$) entre los grupos EF ($22.6 \pm 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) y AF ($23.6 \pm 2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$).

3.2.2. Carrera a máxima velocidad y resistencia aeróbica

Los resultados de las mediciones del tiempo de carrera a máxima velocidad y de la resistencia aeróbica se presentan en la tabla 3.4. El grupo EF fue más rápido que el grupo AF porque empleó menos tiempo en correr 5 y 15 m (3-4%, $p < 0.05$) a máxima velocidad. Durante la medición de la resistencia

aeróbica, la concentración media de lactato sanguíneo fue inferior ($p < 0.05-0.01$) en el grupo EF que en el grupo AF a las velocidades de carrera de $8.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($1.5 \pm 0.8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ y $2.1 \pm 0.6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en EF y AF, respectivamente), $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($2.1 \pm 1.1 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ y $3.1 \pm 0.9 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en EF y AF, respectivamente), y $11.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($3.9 \pm 1.8 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ y $6.1 \pm 1.6 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ en EF y AF, respectivamente). Del mismo modo, la frecuencia cardiaca media fue inferior ($p < 0.05-0.01$) en el grupo EF que en el grupo AF a las velocidades de carrera de $8.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($145 \pm 15 \text{ latidos}\cdot\text{min}^{-1}$ y $162 \pm 10 \text{ latidos}\cdot\text{min}^{-1}$ en EF y AF, respectivamente), $10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($160 \pm 14 \text{ latidos}\cdot\text{min}^{-1}$ y $176 \pm 10 \text{ latidos}\cdot\text{min}^{-1}$ en EF y AF, respectivamente), y $11.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ($172 \pm 12 \text{ latidos}\cdot\text{min}^{-1}$ y $186 \pm 7 \text{ latidos}\cdot\text{min}^{-1}$ en EF y AF, respectivamente). La velocidad media de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (V_3) fue un 13% mayor en EF que en AF ($p < 0.001$) (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Tiempo de carrera a máxima velocidad en 5 y 15 m, y velocidad (V_3) y frecuencia cardiaca (FC_3) correspondientes a una concentración de lactato en sangre de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, durante el test de carrera de resistencia, en ambos grupos.

	Tiempo en 5 m (s)	Tiempo en 15 m (s)	V_3 ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	FC_3 ($\text{latidos}\cdot\text{min}^{-1}$)
Elite femenino (n=16)	1.10 (0.05) ^a	2.64 (0.09) ^a	11.1 (0.8) ^a	167 (12)
Amateur femenino (n=15)	1.14 (0.03)	2.71 (0.08)	9.7 (0.9)	169 (11)

^a Diferencia significativa ($p < 0.05$) comparada con las jugadoras amateur femenino de balonmano. Los resultados son Medias (DE).

3.2.3. Salto vertical

No se observaron diferencias en la altura del salto vertical entre EF y AF ($34.9 \pm 5 \text{ cm}$ y $33.0 \pm 3 \text{ cm}$ en EF y AF, respectivamente). Sin embargo, la producción absoluta de potencia muscular media durante el salto vertical en EF ($1787 \pm 156 \text{ W}$) fue un 6% mayor ($p < 0.01$) que en AF ($1618 \pm 143 \text{ W}$).

3.2.4. Fuerza máxima y potencia muscular

Los valores medios de una repetición máxima concéntrica en el ejercicio de press-banca ($1RM_{PB}$) medidos en EF (47.9 ± 6.2 kg) fueron 23% mayores ($p < 0.001$) que los registrados en AF (36.7 ± 4.6 kg, $p < 0.05$) (Figura 3.7).

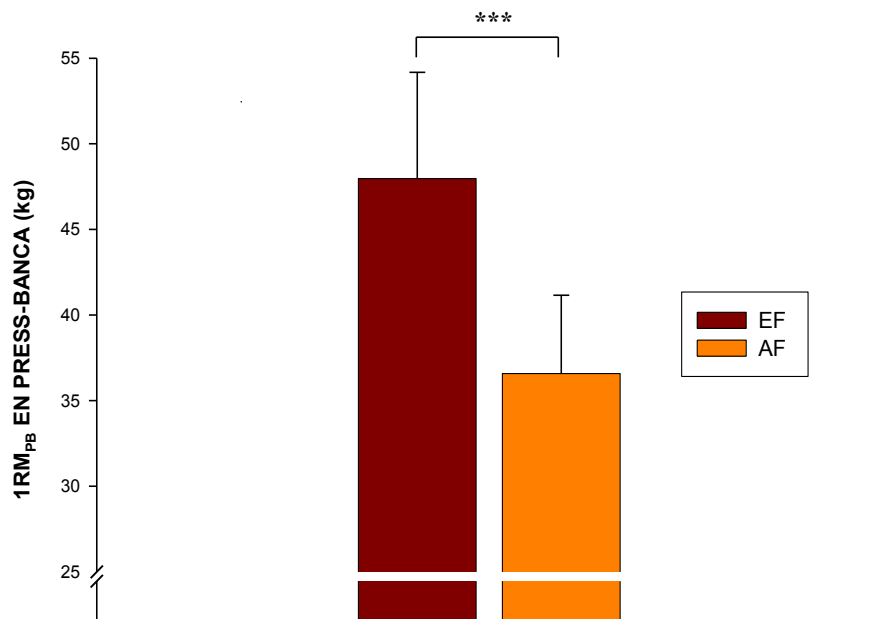


Figura 3.7. Valores de una repetición máxima ($1RM_{PB}$) en el ejercicio de press-banca, en el equipo de elite femenino (EF) y en el equipo amateur femenino (AF). *** Indica diferencia significativa ($p < 0.001$) entre los dos grupos. Los valores son Medias (DE).

Los valores medios absolutos obtenidos en las curvas de carga-potencia en el ejercicio de press-banca difirieron entre los grupos (Figura 3.8). Para todas las cargas examinadas (desde el 45% al 70% de $1RM_{PB}$), la potencia media desarrollada por las extremidades superiores fue mayor en EF ($p < 0.05-0.01$) que en AF. El índice de potencia media desarrollada en todas las cargas por EF (203 ± 37.3 W) fue un 25% mayor ($p < 0.001$) que el índice desarrollado por AF (153 ± 18.8 W).

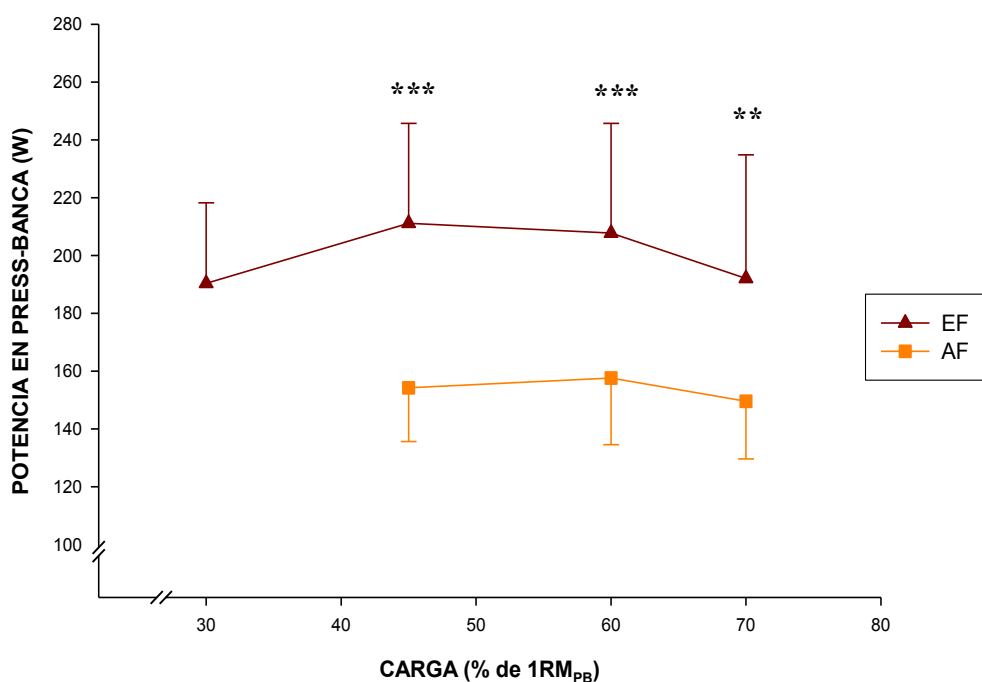


Fig. 3.8. Potencia muscular media (DE) de los músculos de la extremidad superior, en la acción concéntrica de press-banca con las cargas correspondientes al 30%, 45%, 60% y 75% del valor absoluto individual de una repetición máxima (1RM_{PB}) (** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$).

Los valores medios absolutos obtenidos en las curvas de carga-potencia en el ejercicio de media sentadilla también difirieron entre los grupos (Figura 3.9). Para todas las cargas examinadas (desde el 60% al 125% del peso corporal), la potencia media desarrollada por la extremidades inferiores fue mayor en EF ($p < 0.05-0.01$) que en AF. El índice de potencia media desarrollada en todas las cargas por EF (463 ± 51.9 W) fue un 12% mayor ($p < 0.01$) que el índice desarrollado por AF (406 ± 52.0 W).

La relación entre el índice de potencia media absoluta desarrollada durante la acción de press-banca y el índice de potencia media absoluta desarrollada durante la acción de media sentadilla (índice de potencia media en press-banca $\times 100$ / índice de potencia media en media sentadilla) no fue diferente entre los grupos ($43 \pm 9\%$ y $38 \pm 4\%$, en EF y AF, respectivamente).

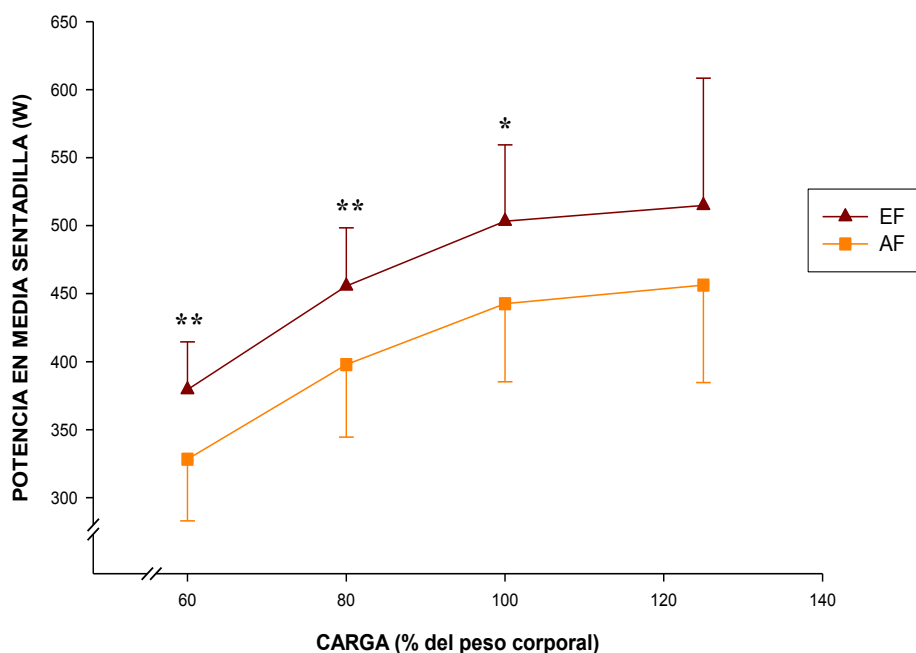


Figura 3.9. Potencia muscular media (DE) de los músculos de la extremidad inferior producida en la acción concéntrica de media sentadilla, con las cargas correspondientes al 60%, 80%, 100% y 125% de los valores absolutos individuales del peso corporal (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

Cuando la potencia muscular desarrollada en la acción concéntrica de media sentadilla se expresó en relación al peso corporal de cada jugadora, las diferencias observadas en la potencia muscular entre EF y AF continuaron siendo significativas aunque se redujeron de un 12% a un 9% ($p < 0.05-0.01$). Sin embargo, cuando la potencia muscular desarrollada en la acción concéntrica de media sentadilla se expresó en relación a la masa magra (MM), las diferencias entre EF y AF desaparecieron (Figura 3.10). Del mismo modo, cuando el índice de potencia media desarrollada con todas las cargas examinadas se expresó en relación a la masa magra ($8.4 \pm 0.8 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $8.2 \pm 0.8 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$ para EF y AF, respectivamente), las diferencias ente EF y AF desaparecieron.

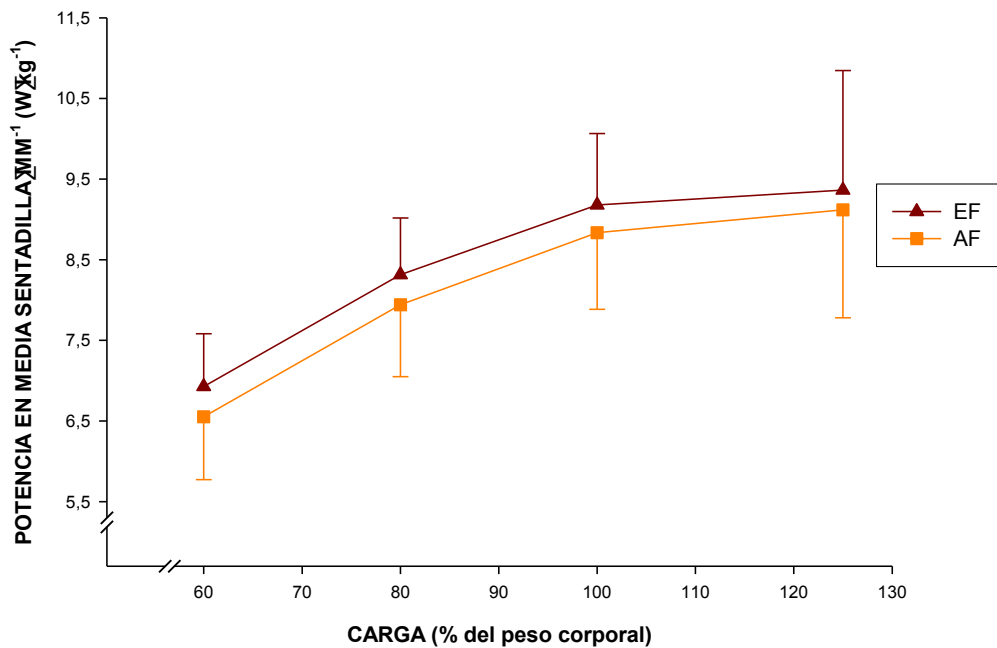


Figura 3.10. Potencia muscular media (DE) de los músculos de la extremidad inferior producida en la acción concéntrica de media sentadilla, en relación a la masa magra (MM), con las cargas correspondientes al 60%, 80%, 100% y 125% de los valores absolutos individuales del peso corporal.

3.2.5. Velocidad de lanzamiento del balón

La velocidad media de lanzamiento de penalti en EF ($19.5 \pm 1.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) fue un 11% mayor ($p < 0.001$) que en AF ($17.4 \pm 1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Al igual que en el lanzamiento de penalti, la velocidad media de lanzamiento con 3-pasos en apoyo fue un 11% mayor ($p < 0.001$) en EF ($21.1 \pm 1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) que en AF ($18.8 \pm 1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). En ambos equipos, la velocidad media de lanzamiento con 3-pasos en apoyo fue mayor (8% y 7%, $p < 0.001$ para EM y AM, respectivamente) que la velocidad de lanzamiento de penalti.

3.2.6. Correlaciones entre la fuerza, la potencia muscular y la velocidad de lanzamiento del balón

En ambos grupos, los valores individuales de una repetición máxima producida durante el ejercicio de press-banca ($1RM_{PB}$) correlacionaron positivamente con los valores individuales de la velocidad de penalti ($r=0.61$ y 0.69 , $p<0.05$, $n=16$ y $n=11$, en EF y AF, respectivamente). Cuando se agruparon los dos grupos de jugadoras en un solo grupo, la significación estadística de la correlación existente entre $1RM_{PB}$ y la velocidad de lanzamiento de penalti aumentó ($r=0.80$, $p<0.001$, $n=27$) (Figura 3.11).

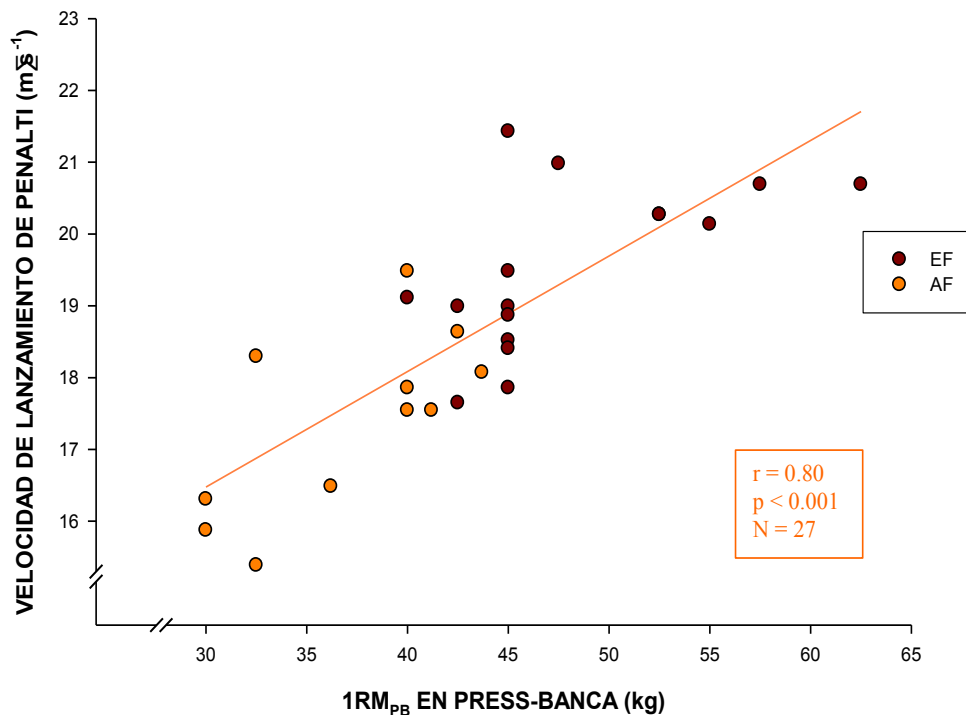


Figura 3.11. Correlación entre los valores individuales de una repetición máxima en el ejercicio de press-banca ($1RM_{PB}$) y los valores individuales de la velocidad de lanzamiento de penalti, en los dos grupos de sujetos.

En EF, los valores individuales de la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo correlacionaron significativamente con los valores individuales de la velocidad producida concéntricamente con la carga del 30% de $1RM_{PB}$ ($r=0.55$, $p<0.05$, $n=16$). En AF, los valores individuales de la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo correlacionaron significativamente con los

valores individuales de $1RM_{PB}$ ($r=0.81$, $p<0.01$, $n=11$) durante la acción de press-banca, así como con los valores individuales de potencia desarrollada con la carga del 80% del peso corporal relativo a la masa magra ($r=0.67$, $p<0.05$, $n=10$) durante la acción concéntrica de media sentadilla.

3.3. EFECTOS DE UNA TEMPORADA DE BALONMANO EN JUGADORES DE ELITE MASCULINO

3.3.1. Tiempo dedicado al entrenamiento y a la competición

Durante las 5 primeras semanas del primer periodo preparatorio (de T1 a T2), los jugadores entrenaron una media de 37 sesiones de entrenamiento (8.4 sesiones de entrenamiento por semana), y jugaron 7 partidos de entrenamiento, con una duración media total (entrenamientos + partidos) de 3048 minutos, distribuida del siguiente modo: entrenamiento de resistencia (31%), entrenamiento de fuerza (29%), entrenamiento de velocidad (0.3%), ejercicios con balón (31%) y partidos de entrenamiento (7%) (Figura 3.12). De T2 a T3_F (15 semanas), los jugadores entrenaron una media de 77 sesiones de entrenamiento (5.1 sesiones de entrenamiento por semana), y jugaron 1 partido de entrenamiento y 20 partidos de competición, con una duración media total (entrenamientos + partidos) de 6326 minutos, distribuida del siguiente modo: entrenamiento de resistencia (25%), entrenamiento de fuerza (10.4%), entrenamiento de velocidad (0.2%), ejercicios con balón (52%), partidos de entrenamiento (3.4%) y partidos de competición (8%). De T3_F a T4 (22 semanas), los jugadores entrenaron una media de 119 sesiones de entrenamiento (5.5 sesiones de entrenamiento por semana), y jugaron 22 partidos de competición, con una duración media total (entrenamiento + partidos) de 5757 minutos, distribuida del siguiente modo: entrenamiento de resistencia (25%), entrenamiento de fuerza (17%), entrenamiento de velocidad (0.1%), ejercicios con balón (48%), partidos de entrenamiento (2.5%) y partidos de competición (8%). El volumen medio de entrenamiento y competición disminuyó progresivamente a lo largo de la temporada desde $649 \pm 16 \text{ min}\cdot\text{semana}^{-1}$ de T1 a T2 a $369 \pm 41 \text{ min}\cdot\text{semana}^{-1}$ de T2 a T3_F, y a $263 \pm 121 \text{ min}\cdot\text{semana}^{-1}$ de T3_F a T4.

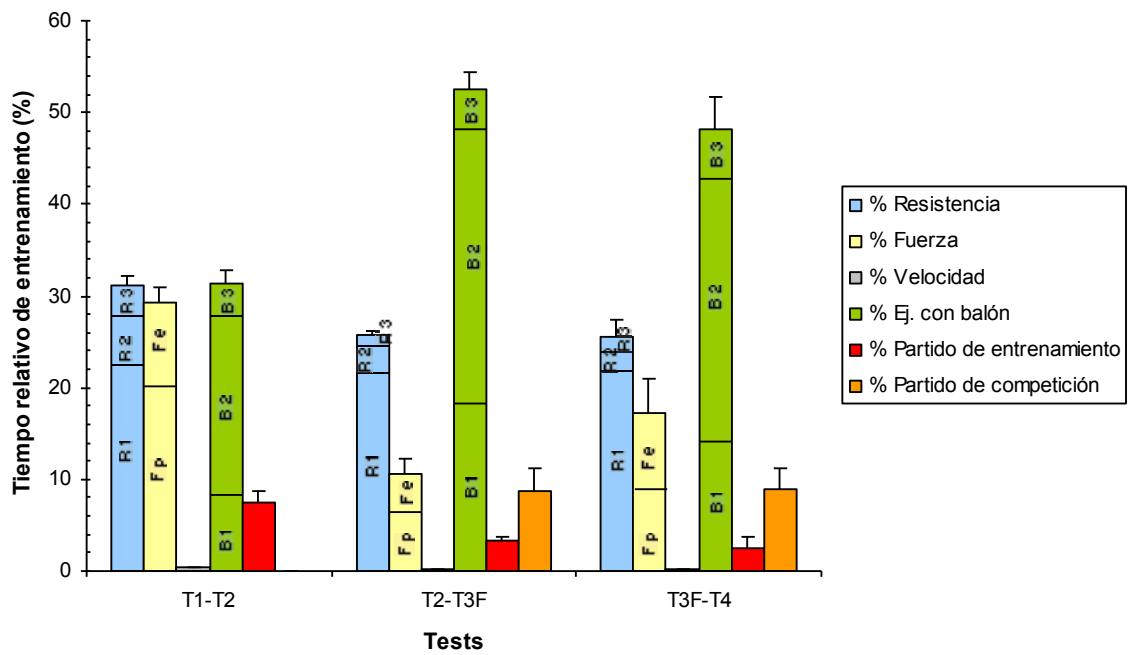


Figura 3.12. *Tiempos relativos medios (DE) de los diferentes tipos de entrenamiento y competición entre tests, durante toda la temporada. Entrenamiento de resistencia de baja (R1), media (R2) y alta intensidad (R3); entrenamiento de fuerza con pesas (Fp) y fuerza específica (Fe); entrenamiento de ejercicios con balón de baja (B1), media (B2) y alta intensidad (B3); partido de entrenamiento y partido de competición.*

3.3.2. Características físicas

A lo largo de la temporada, se observaron ligeros cambios en las características físicas de los jugadores (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. Características físicas del equipo de elite masculino de balonmano ($n=15$), al comienzo del primer periodo preparatorio (T1), al comienzo (T2) y al final (T3_F) del primer periodo competitivo, y al final del segundo periodo competitivo (T4).

Características físicas	T1	T2	T3 _F	T4
Peso corporal (kg)	95.6 (14)	95.2 (13)	95.6 (12)	93.9 (17)
% grasa corporal (%)	14.9 (4)	13.9 (3)	13.6 (3)	14.0 (3)
Masa magra (kg)	80.7 (9)	81.8 (9)**	81.8 (9)**	80.3 (12)
Edad (años)	31.0 (4)			
Altura (cm)	188.0 (7)			

Los valores son medias (DE), $n = 15$. ** Diferencia significativa ($p<0.01$) respecto al valor correspondiente a T1.

No se observaron diferencias significativas en el peso corporal, ni el porcentaje graso a lo largo de la temporada. Sin embargo, la masa magra aumentó significativamente un 1.3% ($p<0.01$) de T1 (80.7 ± 8 kg) a T2 (81.8 ± 9 kg) y un 1.4% de T1 a T3 (82.1 ± 8 kg).

3.3.3. Fuerza máxima y potencia muscular

Los valores medios de una repetición máxima en press-banca ($1RM_{PB}$) aumentaron un 2% en T2 (106.9 ± 11.6 kg, $p<0.05$) y un 1.9% en T3 (106.8 ± 11.3 kg, $p<0.01$), en comparación con T1 (104.8 ± 15.6 kg).

Los valores medios absolutos obtenidos en las curvas de carga-potencia en los ejercicios de press-banca y de media sentadilla se presentan en la tabla 3.6. La potencia muscular desarrollada por la extremidad inferior (media sentadilla) con todas las cargas examinadas, no presentó ningún cambio significativo a lo largo de la temporada. De igual modo, la potencia muscular desarrollada por la extremidad superior (press-banca) no varió a lo largo de toda la temporada.

Tabla 3.6. Valores medios absolutos de potencia media desarrollada en los ejercicios de las extremidades inferiores (media sentadilla) y superiores (press-banca) en el equipo de elite masculino, al comienzo del primer periodo preparatorio (T1), al comienzo (T2) y al final (T3_F) del primer periodo competitivo y al final del segundo periodo competitivo (T4).

Potencia	T1	T2	T3 _F	T4
<i>Extremidad inferior</i>				
P 60% (W)	645 (114)	649 (105)	625 (133)	598 (108)
P 80% (W)	763 (101)	767 (106)	766 (84)	755 (131)
P 100% (W)	845 (103)	840 (112)	883 (100)	840 (137)
P 125% (W)	763 (243)	866 (108)	929 (127)	898 (136)
<i>Extremidad superior</i>				
P 30% (W)	440 (84)	437 (58)	452 (55)	431 (97)
P 45% (W)	476 (73)	487 (70)	500 (74)	481 (96)
P 60% (W)	449 (77)	468 (81)	455 (81)	441 (109)
P 70% (W)	394 (72)	416 (91)	391 (107)	364 (110)

Los valores son medias (DE), n = 15.

3.3.4. Salto vertical

La altura del salto vertical no presentó cambios significativas a lo largo de la temporada (45.2 ± 7.0 cm, 46.8 ± 7.7 cm, 48.2 ± 7.2 cm, y 47.5 ± 7.0 cm, en T1, T2, T3_F y T4, respectivamente).

3.3.5. Carrera a máxima velocidad y resistencia aeróbica

La velocidad de carrera a máxima velocidad en 5 m (17.3 ± 1.2 m·s⁻¹, 17.4 ± 1.1 m·s⁻¹, 17.2 ± 0.8 m·s⁻¹, y 17.2 ± 1.1 m·s⁻¹ en T1, T2, T3_R, y T4, respectivamente) y en 15 m (21.9 ± 1.3 m·s⁻¹, 21.9 ± 1.1 m·s⁻¹, 21.9 ± 0.8 m·s⁻¹, y 21.8 ± 1.3 m·s⁻¹, en T1, T2, T3_R, y T4, respectivamente) no presentó cambio alguno a lo largo del periodo experimental.

De igual manera, no se observaron cambios significativos en la velocidad de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de 3 mmol·l⁻¹ (V₃), durante la temporada (11.9 ± 0.9 km·h⁻¹, 11.8 ± 0.9 km·h⁻¹, 12.3 ± 0.9 km·h⁻¹, y 12.4 ± 0.5 km·h⁻¹, en T1, T2, T3_R y T4, respectivamente).

3.3.6. Velocidad de lanzamiento del balón

Los valores medios de la velocidad de lanzamiento del balón de balonmano mostraron un aumento significativo durante la temporada en ambos tipos de lanzamientos. Así, se observó un aumento significativo (p<0.001) en la velocidad de lanzamiento de penalti en T3_F (26.0 ± 2.2 m·s⁻¹) comparado con T2 (23.8 ± 1.9 m·s⁻¹) y T1 (24.3 ± 2.3 m·s⁻¹). Del mismo modo, la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo aumentó significativamente (p<0.01) en T3_F (27.6 ± 2.2 m·s⁻¹), comparado con T2 (25.3 ± 2.2 m·s⁻¹) y T1 (25.9 ± 1.9 m·s⁻¹). Entre T3_F y T4, no se observaron cambios significativos en la velocidad de lanzamiento de penalti o con 3-pasos en apoyo.

3.3.7. Correlaciones entre los tiempos dedicados a las actividades de entrenamiento y competición, los cambios en la condición física, en la velocidad de lanzamiento y en las características antropométricas, durante la temporada

Entre T1 y T2 se observaron correlaciones significativas entre los tiempos dedicados a las actividades de entrenamiento y los cambios producidos en el rendimiento físico y en la velocidad de lanzamiento del balón. En ese periodo también se observaron correlaciones significativas entre los cambios producidos en las características antropométricas y los cambios en la condición física. Por ejemplo, de T1 a T2, el tiempo total individual dedicado al entrenamiento de la fuerza (F_p + F_e) correlacionó (p<0.05) con los cambios relativos individuales observados en la velocidad de lanzamiento de penalti (r=0.58, n=15) (Figura 3.13).

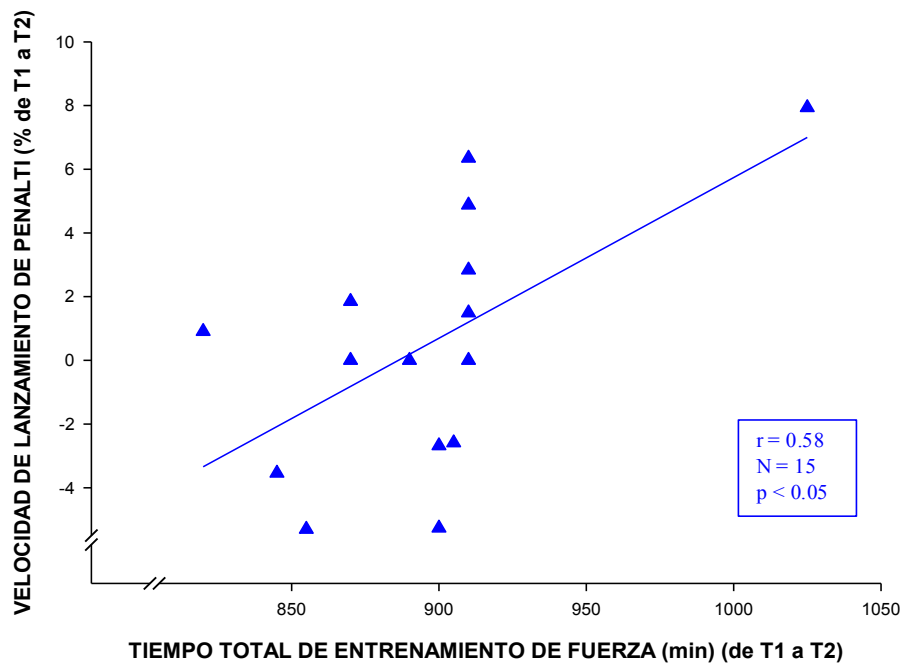


Figura 3.13. Correlación entre el tiempo total dedicado al entrenamiento de fuerza por cada jugador y los cambios individuales observados en la velocidad de lanzamiento de penalti, de T1 a T2.

También se observaron correlaciones significativas inversas ($p < 0.01$) de T1 a T2 entre el tiempo total individual dedicado al entrenamiento de carrera de resistencia y de ejercicios con balón a bajas intensidades (R1 + B1), y los cambios relativos individuales observados en la producción de potencia con la carga del 125% del peso corporal (PC), en la acción concéntrica de media sentadilla (MS), expresados en relación al peso corporal ($r = -0.79$, $n = 10$) (Figura 3.14).

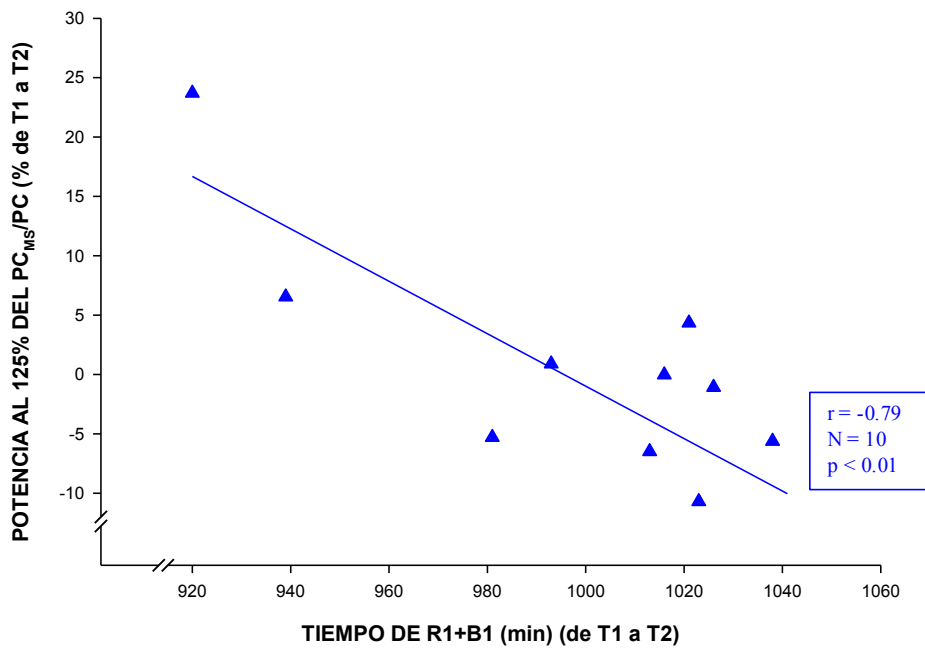


Figura 3.14. Correlación entre el tiempo dedicado por cada jugador al entrenamiento de resistencia (R1) y ejercicios con balón (B1) a bajas intensidades, y los cambios individuales observados en la potencia relativa producida concéntricamente con la carga del 125% del peso corporal durante la acción de media sentadilla (PC_{MS}) (expresado en relación al peso corporal), de T1 a T2.

Por último, de T1 a T2, los cambios relativos individuales en el porcentaje de grasa corporal correlacionaron significativamente ($p < 0.01$) (Figura 3.15) con los cambios relativos individuales observados en la producción de potencia con la carga del 30% de $1RM_{PB}$, en la acción concéntrica de press-banca ($r = 0.70$, $n = 14$).

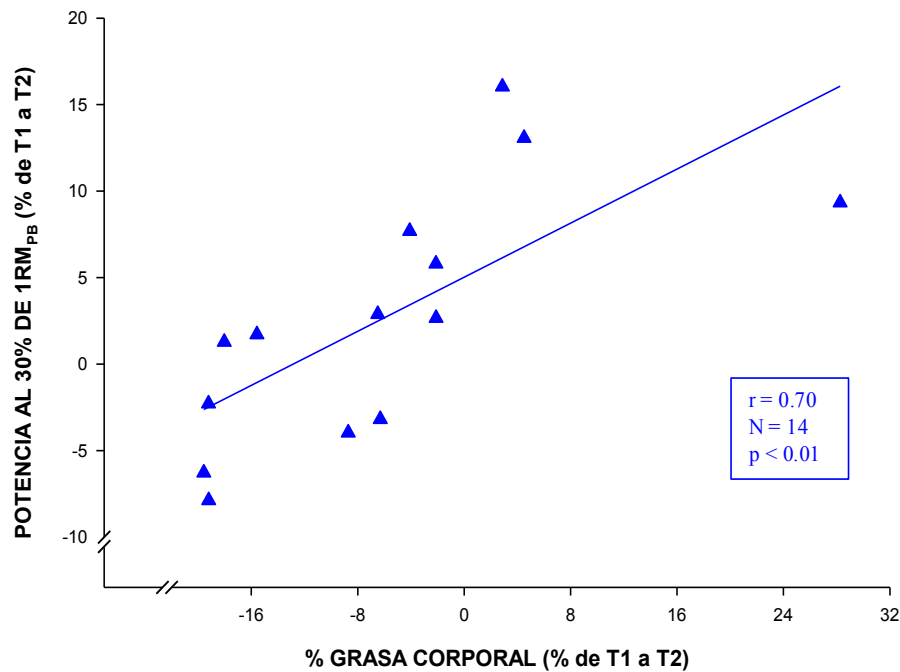


Figura 3.15. Correlación entre los cambios individuales del porcentaje de grasa corporal y los cambios individuales observados en la potencia desarrollada con el 30% de 1RM_{PB} en la acción de press-banca, de T1 a T2.

De T2 a T3_F se observaron correlaciones significativas entre los cambios individuales observados en la producción de potencia con la carga del 125% del peso corporal durante la acción concéntrica de media sentadilla, y los cambios individuales observados en los valores medios de velocidad de carrera a máxima velocidad en 15 m ($r=0.95$, $p<0.01$, $n=6$). De T2 a T3_R, se observaron correlaciones significativas entre la suma del tiempo total individual dedicado al entrenamiento de carrera de resistencia y ejercicios con balón a alta intensidad (R3 + B3) y los cambios relativos individuales observados en la velocidad media de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de 3 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (V_3) ($r=0.68$, $p<0.05$, $n=10$) (Figura 3.16).

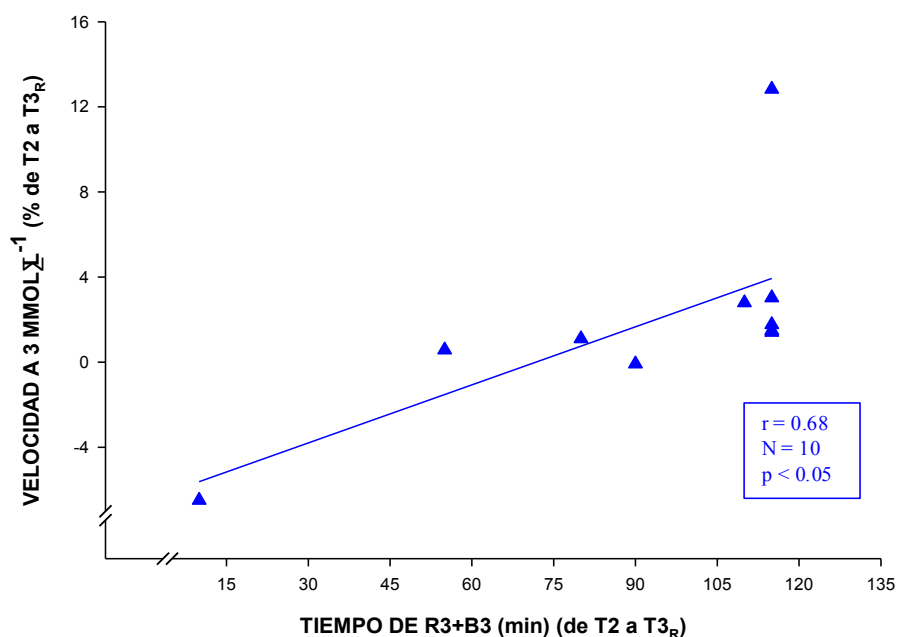


Figura 3.16. Correlación entre la suma del tiempo dedicado al entrenamiento de resistencia (R3) y de ejercicios con balón (B3) a alta intensidad, y los cambios individuales observados en la velocidad asociada correspondiente a una concentración sanguínea de lactato sanguíneo de 3 mmol·l⁻¹ (V₃), de T2 a T3_R.

Debido al importante número de lesiones producidas entre T3 y T4, el número de sujetos que pudo realizar toda la batería completa de mediciones en T4 fue bajo. Por consiguiente, las asociaciones entre las distintas variables solo pudieron ser estudiadas en pocos sujetos (n=5-9) y deben ser interpretadas con cautela. No obstante, las correlaciones tuvieron una tendencia similar a la encontrada en los periodos de entrenamiento y competición previos (de T1 a T2 y de T2 a T3). Por ejemplo, entre T3_F y T4 se observaron correlaciones significativas inversas entre el tiempo total individual dedicado al entrenamiento de la carrera de resistencia y de los ejercicios con balón a baja intensidad (R1 + B1), y los cambios relativos individuales observados en la producción de velocidad con una carga del 125% del peso corporal, en la acción concéntrica de media sentadilla ($r=-0.93$, $p<0.05$, $n=5$). Por último, de T3_R a T4, se observaron correlaciones significativas entre el tiempo total individual dedicado al entrenamiento de carrera de resistencia a media y alta intensidad (R2 + R3), y los cambios relativos individuales observados en la velocidad media

de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de 3 mmol·l⁻¹ (V₃) (r=0.95, p<0.05, n=5).

3.4. EFECTOS DE UNA TEMPORADA DE BALONMANO EN JUGADORAS DE ELITE FEMENINO

3.4.1. Tiempo dedicado al entrenamiento y a la competición

Durante las 6 primeras semanas del primer periodo preparatorio (de T1 a T2), las jugadoras entrenaron una media de 21 sesiones de entrenamiento (3.5 sesiones de entrenamiento por semana), y jugaron 9 partidos de entrenamiento y 2 partidos de competición, con una duración media total (entrenamiento + partidos) de 2738 minutos, distribuida del siguiente modo: entrenamiento de resistencia (16%), entrenamiento de fuerza (10%), entrenamiento de velocidad (1.3%), ejercicios con balón (57%) y partidos de entrenamiento (13%) y partidos de competición (3%) (Figura 3.17). De T2 a T3 (9 semanas), las jugadoras entrenaron una media de 39 sesiones de entrenamiento (4.3 sesiones de entrenamiento por semana), y jugaron 1 partido de entrenamiento y 9 partidos de competición, con una duración media total (entrenamiento + partidos) de 4317 minutos, distribuida del siguiente modo: entrenamiento de resistencia (19%), entrenamiento de fuerza (11%), entrenamiento de velocidad (3%), ejercicios con balón (59%), partidos de entrenamiento (1.3%) y partidos de competición (6%). De T3 a T4 (24 semanas), las jugadoras entrenaron una media de 98 sesiones de entrenamiento (4.1 sesiones de entrenamiento por semana), y jugaron 2 partidos de entrenamiento y 16 partidos de competición, con una duración media total (entrenamiento + partidos) de 11432 minutos, distribuida del siguiente modo: entrenamiento de resistencia (15%), entrenamiento de fuerza (12%), entrenamiento de velocidad (4%), ejercicios con balón (58%), partidos de entrenamiento (6%) y partidos de competición (4%). El volumen medio de entrenamiento y competición aumentó progresivamente a lo largo de la temporada desde 399 ± 84 min·semana⁻¹ de T1 a T2 a 458 ± 29 min·semana⁻¹ de T2 a T3, y a 482 ± 15 min·semana⁻¹ de T3 a T4.

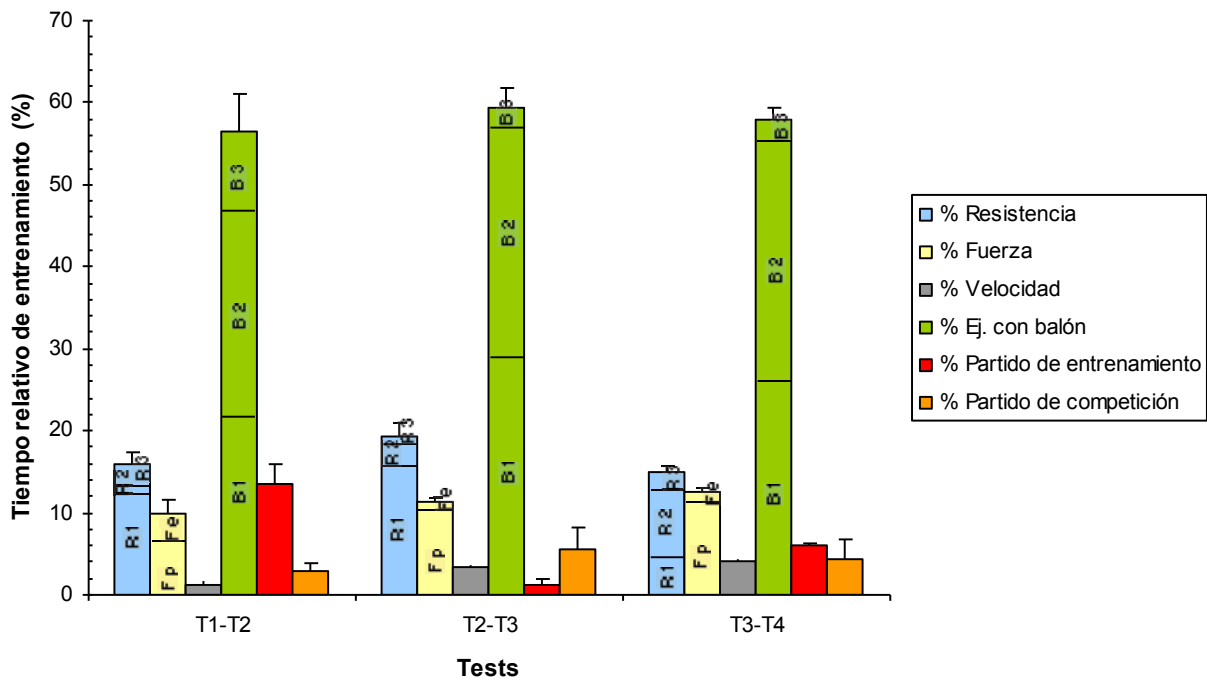


Figura 3.17. *Tiempos relativos medios (DE) de los diferentes tipos de entrenamiento y competición entre tests, durante toda la temporada. Entrenamiento de resistencia de baja (R1), media (R2) y alta intensidad (R3); entrenamiento de fuerza con pesas (Fp) y fuerza específica (Fe); entrenamiento de ejercicios con balón de baja (B1), media (B2) y alta intensidad (B3); partido de entrenamiento y partido de competición.*

3.4.2. Características físicas

A lo largo de la temporada, se observaron ligeros cambios en las características físicas de las jugadoras (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Características físicas del equipo de elite femenino de balonmano ($n=16$), al comienzo del primer periodo preparatorio (T1), al comienzo (T2) y al final (T3) del primer periodo competitivo y al final del segundo periodo competitivo (T4).

Características físicas	T1	T2	T3	T4
Peso corporal (kg)	69.6 (8)	69.4 (8)	69.3 (8)	69.3 (8)
% grasa corporal (%)	21.1 (5)	19.9 (5)	19.2 (5)**	19.6 (5)
Masa magra (kg)	54.4 (4)	55.0 (4)	55.4 (4)*	55.2 (4)
Edad (años)	23.0 (4)			
Altura (cm)	175.6 (6)			

Los valores son medias (DE), $n = 16$. * ($p < 0.05$) ó ** ($p < 0.01$), diferencia significativa respecto al valor correspondiente a T1.

No se observaron cambios en el peso corporal a lo largo de la temporada. Sin embargo, la masa magra aumentó significativamente un 1.8% ($p < 0.05$) de T1 (54.4 ± 3 kg) a T3 (55.4 ± 4 kg), y el porcentaje de grasa corporal disminuyó significativamente un 9.8% ($p < 0.01$) de T1 ($21.1 \pm 5\%$) a T3 ($19.2 \pm 5\%$).

3.4.3. Fuerza máxima y potencia muscular

Los valores medios de una repetición máxima en press-banca ($1RM_{PB}$) aumentaron un 6.4% en T3 (48.9 ± 6.5 kg, $p < 0.01$) y un 11.3% en T4 (51.6 ± 6.7 kg, $p < 0.001$), en comparación con T1 (45.8 ± 5.7 kg).

Los valores medios absolutos obtenidos en las curvas de carga-potencia en los ejercicios de press-banca y de media sentadilla se presentan en la tabla 3.8. La potencia muscular desarrollada en la extremidad inferior en el ejercicio de media sentadilla fue de un 7 a un 13% mayor ($p < 0.01-0.05$) en T2, T3 y T4, comparado con T1, con las cargas del 100% y 125% del peso corporal, mientras que permaneció constante durante toda la temporada con las cargas del 60% y 80% del peso corporal. La potencia muscular producida en la extremidad superior en el ejercicio de press-banca con todas las cargas examinadas fue de

un 12 a un 21% superior ($p < 0.001-0.05$) en T2, T3 y T4, en comparación con T1, y en T4 comparado con T2 y T3 con las cargas del 30%, 45% y 70% de $1RM_{PB}$.

Tabla 3.8. Valores medios absolutos de potencia media desarrollada en los ejercicios de las extremidades inferiores (media sentadilla) y superiores (press-banca) en el equipo de elite femenino, al comienzo del primer periodo preparatorio (T1), al comienzo (T2) y al final (T3) del primer periodo competitivo, y al final del segundo periodo competitivo (T4).

Potencia	T1	T2	T3	T4
<i>Extremidad inferior</i>				
P 60% (W)	374 (28)	377 (35)	385 (48)	388 (35)
P 80% (W)	426 (39)	453 (42) ^a	450 (70)	451 (16)
P 100% (W)	462 (60)	500 (56) ^a	497 (78) ^a	494 (66) ^a
P 125% (W)	466 (78)	506 (93) ^a	514 (88) ^a	527 (15) ^a
<i>Extremidad superior</i>				
P 30% (W)	178 (26)	188 (27) ^a	193 (27) ^a	200 (28) ^{abc}
P 45% (W)	191 (38)	208 (34) ^a	213 (34) ^a	219 (36) ^{abc}
P 60% (W)	182 (44)	204 (37) ^a	208 (41) ^a	214 (40) ^a
P 70% (W)	169 (42)	186 (42) ^a	196 (42) ^{ab}	204 (44) ^{ab}

Los valores son medias (DE), $n = 16$. ^a diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto al valor correspondiente a T1. ^b diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto al valor correspondiente a T2. ^c diferencia significativa ($p < 0.05$) respecto al valor correspondiente a T3.

3.4.4. Salto vertical

La altura del salto vertical aumentó a lo largo de la temporada significativamente un 12.2% ($p < 0.001$) de T1 (33.7 ± 5.5 cm) a T3 (38.4 ± 4.4 cm), y en un 9.1% ($p < 0.05$) de T2 (34.9 ± 4.6 cm) a T3.

3.4.5. Carrera a máxima velocidad y resistencia aeróbica

La velocidad de carrera a máxima velocidad en 5 m ($16.3 \pm 0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $16.2 \pm 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $16.1 \pm 0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y $16.6 \pm 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en T1, T2, T3, y T4, respectivamente) y en 15 m ($20.1 \pm 0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $20.4 \pm 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $20.4 \pm 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y $20.7 \pm 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, en T1, T2, T3, y T4, respectivamente) no presentó cambio alguno durante el periodo experimental.

De igual manera, no se observaron cambios significativos en la velocidad de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (V_3), durante la temporada ($10.8 \pm 0.9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $11.1 \pm 0.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, $11.3 \pm 0.9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, y $10.9 \pm 0.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, en T1, T2, T3 y T4, respectivamente).

3.4.6. Velocidad de lanzamiento del balón

Los valores medios de la velocidad de lanzamiento del balón de balonmano mostraron un aumento significativo durante la temporada en ambos tipos de lanzamientos. Así, se observó un aumento significativo ($p < 0.01$) en la velocidad de lanzamiento de penalti en T4 ($20.5 \pm 1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), en T3 ($20.2 \pm 1.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y en T2 ($19.5 \pm 1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) comparado con T1 ($19.0 \pm 0.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). De igual modo, la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo aumentó significativamente ($p < 0.01-0.05$) en T4 ($21.8 \pm 1.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), en T3 ($21.5 \pm 1.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y en T2 ($21.1 \pm 1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), comparado con T1 ($20.0 \pm 1.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).

3.4.7. Correlaciones entre los tiempos dedicados a las actividades de entrenamiento y competición, los cambios en la condición física, y las características antropométricas durante la temporada

Se observaron pocas correlaciones a lo largo de la temporada entre los cambios observados en la condición física o las características antropométricas, y el tiempo dedicado al entrenamiento y a la competición. De T1 a T2, el tiempo total individual dedicado a los partidos de entrenamiento y competición correlacionó significativamente con los cambios individuales observados en la

velocidad desarrollada con la carga del 30% de $1RM_{PB}$ en la acción concéntrica de press-banca ($r=0.62$, $p<0.05$, $n=16$) (Figura 3.18), así como con los cambios relativos individuales observados en la masa magra ($r=0.58$, $p<0.05$, $n=16$).

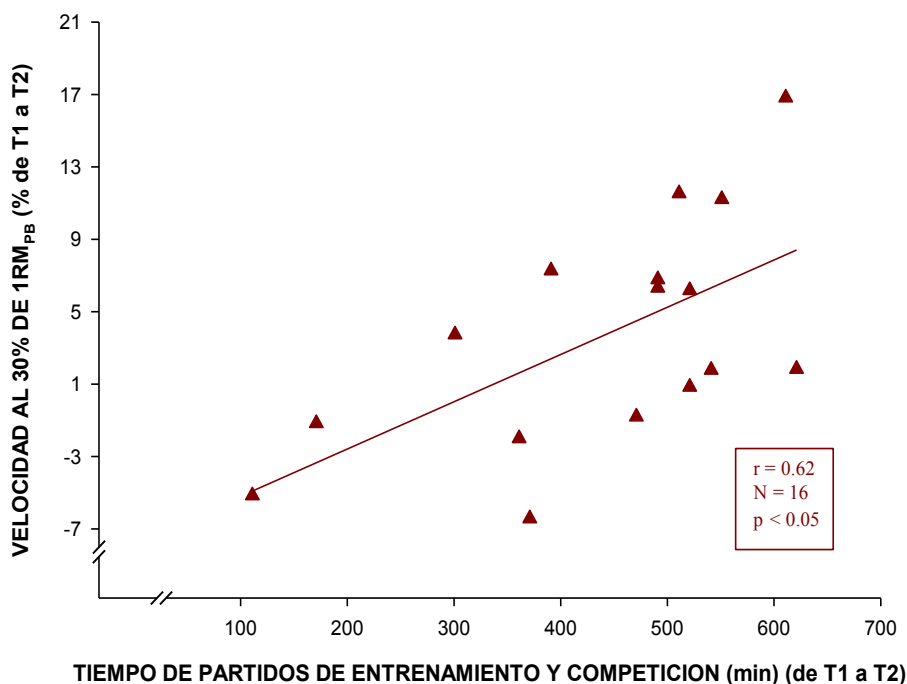


Figura 3.18. Correlación entre el tiempo total dedicado a los partidos de entrenamiento y de competición por cada jugadora, y los cambios individuales observados en la velocidad producida con el 30% de $1RM_{PB}$ en la acción de press-banca, de T1 a T2.

3.4.8. Correlaciones entre los cambios en la fuerza y los cambios en la carrera a máxima velocidad

De T3 a T4, se observaron correlaciones significativas entre los cambios individuales observados en la velocidad producida con la carga del 60% del peso corporal en la acción concéntrica de media sentadilla, y los cambios individuales observados en los valores medios de la carrera a máxima velocidad en 5 m ($r=0.66$, $p<0.05$, $n=10$).

3.4.9. Correlaciones entre los cambios en la fuerza y la velocidad de lanzamiento del balón

En T3, los valores individuales de la velocidad de lanzamiento de penalti correlacionaron significativamente ($p < 0.05$) con los valores individuales de producción de potencia con la carga del 45% de $1RM_{PB}$ ($r = 0.61$, $p < 0.05$, $n = 16$) durante la acción de press-banca, y con los valores individuales de producción de potencia con la carga del 80% del peso corporal ($r = 0.65$, $p < 0.05$, $n = 16$), durante la acción de media sentadilla.

En T4, los valores individuales de velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo correlacionaron significativamente ($p < 0.05$) con los valores individuales de producción de potencia, con la carga del 30% de $1RM_{PB}$ ($r = 0.54$, $p < 0.05$, $n = 16$).

También se observaron correlaciones significativas de T1 a T4 entre los cambios de la velocidad de lanzamiento del balón y los cambios relativos en la condición física. Por ejemplo, de T2 a T3, los cambios relativos individuales observados en la velocidad producida con la carga del 100% del peso corporal durante la acción concéntrica de media sentadilla, correlacionaron con los cambios relativos individuales observados en la velocidad de lanzamiento penalti ($r = 0.66$, $p < 0.05$, $n = 11$) (Figura 3.19).

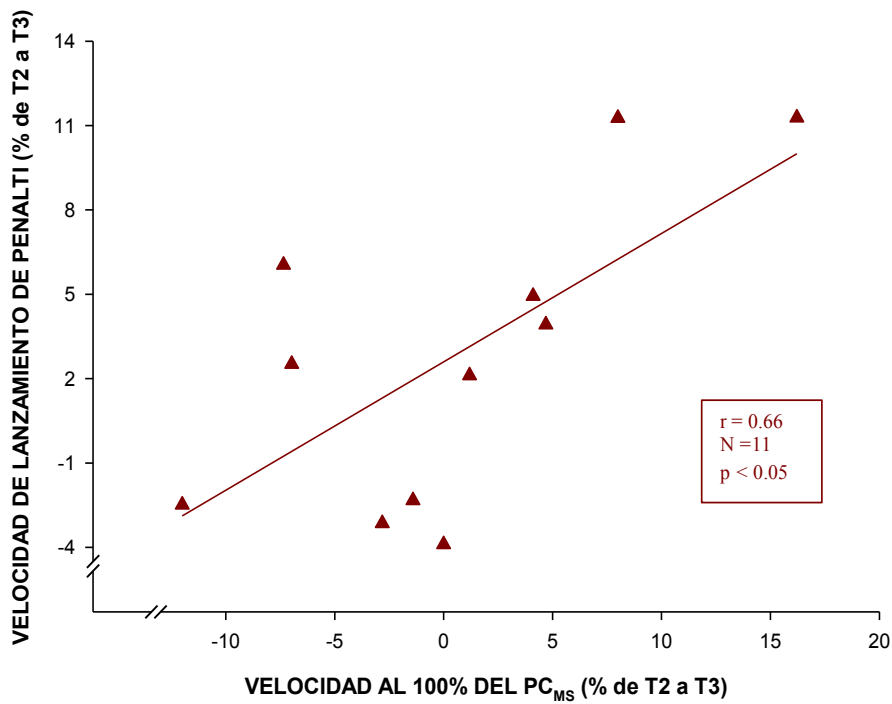


Figura 3.19. Correlación entre los cambios individuales observados en la velocidad de lanzamiento de penalti y los cambios individuales observados en la velocidad producida concéntricamente con una carga del 100% del peso corporal, durante el ejercicio de media sentadilla, de T2 a T3.

Entre T3 y T4, se observaron correlaciones significativas entre los cambios relativos individuales observados en la velocidad desarrollada con la carga del 70% de 1RM_{PB} y los cambios relativos individuales observados en la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo ($r=0.64$, $p<0.05$, $n=13$) (Figura 3.20).

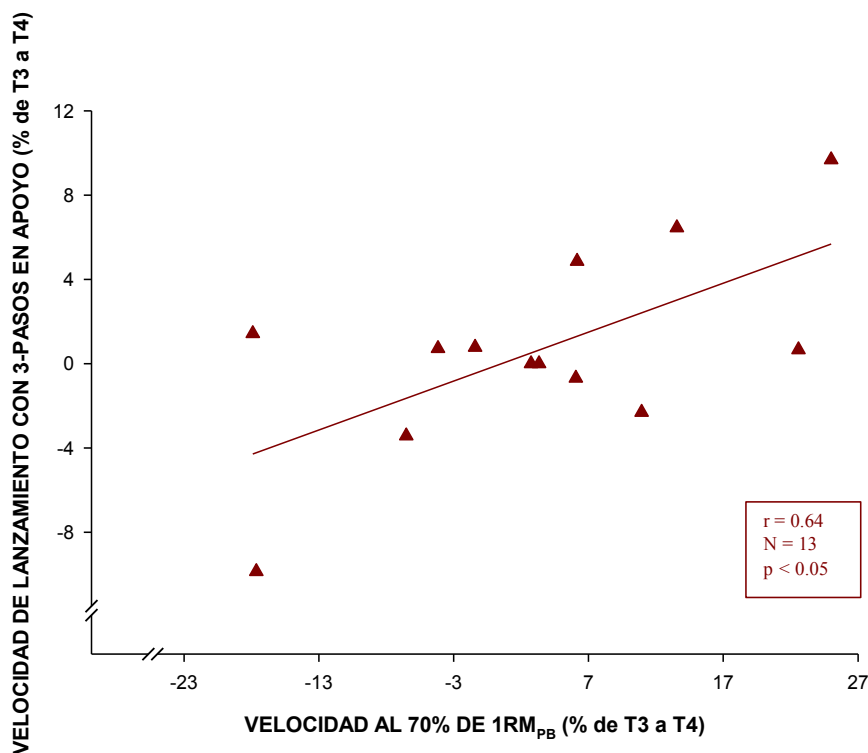


Figura 3.20. Correlación entre los cambios individuales observados en la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo y los cambios individuales observados en la velocidad producida concéntricamente con una carga del 70% de 1RM_{PB} durante el ejercicio de press-banca, de T3 a T4.

3.4.10. Correlaciones entre los cambios en las características antropométricas y los cambios en la fuerza y en la resistencia aeróbica

Los cambios individuales observados en el porcentaje de grasa corporal correlacionaron significativamente con los cambios individuales observados en los valores máximos de 1RM_{PB} en la acción concéntrica de press-banca de T1 a T2 ($r=0.52$, $p<0.05$, $n=16$) y de T2 a T3 ($r=0.65$, $p<0.01$, $n=15$). De T2 a T3, los cambios observados en el peso corporal correlacionaron significativamente ($r=0.75$, $p<0.01$, $n=11$) (Figura 3.21) con los cambios individuales observados en la potencia producida con la carga al 60% del peso corporal, en la acción concéntrica de media sentadilla.

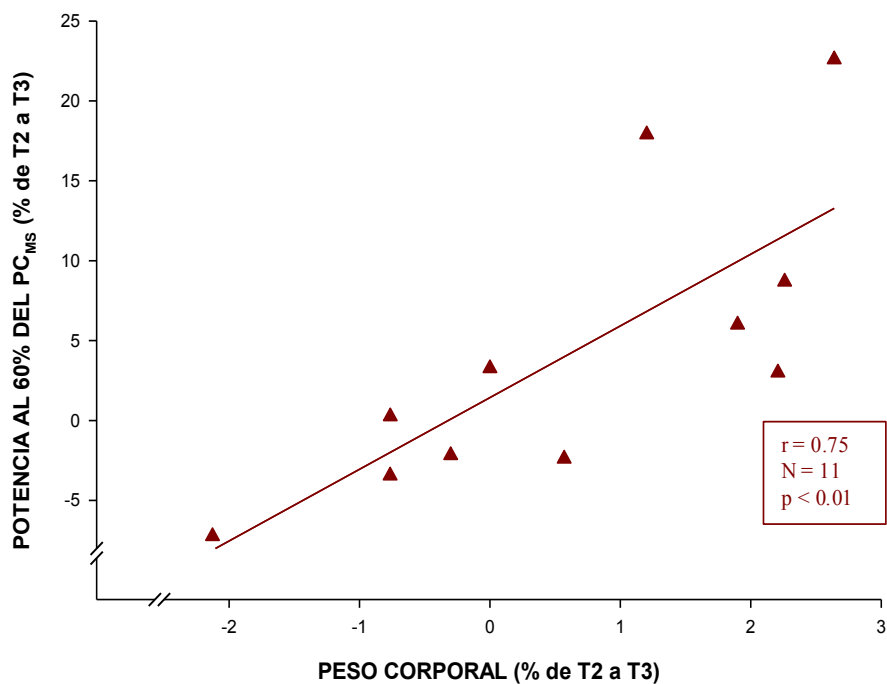


Figura 3.21. Correlación entre los cambios individuales del peso corporal y los cambios individuales de la potencia producida concéntricamente con una carga del 60% del peso corporal, en el ejercicio de media sentadilla, de T2 a T3.

Por último, de T1 a T2 se observaron correlaciones inversamente significativas entre los cambios observados en el peso corporal y los cambios observados en la velocidad media de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (V_3) ($r = -0.74$, $p < 0.01$, $n = 12$).

DISCUSION



4. DISCUSIÓN

4.1. DIFERENCIAS ENTRE JUGADORES DE BALONMANO DE ELITE Y AMATEUR MASCULINO

En lo que conocemos, este es el primer estudio desde los años 70 que compara simultáneamente las características antropométricas, el salto vertical, la carrera a máxima velocidad, la velocidad de lanzamiento del balón y la resistencia aeróbica de un equipo de balonmano de elite (EM) y de un equipo amateur (AM) masculino. En el presente estudio, los valores medios de peso corporal y de masa magra de los jugadores de elite fueron un 15% y un 13% superiores, respectivamente, que los de los jugadores amateur, mientras que no se encontraron diferencias significativas en la talla o el porcentaje graso entre los dos equipos. Esto indica que los jugadores de gran constitución son más aptos para jugar al balonmano de alto nivel que los de menor constitución. Para una talla similar (180-190 cm), el índice de masa corporal en EM ($26.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) fue también mayor que el encontrado en equipos de balonmano de elite de los años 70 y 80 ($23.7\text{-}25.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) (Bartosiewicz y col., 1986; Fleck y col., 1992; Mikkelsen y Olesen, 1976). Tal como ha sido también observado en otros deportes (lanzamiento de peso, disco, jabalina, fútbol, rugby) (Norton y Olds, 2001), se ha observado un aumento de la envergadura de los jugadores de balonmano a lo largo de las dos últimas décadas. Este aumento de la envergadura y del peso corporal se ha relacionado con diferentes factores, como la globalización, el reclutamiento internacional de jugadores, los mayores incentivos sociales y financieros, y los avances en nutrición, ayudas ergogénicas, nuevos métodos de entrenamiento, o el desarrollo de técnicas médicas y fisioterápicas (Norton y Olds, 2001).

Uno de los principales resultados encontrados en este estudio fue que la fuerza máxima absoluta durante el ejercicio de press-banca y la potencia muscular durante las acciones del press-banca y media sentadilla fueron entre un 16% y un 22% superiores en EM que en AM. Estas diferencias han sido también observadas en otros deportes de contacto como el rugby (Baker, 2002), y sugieren que para conseguir el éxito en balonmano de alto nivel es necesario

tener valores absolutos elevados de fuerza máxima y de potencia muscular. Cuando la potencia muscular desarrollada en la acción de media sentadilla con cargas submáximas se normalizó respecto al peso corporal o a la masa magra, las diferencias observadas entre EM y AM en la capacidad para mover rápidamente cargas submáximas, desaparecieron. Esto sugiere que: 1) los modelos de activación neural o la tensión muscular desarrollada por kilogramo de masa muscular en la acción concéntrica de media sentadilla a cargas submáximas, son similares entre los jugadores de balonmano de elite y aficionado, y 2) las diferencias en la masa magra pueden explicar por sí solas las diferencias observadas entre los grupos en la fuerza máxima y la potencia muscular observadas entre los grupos. No obstante, los elevados valores absolutos de fuerza máxima y de potencia muscular desarrollados por EM, en comparación con AM, le proporcionan una clara ventaja en algunas de las acciones típicas del balonmano, como son empujar, bloquear o sujetar al oponente (Bartosiewicz y col., 1986).

Los valores de salto vertical y de carrera a máxima velocidad fueron similares en ambos grupos. Otros autores han observado resultados similares en estudios realizados en los años 70 y 80, con jugadores de balonmano (Bartosiewicz y col., 1986; Mikkelsen y Olesen, 1976). Esto sugiere que la potencia mecánica desarrollada por kilogramo de peso corporal durante el salto y la carrera a máxima velocidad es similar en jugadores de balonmano de diferente nivel, y confirman los resultados encontrados en la potencia muscular normalizada respecto al peso corporal en el ejercicio de media sentadilla. No obstante, el mayor peso corporal del grupo EM, en comparación con AM, le permite producir mayores valores absolutos de potencia mecánica, tanto en el salto vertical como en la carrera a máxima velocidad, lo que resulta muy ventajoso en balonmano.

Es difícil comparar los resultados de diferentes estudios que han medido la velocidad de lanzamiento en jugadores de balonmano de elite, porque difieren en numerosos factores, como, por ejemplo, el método de medida (células fotoeléctricas, radar, cinematografía), comienzo de la medición (desde el despegue del balón de la mano, o desde 1 a 3 m de distancia del lanzador), o el

tipo y la dirección del lanzamiento. En cualquier caso, las velocidades medias del lanzamiento de penalti ($23.8 \pm 1.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y con 3-pasos en apoyo ($25.3 \pm 2.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) medidas en EM son la más alta y la segunda más alta, respectivamente, descritas en la literatura, en jugadores de balonmano de elite que jugaban en los años 70 y 80 (entre $20\text{-}23.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y entre $21.8\text{-}28.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para el lanzamiento de penalti y con 3-pasos en apoyo, respectivamente) (Fleck y col., 1992; Loftin y col., 1996; Müller, 1980). Se podría especular que una de las características de los jugadores actuales de balonmano de alto nivel, en comparación con los jugadores de los años 70 y 80, es su mayor velocidad de lanzamiento del balón. Sin embargo, esta interpretación debería tomarse con cautela, debido a las marcadas diferencias observadas en los factores metodológicos observadas entre los distintos estudios.

También fue interesante observar que en EM y en AM se encontró una correlación significativa entre la velocidad de desplazamiento de la barra con el 30% de una 1RM_{PB} y los valores individuales de la velocidad de lanzamiento de penalti. Esto indica que, independientemente del nivel de los jugadores, los jugadores que desarrollaron mayores velocidades con cargas relativamente bajas durante la acción de press-banca fueron capaces de lanzar el balón desde la posición de penalti con mayores velocidades, comparado con los jugadores que desarrollaron menores valores de velocidad con cargas relativamente bajas, durante la acción de press-banca. Se ha sugerido que en los movimientos explosivos desarrollados con cargas bajas se reclutan y se activan selectivamente las unidades motoras de elevada frecuencia de descarga, que inervan las fibras musculares de tipo II (DeRenne y col., 1994; Smith y col., 1980). Además, Mikkelsen y Olesen (1976) encontraron una correlación significativa entre la superficie relativa de las fibras musculares rápidas de tipo II y la velocidad de lanzamiento de penalti, en jugadores de balonmano de nivel internacional. Estas observaciones sugieren que los jugadores que lanzan más rápido son capaces de activar mejor y más rápidamente las fibras musculares rápidas del miembro superior durante las acciones rápidas realizadas con cargas ligeras. Esto se debe, probablemente, a que se produce un reclutamiento selectivo de las fibras rápidas en este tipo de movimientos (Newton y col., 1997).

En el presente estudio también se encontraron correlaciones significativas entre los valores desarrollados en la curva carga-potencia y la velocidad de lanzamiento del balón en la acción de 3-pasos en apoyo. Por ejemplo, en EM, pero no en AM, se encontró una correlación significativa entre la velocidad de lanzamiento del balón con 3-pasos en apoyo y la velocidad desarrollada al 30% de $1RM_{PB}$, así como con la potencia desarrollada con el 100% del peso corporal, durante la acción de media sentadilla. Esto indica que la velocidad del balón en el lanzamiento con 3-pasos en apoyo en un equipo de balonmano de elite depende más de las capacidades de potencia muscular del miembro superior e inferior que en los jugadores de balonmano amateur. La correlación significativa observada en EM entre la fuerza del miembro superior y el lanzamiento con 3-pasos en apoyo, ha sido anteriormente encontrada en jugadores de balonmano de elite, cuando realizaron contracciones isocinéticas de la extensión del codo (Fleck y col., 1992). Esto indica que la velocidad del lanzamiento del balón en la acción de 3-pasos en apoyo está relacionada con la capacidad que tenga el miembro superior para mover cargas ligeras a máxima velocidad (Joris y col., 1985). La participación del miembro inferior en la producción de elevadas velocidades del lanzamiento del balón con 3-pasos en apoyo en EM, podría estar relacionada con el hecho de que la fuerza y la velocidad de lanzamiento del balón no solo depende de la fuerza desarrollada por el miembro superior, sino que también depende de la energía transferida de un modo secuencial al miembro superior desde el miembro inferior y el tronco (capacidad para extender rápidamente la rodilla y la cadera, antes de que se produzcan las acciones del tronco y del miembro superior) (Elliot y col., 1988; Fleck y col., 1992; Toyoshima y col., 1974).

La ausencia de correlaciones entre la potencia muscular y la velocidad de lanzamiento con 3-pasos en apoyo en AM puede estar relacionada con una menor eficiencia del gesto de lanzamiento en AM, en comparación con EM. Se sabe que la eficiencia del lanzamiento depende de la fuerza y potencia muscular, pero también depende de la técnica de lanzamiento y de la capacidad que tengan los jugadores para coordinar rápida y secuencialmente las complejas acciones de los segmentos corporales que intervienen en el lanzamiento. Estas acciones incluyen desde los movimientos de la pierna y el tronco hasta los movimientos de los segmentos más dístales (hombro, codo, muñeca y dedos) (Joris y col., 1985; Van Muijen y col., 1991). Bajo esta hipótesis, se podría pensar que EM realiza

mejor el movimiento que AM y, por lo tanto, transfiere la energía al balón de modo más eficiente durante el lanzamiento. En ese caso, la velocidad de lanzamiento en AM debería ser más dependiente de la coordinación y de la técnica que de las características de la fuerza y de la potencia muscular. De todos modos, se necesita llevar a cabo más estudios que incluyan el análisis cinemático y la activación muscular secuencial, para conocer mejor las diferencias que se dan en los jugadores de balonmano de diferente nivel en la técnica de lanzamiento del balón.

Basados en estudios que midieron la frecuencia cardiaca y los niveles de lactato sanguíneo durante partidos de 30 a 60 min de duración, se ha sugerido que el juego del balonmano exige que los jugadores presenten una capacidad aeróbica elevada (Delamarche y col., 1987; Loftin y col., 1996; Mikkelsen y Olesen, 1976). Sin embargo, los jugadores de balonmano de elite y de menor nivel no suelen presentar capacidades aeróbicas elevadas, porque sus valores medios de consumo máximo de oxígeno (Alexander y Boreskie, 1989; Delamarche y col., 1987; Hermansen, 1973; Mikkelsen y Olesen, 1976), porcentaje de fibras musculares de tipo I (Mikkelsen y Olesen, 1976) y actividad del enzima succinato deshidrogenasa en el músculo vasto lateral del cuádriceps (Mikkelsen y Olesen, 1976) son solamente ligeramente superiores a los del hombre joven sedentario. Además, durante los partidos, los jugadores suelen ser sustituidos con mucha frecuencia y suelen jugar de media de 25 a 30 minutos por partido, recorriendo distancias pequeñas (1.1 a 3.0 km) (Wallace y Cardinale, 1997), con un coste calórico bajo (500 a 800 kcal) (Banister, 1964), y utilizando poco glucógeno muscular (39% del nivel inicial) (Mikkelsen y Olesen, 1976). Por lo tanto, parece probable que los jugadores de balonmano no necesiten poseer valores elevados de capacidad aeróbica para destacar en el juego del balonmano. Los resultados de este estudio refuerzan esta hipótesis, porque los valores medios de la velocidad correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ ($11.8\text{-}12.0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), reflejo de la resistencia aeróbica, son similares en EM y AM, y bastante modestos. Estos resultados sugieren que la resistencia aeróbica no parece ser una limitación para la mejora del nivel de balonmano. No obstante, esto debería interpretarse con precaución porque es probable que los jugadores de balonmano necesiten tener un nivel mínimo de resistencia para conseguir el éxito en balonmano.

4.2. DIFERENCIAS ENTRE JUGADORAS DE BALONMANO DE ELITE Y AMATEUR FEMENINO

En lo que nosotros conocemos, este es el primer estudio que ha analizado simultáneamente las características antropométricas, el salto vertical, la velocidad de carrera, la velocidad de lanzamiento y la resistencia aeróbica de un equipo de elite (EF), en comparación con un equipo amateur (AF), de balonmano femenino. En el presente estudio, la talla y la masa magra media en EF fueron un 6% y 10% mayores, respectivamente, que en AF, mientras que las diferencias observadas en el peso corporal medio (7% mayor en EF) o el porcentaje graso (13% menor en EF) entre los dos equipos no fueron estadísticamente significativas. Como se ha visto anteriormente en jugadores masculinos de balonmano (Apartado 4.1), en atletas de disciplinas de lanzamiento (Housh y col., 1984), y en otros deportes como lanzamiento de peso, disco, jabalina, fútbol, y rugby (Norton y Olds, 2001), estos resultados sugieren que las jugadoras de más envergadura presentan ventajas para jugar al balonmano femenino. La talla media (175 cm) de las presentes jugadoras de elite fue similar a la observada en las jugadoras del equipo nacional femenino de balonmano de Noruega en los años 90 (Jensen y col., 1997), pero superior que la encontrada en las jugadoras de un equipo de elite femenino de balonmano de Polonia (170 cm) (Jastrzebski, 1989) en los años 80, o en grupos de diferentes niveles (primera, segunda o tercera división) de jugadoras de balonmano (169-171 cm) (Hoff y Almasbakk, 1995; Joris y col., 1985; Van Den Tillaar, 2004; Van Muijen y col., 1991). Este valor superior de la talla ha sido relacionado con numerosos factores, que incluyen la globalización, el reclutamiento de jugadoras internacionales, los mayores incentivos económicos y sociales y los avances que se han producido en la nutrición, las ayudas ergogénicas, los métodos de entrenamiento, o el desarrollo de nuevas técnicas médicas y fisioterápicas (Norton y Olds, 2001).

Uno de los mayores hallazgos de este estudio fue que la fuerza máxima absoluta y la potencia de los músculos de las extremidades superiores e inferiores durante las acciones de press-banca y media sentadilla fueron entre un 12 y un 25% superiores en EF que en AF. Estas diferencias observadas en la fuerza y en la potencia muscular entre las jugadoras de elite y de menor nivel

han sido también observadas en balonmano masculino (Apartado 4.1). Esto indica que para conseguir el éxito en balonmano femenino también se necesita poseer valores absolutos elevados de potencia muscular y de fuerza máxima. Cuando la producción de potencia muscular durante la acción de media sentadilla con cargas submáximas se expresó en relación al peso corporal, disminuyeron las diferencias observadas entre los equipos de balonmano femenino en la capacidad para mover rápidamente diferentes cargas relativas. Del igual modo, cuando la producción de potencia muscular durante la acción de media sentadilla con cargas submáximas se expresó en relación a la masa magra, desaparecieron las diferencias observadas entre los dos equipos de balonmano femenino, en la capacidad para mover rápidamente diferentes cargas relativas. Este resultado también ha sido observado en jugadores de balonmano masculino (Figura 3.4 del presente trabajo) y sugiere que: 1) los modelos de activación neural o la tensión muscular desarrollada por kilogramo de masa muscular durante la acción concéntrica de media sentadilla con cargas submáximas son similares entre EF y AF, y 2) que las diferencias en la masa magra podrían explicar por sí solas las diferencias observadas entre los grupos en los valores absolutos de fuerza máxima y de potencia muscular. No obstante, los niveles superiores de fuerza máxima y de potencia muscular absoluta y relativa al peso corporal que presenta EF con respecto a AF, suponen una clara ventaja a la hora de llevar a cabo ciertas acciones típicas del balonmano que requieren una mayor fuerza y potencia muscular absoluta como, por ejemplo, golpear, bloquear, empujar o sujetar.

En comparación con las jugadoras amateur (AF), las jugadoras de elite (EF) fueron significativamente más rápidas en 5 y 15 m durante la carrera realizada a máxima velocidad. Esto sugiere que la velocidad de carrera es una característica importante del balonmano femenino. La mayor velocidad de carrera observada en EF, con respecto a AF, sugiere que la potencia mecánica expresada en relación al peso corporal desarrollada por las jugadoras de balonmano de elite durante la carrera a máxima velocidad es mayor que la observada en las jugadoras de balonmano de menor nivel. Esto concuerda con los mayores valores de potencia muscular, expresada por kilogramo de peso corporal, desarrollados por el equipo de elite durante la acción de media sentadilla. Aunque no se observaron diferencias en la altura del salto vertical

entre EF y AF, la potencia mecánica media en valores absolutos producida durante el salto vertical en EF fue, sin embargo, mayor que en AF. Como se ha señalado anteriormente, los mayores valores absolutos de potencia mecánica producidos durante el salto vertical y la mayor velocidad de carrera permiten a EF tener una clara ventaja, con respecto a AF, durante algunas de las acciones del juego típicas de balonmano como son el contraataque, volver a defender después de perder el balón, el salto y las situaciones de uno contra uno.

La velocidad media de lanzamiento del balón durante el tiro de penalti y con tres pasos en apoyo en EF fue un 11% mayor que en AF. La mayor masa magra observada en EF comparada con AF, podría explicar una gran parte de las diferencias observadas entre ambos grupos en la velocidad de lanzamiento del balón (Van Den Tillaar y Ettema, 2004). Sin embargo, las diferencias en la fuerza máxima y potencia muscular, en los modelos de coordinación, en la técnica y en la distribución de los distintos tipos de fibras musculares, podrían también explicar, en parte, estas diferencias observadas en la velocidad de lanzamiento entre las jugadoras de elite y amateur femenino (Anderson y col., 1979; Van Den Tillaar y Ettema, 2004). Es difícil comparar los resultados de los pocos estudios que han medido la velocidad de lanzamiento del balón en jugadoras de balonmano porque difieren en numerosos factores, que incluyen los métodos de medida (células fotoeléctricas, radar, cinematografía), comienzo de la medida (desde el despegue de la mano, o desde 1 a 3 metros de distancia desde donde se lanza), peso del balón (entre 350 y 370 g), nivel de balonmano y tipo y dirección del lanzamiento. En cualquier caso, la velocidad media de lanzamiento de penalti (19.5 y 17.4 m·s⁻¹ en EF y AF, respectivamente) medido en el presente estudio está incluida en el rango referido en la literatura científica para jugadoras de balonmano que juegan en primera, segunda y tercera división de algunos países europeos (Hoff y Almasbakk, 1995; Joris y col., 1985; Van Den Tillaar y Ettema, 2004; Van Muijen y col., 1991). Sin embargo, la interpretación de estas comparaciones debería hacerse con cautela, debido a las claras diferencias observadas en los factores metodológicos entre los distintos estudios.

Se ha sugerido que en las mujeres, que suelen producir generalmente bajos niveles de fuerza, la mejora de la fuerza máxima debería ser importante

para poder desarrollar su fuerza explosiva (Häkkinen, 1993b). Los resultados presentados en la figura 3.11 refuerzan esta sugerencia, porque los valores individuales de $1RM_{PB}$ en EF y AF correlacionaron significativamente con los valores individuales de la velocidad de lanzamiento del balón durante el tiro de penalti. Esto indica que independientemente del nivel de juego de balonmano, aquellas jugadoras que presentan mayores valores de fuerza máxima durante la acción de press-banca son capaces de lanzar el balón a mayores velocidades desde la posición de penalti, comparado con las jugadoras que presentan valores de fuerza máxima menores. Esto concuerda con los resultados de Van den Tillaar y Ettema (2004), que encontraron que la fuerza isométrica máxima específica de los músculos extensores del brazo correlacionó positivamente con la velocidad de lanzamiento de penalti en jugadoras de balonmano de la segunda y tercera división noruega. Además, algunos estudios han encontrado en jugadoras de balonmano de elite y amateur femenino que un entrenamiento de fuerza de la extremidad superior que provoca un aumento de la fuerza isométrica (Van Muijen y col., 1991) y dinámica (Hoff y Almasbakk, 1995) máximas de los músculos extensores del codo se acompaña también de un aumento significativo de la velocidad de lanzamiento del balón durante los tiros de penalti (Hoff y Almasbakk, 1995; Van Muijen y col., 1991) y con 3-pasos en apoyo (Hoff y Almasbakk, 1995). En conjunto, estos resultados confirman que la fuerza máxima de los músculos extensores del codo es importante para poder lanzar el balón a alta velocidad en las jugadoras de balonmano de elite y amateur (Van Muijen y col., 1991). Esta asociación observada en las jugadoras de balonmano entre la velocidad de lanzamiento de penalti y la fuerza máxima durante la acción de press-banca difiere de los resultados obtenidos en balonmano masculino, porque la velocidad de lanzamiento del balón desde la posición de penalti se relacionó con la velocidad desarrollada con cargas del 30% de $1RM_{PB}$ durante la acción de press-banca, pero no se relacionó con la fuerza máxima ($1RM_{PB}$) (Figura 3.5). Esto sugiere que, al contrario de lo que ocurre en las mujeres, en los jugadores de balonmano el hecho de presentar valores muy elevados de fuerza máxima de los músculos extensores de los brazos, no asegura necesariamente que desarrollen una velocidad elevada de lanzamiento del balón.

Las asociaciones observadas entre las curvas de potencia y el lanzamiento del balón con 3-pasos en apoyo fueron también examinadas en el presente estudio. Los resultados del análisis de correlación mostraron correlaciones significativas en AF, pero no en EF, entre los valores individuales de velocidad de lanzamiento del balón con 3-pasos en apoyo y los valores individuales de $1RM_{PB}$, así como con los valores individuales de producción de potencia con cargas del 80% del peso corporal relativo a la masa magra, durante la acción de media sentadilla. Esto indica que en el equipo de balonmano amateur femenino, la velocidad de lanzamiento del balón con 3-pasos en apoyo depende de la fuerza máxima del miembro superior, pero también depende de la capacidad para desarrollar potencia del miembro inferior. La asociación observada entre la potencia muscular de la extremidad inferior y la velocidad de lanzamiento del balón con 3-pasos en apoyo también ha sido encontrada en los jugadores de balonmano de elite masculino y puede ser explicada por la mayor implicación de los músculos de las piernas durante el lanzamiento del balón de balonmano (Joris y col., 1985). Sin embargo, en EF no se observaron correlaciones entre la producción de potencia muscular del miembro inferior y el lanzamiento con 3-pasos en apoyo. Esta ausencia de asociación en EF no está clara, porque en este grupo se debería esperar a priori una mayor eficiencia, comparado con AF, en la transferencia de energía desde las piernas y el tronco hasta los segmentos más distales (hombro, codo, muñeca y dedo) (Apartado 4.1).

Basado en estudios que han medido la frecuencia cardiaca y los niveles de concentración sanguínea de lactato durante partidos de balonmano masculino de 30 a 60 minutos de duración, se ha estimado que el juego del balonmano exige que los jugadores y jugadoras de balonmano presenten una resistencia aeróbica elevada (Delamarche y col., 1987; Loftin y col., 1996; Mikkelsen y Olesen, 1976). Sin embargo, al igual que lo observado en los jugadores de balonmano de elite masculino (Apartado 4.1) (Alexander y Boreskie, 1989; Delamarche y col., 1987; Hermansen, 1973; Mikkelsen y Olesen, 1976), las jugadoras de balonmano no presentan valores elevados de capacidad aeróbica porque: 1) sus valores medios de consumo máximo de oxígeno, son de un 20% a un 30% superiores a los de las mujeres jóvenes sedentarias, pero substancialmente inferiores a los de las atletas de larga distancia (Bergh y col.,

1991; Fay y col., 1989; Pate y col., 1987), y 2) el entrenamiento de balonmano por sí solo no suele aumentar los valores de consumo máximo de oxígeno durante la temporada en jugadores de balonmano de elite masculino (Mikkelsen y Olesen, 1976) y femenino (Jensen y col., 1997). Además, los valores medios de consumo máximo de oxígeno de las jugadoras de balonmano de elite ($54 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) son alrededor de un 10% superior a los de las jugadoras de balonmano amateur (Hoff y Almasbakk, 1995). Los presentes resultados confirman estos estudios porque los valores de velocidad media de carrera asociados a una concentración de lactato sanguíneo de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ encontrados en EF fueron modestos ($11.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), pero un 13% superior a los observados en AF. Tomados en su conjunto, estos resultados sugieren que las jugadoras de balonmano no necesitan poseer valores elevados de capacidad aeróbica para destacar en balonmano femenino. Sin embargo, las diferencias observadas en los valores de consumo máximo de oxígeno y velocidad de carrera asociada a una concentración de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ entre las jugadoras de elite y amateur, sugieren que la capacidad aeróbica puede distinguir a las jugadoras de balonmano de diferentes niveles y que se requiere probablemente un nivel mínimo de resistencia aeróbica para destacar en balonmano femenino de elite.

Los resultados del presente estudio y los del primer estudio de este trabajo (Apartados 3.1 y 3.2), permiten comparar resultados de los jugadores y las jugadoras de balonmano de elite. Como era de esperar, las mujeres presentaron valores inferiores de talla (7%), peso corporal (27%), masa magra (33%), resistencia aeróbica (6%), carrera a máxima velocidad (7%), velocidad de lanzamiento del balón (19-20%), potencia desarrollada durante la medición del salto vertical (26%), fuerza máxima (55%) e índice de potencia medio (55%) durante la acción de press-banca, e índice de potencia medio (40%) durante la acción de media sentadilla. Cuando la potencia muscular desarrollada durante la acción de media sentadilla con cargas submáximas se expresó en relación a la masa magra, las diferencias observadas entre los grupos de balonmano masculino y femenino en la habilidad para mover rápidamente cargas relativas se redujo hasta un 14-16%. Esto refuerza la idea de que las diferencias de género en potencia muscular en el balonmano de elite, se deben principalmente a las diferencias existentes en la masa muscular (Van Den Tillaar y Ettema, 2004).

Un resultado interesante fue que la relación (en porcentaje) entre el índice de potencia media desarrollada durante la acción de press-banca y el índice de potencia media desarrollada durante la acción de media sentadilla fue significativamente menor ($p < 0.05$) en las mujeres de elite que en los hombres de elite ($43 \pm 9\%$ y $59 \pm 9\%$ en las mujeres de elite y en los hombres de elite, respectivamente). Esto indica que en los jugadores de balonmano de elite, los valores de potencia muscular de las extremidades inferiores de las mujeres están significativamente más cercanos a la de los hombres que los valores de potencia muscular de las extremidades superiores. En sujetos sedentarios o de deporte-recreación (Miller y col., 1993) se han encontrado diferencias similares de género en la fuerza máxima (Laubach, 1976; Miller y col., 1993) y en la potencia muscular (Wingate test) (Weber y col., 2006) entre las extremidades superiores y las extremidades inferiores. Se ha sugerido que estas diferencias se deben, en parte, a diferencias de género en el uso de los miembros superiores e inferiores al realizar las actividades diarias (las mujeres utilizarían menos los brazos que los hombres en las actividades diarias). Como en este estudio se han observado también estas diferencias de género entre jugadores y jugadoras de balonmano de elite altamente entrenados en fuerza, esto sugiere que dichas diferencias no son debidas a un uso diferente en la vida diaria (Castro y col., 1995). Diferencias en factores hormonales, enzimáticos, neurológicos, longitud de las extremidades, diferentes patrones de coordinación, la masa muscular y en el hecho de que las mujeres tienden a tener menor proporción de masa magra distribuida en la extremidad superior, podrían explicar estas diferencias de género observadas en la fuerza y la potencia de la extremidad superior comparada con la extremidad inferior (Abe y col., 1998; Castro y col., 1995; Miller y col., 1993; Weber y col., 2006).

4.3. EFECTOS DE UNA TEMPORADA DE BALONMANO EN JUGADORES DE ELITE MACULINO

En lo que conocemos este es el primer estudio que documenta los cambios en la condición física producidos a lo largo de una temporada y las relaciones existentes entre la duración de diferentes tipos de entrenamiento y competición y los cambios en la condición física, en uno de los mejores equipos

de balonmano de la elite mundial. Los principales resultados de este estudio muestran que la temporada en un equipo de balonmano de elite masculina se acompañó de un aumento significativo de la masa magra, de la fuerza máxima concéntrica del miembro superior y de la velocidad de lanzamiento del balón. Sin embargo, a lo largo de la temporada no se produjeron cambios en la carrera a máxima velocidad, ni en la carrera de resistencia, ni en la potencia muscular de las extremidades superiores e inferiores en todas las cargas examinadas. Además, los resultados del presente estudio demostraron la existencia de correlaciones lineales directas entre el tiempo dedicado al entrenamiento de fuerza y los cambios observados en la velocidad de lanzamiento del balón, entre el tiempo dedicado al entrenamiento de resistencia de alta intensidad y los cambios producidos en la resistencia aeróbica, así como entre los cambios observados en el porcentaje de grasa corporal y los cambios observados en la producción de potencia muscular de las extremidades superiores. Por último, se observaron correlaciones lineales inversas entre el tiempo dedicado al entrenamiento de la resistencia de baja intensidad y los cambios observados en la producción de potencia muscular con las extremidades inferiores.

Los jugadores de balonmano de elite masculina mostraron aumentos significativos de T1 a T3 en la masa magra, la fuerza máxima del miembro superior y la velocidad de lanzamiento del balón, pero no se encontraron cambios en la carrera a máxima velocidad, la resistencia aeróbica y la potencia muscular de ambas extremidades. Estos pequeños cambios producidos en la condición física de los jugadores durante la temporada concuerdan con los resultados obtenidos en jugadores de elite masculino de balonmano (Mikkelsen y Olesen, 1976), fútbol (Ahtiainen y col., 2003), bandy (Häkkinen y Sinnemäki, 1991) y baloncesto (Häkkinen, 1988). No se sabe la razón por la cual se producen solamente pequeños cambios en la condición física de los jugadores de elite, a pesar de que se entrenan intensa y frecuentemente durante la temporada. Sin embargo, esto podría ser debido a que se entrenan a baja intensidad o con baja motivación, a una incorrecta distribución de los distintos tipos de entrenamiento y competición, y al hecho de que su condición física podría estar cerca de sus límites genéticos de adaptación al entrenamiento. La ligera modificación de la condición física observada en los jugadores de balonmano durante la temporada vuelve a plantear la cuestión de cuál es el

estímulo apropiado para mejorar la condición y el rendimiento físico de los jugadores de elite en los deportes de equipo.

La temporada de balonmano se acompañó de un ligero aumento (1-4%), aunque significativo, de la fuerza máxima concéntrica del miembro superior ($1RM_{PB}$), y de la velocidad de lanzamiento del balón en el tiro de penalti y con 3-pasos en apoyo. Estos resultados indican que la combinación del programa de entrenamiento de fuerza y el entrenamiento de balonmano, junto con la competición, contribuyeron a mejorar significativamente la fuerza máxima y explosiva del miembro superior durante la temporada. El aumento de la fuerza máxima de la extremidad superior debería ser positivo para los jugadores porque les permite producir más fuerza en acciones típicas del juego del balonmano como, por ejemplo, en los bloqueos o empujes. El aumento de la velocidad de lanzamiento del balón tiene una gran importancia en el balonmano, porque se ha visto que los jugadores de elite lanzan el balón un 8-9% más rápido que los jugadores de menor nivel (Apartado 4.1) y porque la velocidad de lanzamiento del balón, combinada con la precisión en el tiro, es uno de los factores más importantes de éxito en el balonmano (Van Muijen y col., 1991). La correlación significativa observada entre los valores individuales del tiempo dedicado al entrenamiento de fuerza y los cambios individuales observados en la velocidad de lanzamiento del balón en el tiro de penalti, refuerza la necesidad de programar entrenamientos de fuerza cuidadosos e individualizados en los jugadores de balonmano de elite.

Teniendo en cuenta la duración e intensidad del entrenamiento realizado, se debería esperar encontrar mejoras en la carrera a máxima velocidad y en la fuerza de los músculos extensores de las extremidades inferiores durante la temporada. Sin embargo, la potencia muscular desarrollada durante las acciones de media sentadilla, salto vertical y carrera a máxima velocidad permanecieron constantes durante la temporada. Esto debe ser considerado como negativo para el rendimiento global de todo el equipo, porque la potencia muscular de los extensores de rodilla, la potencia absoluta desarrollada durante el salto vertical y la carrera a máxima velocidad, son características neuromusculares importantes relacionadas con el balonmano (Apartado 4.1).

Las diferencias observadas durante la temporada entre las ganancias de fuerza de los músculos de las extremidades superiores y los de las extremidades inferiores en estos jugadores de elite también han sido encontrados en otros estudios realizados con sujetos no entrenados (Fleck y col., 1992), ancianos (Häkkinen, 1994), prepúberes (Ramsay y col., 1990), y en jugadores adolescentes de balonmano (Gorostiaga y col., 1999). Estas diferencias han sido también explicadas por posibles diferencias en el nivel de condición física inicial entre los músculos del miembro inferior y los músculos del miembro superior (Ramsay y col., 1990), debidas, probablemente, a que se utilizan de manera desigual en la vida diaria (Enoka, 1988; Gorostiaga y col., 1999; Häkkinen, 1994). En esta hipótesis, el músculo cuádriceps, que se solicita más frecuentemente durante las actividades de la vida diaria, tendría un nivel inicial de acondicionamiento físico mayor que los músculos de la extremidad superior, que se usan menos en la vida cotidiana (Ramsay y col., 1990). Al tener mayor condición física inicial, el músculo cuádriceps tendría una menor capacidad para mejorar la fuerza que los músculos de las extremidades superiores. Sin embargo, esta explicación no parece ser muy convincente en este grupo de jugadores de elite, porque están probablemente muy cerca de sus límites genéticos, debido a su largo historial de entrenamiento intenso de fuerza y de balonmano. Otra razón que puede explicar la diferente ganancia de fuerza observada en la extremidad superior e inferior, puede estar relacionada con los diferentes regímenes de entrenamiento de pesas utilizados en los miembros superiores e inferiores por estos jugadores. Así, la intensidad relativa utilizada durante el entrenamiento de pesas en las extremidades inferiores (rango 50-80% $1RM_{MS}$) fue menor que la utilizada en las extremidades superiores (rango 85-100% de $1RM_{PB}$). En esta hipótesis, es probable que las cargas utilizadas en el presente programa de entrenamiento de fuerza no fueran tan suficientes para mejorar la fuerza y la potencia de los músculos extensores de rodilla, como lo fueron las cargas utilizadas en los ejercicios con los miembros superiores. Por lo tanto, es probable que se deba llevar a cabo un programa de entrenamiento de fuerza más intenso que el realizado por este grupo de jugadores si se quieren obtener las mejoras en la fuerza y la potencia muscular de los extensores de rodilla en jugadores de balonmano masculino de elite.

Por último, una explicación alternativa puede estar relacionada con una posible interferencia del entrenamiento de resistencia aeróbica sobre el desarrollo de la fuerza y de la potencia de los músculos de las extremidades inferiores. Algunos estudios han encontrado que el entrenamiento simultáneo de fuerza y de resistencia aeróbica puede reducir la capacidad para desarrollar fuerza, especialmente durante periodos de entrenamiento prolongados (Dudley y Djamil, 1985; Gorostiaga y col., 1999; Häkkinen, 1988; Hickson, 1980). Estos resultados concuerdan con el presente estudio, en el que se encontraron correlaciones inversamente significativas, de T1 a T2 y de T3_R a T4, entre los valores individuales del tiempo dedicado al entrenamiento de resistencia y de ejercicios con balón a baja intensidad y los cambios individuales observados en la producción de potencia y de velocidad con una carga del 125% del peso corporal, durante la acción de media sentadilla. Esto sugiere que el desarrollo de la fuerza y de la potencia muscular del miembro inferior, y de la carrera a máxima velocidad, pudieron ser inhibidos en parte por el tipo de entrenamiento aeróbico de baja intensidad utilizado de modo predominante durante toda la temporada. Esta observación concuerda con otros estudios desarrollados en jugadores de baloncesto de elite (Häkkinen, 1988), y sugiere que el tiempo total del entrenamiento de carrera y de ejercicios aeróbicos a baja intensidad durante la temporada podrían haber tenido algún efecto negativo sobre el desarrollo de la ganancia de potencia muscular en las piernas. Por lo tanto, se sugiere que la magnitud y la frecuencia de estos tipos de entrenamiento aeróbico de baja intensidad (con y sin balón) deberían ser reducidas en el programa total de entrenamiento.

Aunque no se observaron cambios en el rendimiento de los músculos extensores de la rodilla durante la temporada, sin embargo se observaron correlaciones significativas, entre T2 y T3_F, entre los cambios relativos individuales observados en la producción de potencia muscular con una carga del 125% del peso corporal durante la acción de media sentadilla, y los cambios relativos individuales observados en la velocidad máxima de carrera en 15 m. Esto indica que los jugadores de balonmano que presentaron mayores aumentos en la producción concéntrica de potencia muscular del miembro inferior fueron los que más mejoraron la carrera a máxima velocidad, en comparación con los que presentaron menores aumentos en la producción de potencia muscular.

Esta asociación sugiere que existe una posible transferencia de la ganancia de potencia muscular de las piernas sobre la mejora de la velocidad máxima de carrera, y subraya la importancia que tiene aumentar la fuerza y la potencia muscular de las extremidades inferiores para mejorar el rendimiento en la velocidad de carrera en distancias cortas (Delecluse y col., 1995; Gorostiaga y col., 2004).

Basado en estudios que midieron la frecuencia cardíaca y los niveles de lactato en sangre durante los partidos de balonmano de 30 a 60 minutos de duración, se ha estimado que para jugar al balonmano de alto nivel se requiere poseer una alta capacidad aeróbica (Delamarche y col., 1987; Loftin y col., 1996; Mikkelsen y Olesen, 1976). Como se dedicó una gran cantidad de tiempo al entrenamiento de resistencia y, especialmente, a la carrera de resistencia de baja intensidad (R1, Figura 3.12), se esperaba encontrar un aumento de la resistencia aeróbica a lo largo de la temporada. Sin embargo, no se observaron modificaciones a lo largo de la temporada en la velocidad de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, un buen predictor de la capacidad aeróbica (Weltman, 1995), durante toda la temporada de balonmano. Estos resultados sugieren que aunque se dedique mucho tiempo de entrenamiento de balonmano a la carrera de resistencia de baja intensidad (R1), no se aumenta la capacidad aeróbica de los jugadores de balonmano. Además, se observaron correlaciones significativas entre T2 y T3, y entre T3 y T4 entre el tiempo individual dedicado al entrenamiento de resistencia de alta intensidad (R2, R3) y los cambios individuales de la velocidad media de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Estas correlaciones concuerdan con estudios previos que muestran que el entrenamiento de balonmano, por sí solo, es incapaz de mejorar la capacidad aeróbica (Mikkelsen y Olesen, 1976), y que es necesario un entrenamiento adicional de resistencia aeróbica de alta intensidad para aumentar la capacidad aeróbica en balonmano de elite (Jensen y col., 1997) y en otros deportes de equipo como, por ejemplo, el fútbol de elite (Helgerud y col., 2001). Estas observaciones sugieren que se debería prestar más atención al entrenamiento de resistencia de alta intensidad durante la temporada. A su vez, también se puede sugerir que se debería dedicar menos tiempo al entrenamiento de resistencia de baja intensidad, porque no aumenta la capacidad aeróbica y,

como se ha mencionado anteriormente, puede interferir con el desarrollo de la potencia muscular de los músculos extensores de la pierna.

Durante la temporada pero, especialmente, durante el primer periodo preparatorio (desde T1 a T2), los entrenadores presionaron a todos los jugadores para que alcanzasen un peso corporal “adecuado”, basándose en el peso de competición individual alcanzado en temporadas anteriores y mediante un control semanal del peso corporal y la amenaza de una multa económica. Como consecuencia de ello, la mayoría de los jugadores (n=11) redujeron su masa grasa de T1 a T2. Un resultado inesperado de este estudio fue que, de T1 a T2, los cambios relativos individuales observados en el porcentaje de grasa correlacionaron con los cambios relativos individuales de la producción de potencia muscular producida con una carga del 30% de $1RM_{PB}$, durante la acción de press-banca. Esto indica que los jugadores de balonmano que perdieron un mayor porcentaje de grasa de T1 a T2, sufrieron también los mayores decrementos en la potencia muscular de la extremidad superior durante las acciones desarrolladas a alta velocidad, comparado con aquellos jugadores que no descendieron su porcentaje de grasa o que, incluso, lo aumentaron. Una disminución en la producción de la potencia muscular de los miembros superiores durante los movimientos explosivos debe ser considerado como algo negativo para la velocidad de lanzamiento del balón, porque se ha visto que los jugadores que lanzan el balón más rápidamente son aquellos que son capaces de activar mejor y/o más rápidamente los músculos de la extremidad superior durante las contracciones musculares realizadas con poca carga a alta velocidad (Apartado 4.1) (Mikkelsen y Olesen, 1976). Sin embargo, aunque no se conocen los mecanismos por los que se pierde potencia muscular con la reducción de la masa grasa, podrían ser debidos a:

- 1) Un balance proteico negativo y una reducción de la masa muscular. Es posible que una dieta hipoglucídica e hipocalórica, combinada con un entrenamiento de gran volumen e intensidad durante el periodo pre-competitivo, pudiera contribuir a generar un balance energético negativo en algunos jugadores. Tal condición podría haber contribuido a aumentar el catabolismo proteico y, consecuentemente, a una pérdida de la masa y la potencia muscular. Sin embargo, el aumento del catabolismo proteico parece improbable porque

durante el periodo pre-competitivo el peso corporal y el porcentaje de grasa no variaron, y se observaron aumentos significativos en la masa magra. Esto sugiere indirectamente que la masa muscular aumentó de T1 a T2. Por lo tanto, no parece probable que se produjese una disminución de la potencia muscular asociada a un aumento del catabolismo proteico.

2) Una explicación alternativa puede estar relacionada con los métodos usados por algunos jugadores para reducir su peso corporal. Para alcanzar un peso corporal adecuado durante un periodo corto de tiempo sin ser multado, al menos 3 jugadores utilizaron técnicas de reducción rápida de peso (deshidratación entre 12 y 96 horas), varias veces durante el periodo pre-competitivo, que consistieron en reducir la ingesta de comida y de fluidos, y realizar ejercicio físico con chubasqueros (Fogelholm, 1994). Se han descrito reducciones de un 2-5% del peso corporal en un día utilizando estos métodos (Torrain y col., 1979). Los efectos provocados por una reducción rápida de peso sobre la fuerza muscular son complejos y no muy claros (Fogelholm, 1994; Torrain y col., 1979). Sin embargo, algunos estudios han descrito una disminución de la capacidad del sistema neuromuscular para producir fuerza después de una rápida pérdida de peso corporal (Houston y col., 1981; Torrain y col., 1979; Viitasalo y col., 1998), e incluso después de un periodo de rehidratación posterior corto (de 1 a 3 horas) (Torrain y col., 1979). Los factores responsables de esta disminución de la capacidad para producir fuerza después de una reducción de peso corporal son desconocidos, pero podrían estar relacionados con una gran pérdida de electrolitos por el sudor o por alteraciones del humor (reducción de la agresividad) (Morgan, 1970). En estas hipótesis, se debería recomendar a los jugadores que realizasen programas individuales de reducción de la masa grasa, bajo la supervisión de un experto en alimentación, para evitar la pérdida de la función muscular.

4.4. EFECTOS DE UNA TEMPORADA DE BALONMANO EN JUGADORAS DE ELITE FEMENINO

En lo que conocemos, el presente estudio es el primero en documentar los cambios de condición física en una temporada y en examinar las relaciones existentes entre el tiempo dedicado a distintas actividades de entrenamiento y competición y los cambios en la condición física, en un equipo de balonmano de elite femenino. Los principales resultados de este estudio mostraron que una temporada de balonmano se acompañó de aumentos significativos en las características antropométricas, en la altura del salto vertical, en la velocidad de lanzamiento del balón, en la fuerza máxima concéntrica de la extremidad superior y en la producción de potencia de las extremidades superiores e inferiores. Sin embargo, no se observaron cambios ni en la carrera a máxima velocidad ni en la resistencia aeróbica durante toda la temporada. Estos resultados demostraron además, que el tiempo individual total dedicado a la competición correlacionó significativamente con los cambios en la masa magra y en la velocidad desarrollada con cargas submáximas durante la acción de press-banca, mientras que los cambios observados en la velocidad producida con las extremidades superiores e inferiores correlacionó significativamente con los cambios individuales observados en la velocidad de lanzamiento del balón. Además, los cambios longitudinales producidos en el porcentaje de grasa o de peso corporal correlacionaron positivamente con los cambios en la fuerza máxima y la potencia muscular, pero correlacionaron negativamente con los cambios observados en la resistencia aeróbica.

Durante la temporada, las jugadoras de balonmano de elite tuvieron aumentos significativos (8-21%) en la fuerza máxima del miembro superior, en la altura del salto vertical y en la velocidad de lanzamiento del balón en el tiro de penalti. La magnitud de estos cambios en la condición física durante la temporada concuerdan con los resultados obtenidos en jugadoras de balonmano de elite (Jensen y col., 1997) de nivel amateur (Hoff y Almasbakk, 1995), y en jugadoras de baloncesto (Häkkinen, 1993a). Sin embargo, estos cambios son mayores que los observados en jugadores de elite de balonmano (1-4%) en $1RM_{PB}$ (Apartado 4.3). Los mayores cambios relativos en la condición física y en la velocidad de lanzamiento del balón observados en las jugadoras de

balonmano de elite comparado con los jugadores de balonmano de elite, puede estar relacionado con la existencia de diferencias entre géneros en el nivel inicial de condición física, la intensidad y/o motivación, las posibles interferencias derivadas de la combinación de las distintas variables de entrenamiento y las diferencias existentes en los límites superiores fisiológicos de adaptación de estos jugadores de balonmano de alto nivel. Además, las diferencias existentes en los programas de entrenamiento llevados a cabo por los dos grupos podrían explicar en parte las diferencias observadas en la mejora de la condición física. Así, el equipo de balonmano masculino realizó un programa de entrenamiento más clásico (empezando la temporada con un volumen alto y una intensidad baja y terminando con un volumen bajo y una intensidad alta) (Apartado 3.3.1), mientras que el equipo femenino realizó un programa de entrenamiento progresivo (empezando la temporada con un volumen e intensidad bajos y terminando con un volumen e intensidad altos (Apartado 3.4.1). Esta diferencia en la magnitud de los cambios observados en la condición física de las jugadoras y de los jugadores de balonmano de alto nivel durante toda la temporada, plantean la cuestión sobre cuál es el programa de entrenamiento más adecuado para obtener mejoras en la condición física en deportes de equipo de elite.

La temporada de balonmano se acompañó de una mejora de la fuerza máxima concéntrica y de la potencia muscular absoluta de las extremidades superiores e inferiores. El aumento de la fuerza máxima después de realizar un entrenamiento de fuerza dinámica de alta intensidad ha sido también encontrado en otros estudios en jugadoras de balonmano de elite (Jensen y col., 1997). Estos resultados confirman que es posible aumentar la fuerza máxima y la potencia en las jugadoras de balonmano de elite durante la temporada, combinando el entrenamiento de pesas con el de balonmano (Jensen y col., 1997). Estos aumentos deben ser considerados como positivos para el juego de balonmano, porque el aumento de la fuerza máxima y de la potencia muscular del miembro superior y del miembro inferior suponen una ventaja global de todo el equipo para poder llevar a cabo las potentes contracciones musculares requeridas durante muchas de las acciones típicas del balonmano como son golpear, empujar, bloquear, sostener y saltar.

La temporada de balonmano se acompañó de un aumento del 8-9% de la velocidad de lanzamiento del balón. Cambios de tal magnitud han sido también observados en jugadores de balonmano de elite en este trabajo (Apartado 4.3). Los aumentos de la velocidad de lanzamiento del balón observados durante la temporada son importantes para conseguir el éxito en balonmano, porque los jugadores y las jugadoras de elite tienen mayor velocidad de lanzamiento (8-9% y 10-11%, respectivamente), que los jugadores y las jugadoras de menor nivel (Apartado 4.1 y 4.2), y porque la combinación de la velocidad de balón y la precisión de tiro es uno de los factores más importantes para conseguir el éxito en balonmano (Apartado 4.1 y 4.2) (Van Muijen y col., 1991). A pesar de que no se conocen los mecanismos neurofisiológicos que explican el aumento de la velocidad de lanzamiento, se ha sugerido que pueden estar relacionados con la mejora en la actividad neural (Häkkinen y col., 1985), el aumento selectivo del área de las fibras musculares rápidas (Häkkinen y col., 1985), el aumento de las propiedades intrínsecas de los músculos (Duchateau y Hainaut, 1984), el aumento de la actividad del enzima adenosina-miosin trifosfatasa (Belcastro y col., 1981), la sincronización de las unidades motoras (Milner-Brown y col., 1975) y un aumento de la frecuencia descarga (Grimby y col., 1981).

En el presente estudio, los valores individuales de potencia muscular con cargas submáximas durante las acciones de press-banca y media sentadilla en T3 y T4, correlacionaron significativamente con los valores individuales de la velocidad de lanzamiento de balón. Además, se encontraron asociaciones significativas entre los cambios individuales en la velocidad producida con una carga del 100% del peso corporal durante la acción de la media sentadilla (de T2 a T3) o los cambios individuales relativos observados en la velocidad producida con una carga del 70% de $1RM_{PB}$ (de T3 a T4), y los cambios individuales observados en la velocidad de lanzamiento del balón. Esto indica que: 1) presentar valores elevados de potencia muscular con cargas submáximas relativas durante las acciones de press-banca o media sentadilla están asociados con el desarrollo de valores altos de velocidad de lanzamiento del balón, y 2) aquellas jugadoras de elite que más aumentan su velocidad muscular con cargas submáximas relativas durante las acciones de press-banca o media sentadilla a lo largo de la temporada, son las que presentan mayores aumentos en la velocidad de lanzamiento del balón. Tomados en su conjunto, estas

asociaciones sugieren que la velocidad y potencia muscular de los músculos extensores del codo y de la rodilla durante las acciones con cargas submáximas, son factores muy importantes para conseguir velocidades altas de lanzamiento del balón (Van Muijen y col., 1991). Estas correlaciones sugieren que, además de entrenarse con ejercicios de lanzamiento con sobrecargas específicas usando balones de diferentes pesos (Van Den Tillaar, 2004; Van Muijen y col., 1991), para mejorar la velocidad de lanzamiento del balón parece conveniente realizar los tradicionales programas individuales de entrenamiento de la fuerza orientados a la mejora de la velocidad y la potencia muscular con cargas submáximas, utilizando los ejercicios de press-banca y media sentadilla, (Hoff y Almasbakk, 1995).

De T1 a T2 se observaron correlaciones significativas entre los valores individuales del tiempo dedicado a los partidos de entrenamiento y competición, y los cambios individuales observados en la masa magra, así como con los cambios individuales observados en la producción de velocidad con una carga del 30% de $1RM_{PB}$. Esto indica que las jugadoras de balonmano que juegan más minutos de partido fueron las que presentan mayores ganancias en la masa magra y en la capacidad para extender rápidamente las extremidades superiores, comparado con las que jugaron menos minutos de partido. Los aumentos observados en la masa magra de las jugadoras pueden ser considerados como una adaptación positiva, porque las jugadoras de balonmano de elite tienen un 10% más de masa magra que las jugadoras de menor nivel (Apartado 4.2), y porque se ha visto que las jugadoras de balonmano de elite que presentan mayores valores de masa magra producen más fuerza y velocidad en el lanzamiento del balón (Van Den Tillaar y Ettema, 2004). Además, las jugadoras que presentan valores elevados de masa magra pueden desarrollar más potencia en las acciones típicas del juego de balonmano (Apartado 4.2). Como se ha mencionado anteriormente, el aumento en la velocidad desarrollada con cargas submáximas durante la acción de press-banca puede ser también considerado como una adaptación positiva en el balonmano, porque se suele acompañar de mejoras en la velocidad de lanzamiento del balón. Estas relaciones sugieren que en jugadoras de balonmano de elite, jugar partidos de entrenamiento y de competición puede

suponer un estímulo positivo para obtener una mayor corpulencia y una mejora en la velocidad de contracción de las extremidades superiores.

El rendimiento de la carrera a máxima velocidad no varió a lo largo de toda la temporada. Esto debe ser considerado como un resultado no positivo para el equipo, porque la carrera a máxima velocidad es una característica neuromuscular importante para conseguir el éxito en balonmano femenino (Apartado 4.2). Otros estudios han encontrado en jugadoras de balonmano de elite aumentos en la velocidad carrera a máxima velocidad durante la temporada después de una reducción del volumen de entrenamiento (Jensen y col., 1997). En el presente estudio, el aumento progresivo del volumen de entrenamiento que se produjo durante la temporada en el presente estudio podría explicar la ausencia de mejora en la velocidad de carrera a máxima velocidad. Además, se observaron correlaciones significativas, de T3 a T4, entre los cambios individuales relativos en la velocidad desarrollada con una carga del 60% del peso corporal durante la acción de media sentadilla y los cambios individuales observados en la velocidad media de carrera a máxima velocidad en 5 m. Otros estudios han encontrado correlaciones entre la velocidad de carrera a máxima velocidad y la fuerza o potencia muscular de los músculos extensores de rodilla en jugadores de balonmano masculino (Apartado 4.3) y femenino (Jensen y col., 1997), sugiriendo una posible transferencia de la ganancia de potencia muscular del miembro inferior sobre la mejora de la velocidad de carrera a máxima velocidad. Estos resultados refuerzan la importancia de aumentar la fuerza y la potencia muscular del miembro inferior, así como de disminuir el volumen de entrenamiento para mejorar la velocidad de carrera a máxima velocidad, en distancias cortas (Delecluse y col., 1995; Gorostiaga y col., 2004).

Teniendo en cuenta que se dedicó entre un 15% y un 20% del tiempo total de entrenamiento y competición a la carrera de resistencia, especialmente a la carrera de baja intensidad (R1, Figura 3.17), se esperaba encontrar un aumento de la resistencia aeróbica a lo largo de la temporada. Sin embargo, no se observaron cambios durante toda la temporada en la velocidad de carrera correspondiente a una concentración sanguínea de lactato de $3 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$ (V_3), un buen predictor de la capacidad aeróbica (Weltman, 1995). Esta ausencia de mejora de la resistencia aeróbica a lo largo de la temporada también ha sido

observada en jugadores de balonmano de elite masculino (Apartado 4.3). Algunos estudios han mostrado que es necesario realizar un entrenamiento de resistencia sin balón, de alta intensidad, adicional, para mejorar la capacidad aeróbica en jugadores de balonmano de elite masculino (Apartado 4.3) (Jensen y col., 1997) y femenino (Jensen y col., 1997), y en otros jugadores de deportes de equipo como, por ejemplo, fútbol de elite (Helgerud y col., 2001). Además, se ha visto en jugadores de balonmano de elite masculino que el tiempo dedicado al entrenamiento de baja intensidad interfiere con el desarrollo de la potencia muscular de los músculos extensores del miembro inferior (Figura 3.14). Estas observaciones sugieren que se debería prestar mayor atención a la magnitud o a la frecuencia de entrenamiento de la carrera de resistencia de alta intensidad y se debería reducir el tiempo dedicado al entrenamiento de carrera de baja intensidad durante la temporada de balonmano de elite.

Durante la temporada pero, especialmente, durante el primer periodo preparatorio (de T1 a T2), los entrenadores presionaron a las jugadoras para que alcanzasen un peso corporal y un porcentaje graso “adecuados”, según sus pesos y porcentajes de grasa corporales individuales alcanzados en los periodos competitivos de las temporadas previas. Consecuentemente, de T1 a T2, la mayoría de las jugadoras redujeron su masa grasa (n=13) y su peso corporal (n=7). Las correlaciones negativas observadas de T1 a T2 entre los cambios individuales en el peso corporal y los cambios individuales en la velocidad de carrera asociada a una concentración de lactato sanguíneo de $3 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (V_3), pueden ser consideradas como positivas para el juego del balonmano, considerando que el nivel de rendimiento en balonmano está determinado, en parte, por una buena capacidad aeróbica (Loftin y col., 1996; Mikkelsen y Olesen, 1976). Sin embargo, un hallazgo en este estudio fue que de T1 a T2, y de T2 a T3, los cambios relativos individuales observados en el peso corporal o en el porcentaje graso correlacionaron significativamente con los cambios individuales observados en la fuerza máxima concéntrica de la extremidad superior durante la acción de press-banca y con los cambios individuales observados en la producción de potencia con una carga del 60% del peso corporal, durante la acción de media sentadilla. Esto indica que aquellas jugadoras que más disminuyeron su porcentaje graso o su peso corporal fueron las que mostraron mayores disminuciones en la fuerza máxima o potencia

muscular del miembro superior o inferior. La disminución de la potencia muscular asociada con una disminución del porcentaje graso ha sido también observada en equipos de balonmano de elite masculino y pueden ser consideradas como una desventaja para el juego del balonmano (Apartado 4.3). Aunque se desconocen los mecanismos de la pérdida de fuerza máxima y potencia muscular asociados a una reducción del porcentaje de grasa corporal, podrían ser debidos a (Apartado 4.3): 1) un balance proteico negativo, 2) una utilización de técnicas rápidas de pérdida peso (Housh y col., 1984; Torranin y col., 1979; Viitasalo y col., 1998), y 3) los efectos negativos que puede tener someterse a una dieta baja en grasa sobre la producción de hormonas anabólicas endógenas, como la testosterona (Volek y col., 1997c) y la IGF-1 (Slater y col., 2005), que provocarían una disminución de la capacidad neural para generar fuerza y potencia muscular (Kraemer, 2000).

RESUMEN Y CONCLUSIONES



5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

5.1. DIFERENCIAS ENTRE JUGADORES DE BALONMANO DE ELITE Y AMATEUR MASCULINO

Los jugadores de balonmano de elite (EM) presentaron valores similares de talla, porcentaje de grasa corporal, altura del salto vertical, tiempo de carrera a máxima velocidad, y resistencia aeróbica que los jugadores de balonmano amateur (AM), pero presentaron valores superiores de peso corporal, masa magra, $1RM_{PB}$, potencia muscular absoluta con todas las cargas examinadas durante las acciones de press-banca y media sentadilla, así como de las velocidades de lanzamiento de balón desde la posición de penalti y con 3-pasos en apoyo.

Las diferencias en la masa magra podrían explicar por sí solas las diferencias observadas en los valores absolutos de fuerza máxima y de potencia muscular entre los dos grupos. Sin embargo, los superiores valores absolutos de fuerza máxima y de potencia muscular de EM, en comparación con AM, le suponen una clara ventaja para desarrollar las potentes contracciones requeridas en algunas de las acciones típicas del balonmano.

Se sugiere que la mayor velocidad de lanzamiento del balón desarrollada por los jugadores de elite está más asociada a los valores de las extremidades superiores e inferiores que en el caso de los jugadores amateur.

5.2. DIFERENCIAS ENTRE JUGADORAS DE BALONMANO DE ELITE Y AMATEUR FEMENINO

Las jugadoras de balonmano de elite (EF) presentan similares valores de peso corporal y porcentaje de grasa corporal que las jugadoras de balonmano amateur (AF), pero presentan mayores valores de talla, masa magra, $1RM_{PB}$, potencia muscular absoluta media con todas las cargas examinadas durante las acciones de press-banca y media sentadilla, potencia del salto vertical, carrera a

máxima velocidad y resistencia aeróbica, así como de las velocidades de lanzamiento del balón desde la posición de penalti y con 3-pasos en apoyo.

Las diferencias en la masa magra podrían explicar por sí solas las diferencias observadas en la potencia muscular absoluta entre los dos grupos. Sin embargo, los superiores valores absolutos de fuerza máxima, potencia muscular y resistencia aeróbica de EF, comparados con AF, le suponen una clara ventaja para desarrollar las frecuentes y potentes contracciones musculares requeridas en algunas de las acciones típicas del juego del balonmano.

Se sugiere que, debido a sus bajos niveles de fuerza absoluta, la velocidad de lanzamiento del balón en las jugadoras de balonmano depende más de su nivel de fuerza máxima concéntrica de las extremidades superiores, que de la capacidad de los músculos extensores de codo para mover cargas ligeras a velocidades altas.

Las diferencias significativas observadas en las características antropométricas y fisiológicas entre ambos grupos permiten distinguir claramente el grupo de jugadoras de balonmano de elite femenino del grupo amateur. En vista de las grandes diferencias observadas entre EF y AF, esto sugiere que la batería de test usados en el presente estudio es útil para evaluar y diferenciar a las jugadoras de balonmano de diferentes niveles.

5.3. EFECTOS DE UNA TEMPORADA DE BALONMANO EN JUGADORES DE ELITE MASCULINO

Los presentes resultados indican que a lo largo de una temporada los jugadores de balonmano de elite masculina mostraron ligeros pero significativos aumentos de la masa magra, la fuerza máxima concéntrica durante la acción de press-banca y de la velocidad de lanzamiento del balón.

Aunque se dedicó una gran cantidad de tiempo al entrenamiento de resistencia y de fuerza de las extremidades inferiores, no se observaron cambios

ni en la resistencia aeróbica, ni en la carrera a máxima velocidad, ni en la fuerza explosiva, ni en la potencia muscular de los músculos extensores de las piernas.

El entrenamiento de fuerza utilizado se asoció a un aumento significativo de la fuerza máxima del miembro superior y de la velocidad de lanzamiento del balón. La ausencia de cambios observada en la ganancia de fuerza en los músculos extensores de las piernas puede ser explicada por una probable acción del entrenamiento de resistencia y de los ejercicios de balón a baja intensidad, o por diferencias en la condición física inicial de los músculos extensores de rodilla comparados con los del miembro superior.

Con el fin de aumentar la capacidad de resistencia aeróbica sin interferir en la ganancia de fuerza de la extremidad inferior, se sugiere que el tiempo de entrenamiento dedicado a la carrera de resistencia de baja intensidad debería reducirse en el programa de entrenamiento, mientras que se debería prestar mayor atención a la magnitud y frecuencia de entrenamiento de resistencia a alta intensidad, y al entrenamiento de fuerza del miembro inferior.

Se recomienda seguir las pautas de expertos en dietética y nutrición para reducir la masa grasa sin que se produzca al mismo tiempo disminución de la función muscular. Se necesitan más estudios para determinar cuál es el estímulo de entrenamiento más apropiado para mejorar la condición y el rendimiento físico en jugadores de balonmano de elite.

5.4. EFECTOS DE UNA TEMPORADA DE BALONAMNO EN JUGADORAS DE ELITE FEMENINO

Los presentes resultados indican que a lo largo de una temporada las jugadoras de balonmano de elite mostraron un aumento significativo de la masa magra, la fuerza explosiva de las extremidades inferiores, la fuerza máxima concéntrica y potencias musculares de las extremidades superiores e inferiores, y de la velocidad de lanzamiento del balón, así como un descenso significativo del porcentaje de grasa corporal.

Aunque se dedicó mucho tiempo al entrenamiento de resistencia y al de fuerza de las extremidades inferiores a lo largo de la temporada, no se observaron cambios ni en la resistencia aeróbica, ni en la carrera a máxima velocidad.

Los cambios observados en la velocidad de lanzamiento del balón y sus correlaciones con las variables de fuerza sugieren que las velocidades de lanzamiento del balón dependen de la fuerza explosiva de ambas extremidades, la superior y la inferior, y resaltan la importancia de incluir ejercicios de fuerza explosiva que incluyan acciones de press-banca y de media sentadilla para conseguir el éxito en balonmano femenino.

Para aumentar la capacidad de resistencia aeróbica sin que interfiera en la ganancia de fuerza, se debería prestar especial atención al modo de perder peso y porcentaje de grasa corporal sin disminuir la función muscular. Por último, la competición y los partidos de entrenamiento parecen ser un estímulo adecuado para mejorar la condición física y las características antropométricas de las jugadoras de balonmano de elite.



FUENTES DE FINANCIACIÓN

6. FUENTES DE FINANCIACIÓN

La autora de este trabajo se benefició de una ayuda predoctoral de investigación en ciencias del deporte de un año, que se prorrogó hasta tres años más. El proyecto que incluye esta tesis doctoral ha sido financiado íntegramente por el Centro de Estudios, Investigación y Medicina del Deporte, perteneciente al Instituto Navarro de Deporte y Juventud, del Gobierno de Navarra (Orden Foral 119/2001).

Esta ayuda incluyó una ayuda mensual comprendida entre 700 euros/mes y 900 euros/mes, y financiación para desarrollar una estancia breve de un mes para participar en el trabajo de investigación “Neuromuscular and hormonal adaptations to resistance training in aging men and women” bajo la dirección del Dr. Keijo Häkkinen (Universidad de Jvaskylä, Finlandia), y dos estancias breves de dos meses cada una, para aprender técnicas de bioquímica muscular en el Laboratorio de Rendimiento Humano, Ejercicio Físico y Salud, de la Facultad de Educación Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, bajo la dirección del Profesor José Antonio López Calbet (Las Palmas de Gran Canaria).

El montante total de las ayudas recibidas del Gobierno de Navarra por la autora de este trabajo fue de 41.180 euros.

BIBLIOGRAFIA



7. BIBLIOGRAFÍA

- Aaserud, R., P. Gramvik, S. R. Olsen, y J. Jensen.** (1998) Creatine supplementation delays onset of fatigue during repeated bouts of sprint running. *Scand J Med Sci Sports* 8:247-251.
- Abe, T., W. F. Brechue, S. Fujita, y J. B. Brown.** (1998) Gender differences in FFM accumulation and architectural characteristics of muscle. *Med Sci Sports Exerc* 30:1066-1070.
- Ahtiainen, J., A. Pakarinen, M. Alen, W. J. Kraemer, y K. Häkkinen.** (2003) Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol* 89:555-563.
- Alexander, M. J. y S. L. Boreskie.** (1989) An analysis of fitness and time-motion characteristics of handball. *Am J Sports Med* 17:76-82.
- American College of Sports Medicine.** (2000) The physiological and health effects of oral creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 32:706-717.
- Anderson, S. M., R. W. Coté, E. F. Coyle, y F. B. Robe.** (1979) Leg power, muscle strength and peak EMG activity in physically active college men and women. *Med Sci sports* 11:81-82.
- Arciero, P. J., N. S. Hannibal, B. C. Nindl, C. L. Gentile, J. Hamed, y M. D. Vukovich.** (2001) Comparison of creatine ingestion and resistance training on energy expenditure and limb blood flow. *Metabolism* 50:1429-1434.
- Atwater, A. E.** (1979) Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries. *Exerc Sport Sci Rev* 7:43-85.

- Baker, D.** (2002) Differences in strength and power among junior-high, senior-high, college-aged, and elite professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 16:581-585.
- Balsom, P., K. Söderlund, B. Sjödín, y B. Ekblom.** (1995) Skeletal muscle metabolism during short duration high-intensity exercise: influence of creatine supplementation. *Acta Physiol Scand* 154:303-310.
- Bangsbo, J.** (1998) The physiological profile of soccer players. *Sports Exerc Injury* 4:144-150.
- Bangsbo, J. y M. Mizumo.** (1988) Morphological and metabolic alterations in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. En: Relly, T., A. Less, K. Davis, y W. J. Murphy (Eds.). *Science and Football*. Londres: E & FN Spon. Págs:114-128.
- Bangsbo, J., L. Norregaard, y F. Thorso.** (1991) Activity profile of competition soccer. *Can J Spt Sci* 16:110-116.
- Banister, E. W.** (1964) The caloric cost of playing handball. *Res Quart* 35:236-240.
- Bartosiewicz, G., A. Dabrowska, J. Ellasz, J. Gajewski, Z. Trzaskoma, y A. Wit.** (1986) Maximal mechanical power of lower and upper extremities of man. *Biol of Sport* 3:47-54.
- Becque, M. D., J. D. Lochmann, y D. R. Melrose.** (2000) Effects of oral creatine supplementation on muscular strength and body composition. *Med Sci Sports Exerc* 32:654-658.
- Belcastro, A. N., J. C. Campbell, A. Bonen, y R. L. Kirby.** (1981) Adaptation of human skeletal muscle myofibril ATPase activity to power training. *Aust J Sports Med* 13:93-97.

- Bemben, M. G., D. A. Bemben, D. D. Loftiss, y A. W. Knehans.** (2001) Creatine supplementation during resistance training in college football athletes. *Med Sci Sports Exerc* 33:1667-1673.
- Bergh, U., B. Sjodin, A. Forsberg, y J. Svedenhag.** (1991) The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Med Sci Sports Exerc* 23:205-211.
- Bosco, C., P. Luhtanen, y P. V. Komi.** (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* 50:273-282.
- Bunc, V., J. Heller, y L. Procházka.** (1992) Physiological characteristics of elite Czechoslovak footballers. *J Sports Sci* 10:149.
- Caru, B., L. Le Coutre, P. Aghemo, y F. Pinera Limas.** (1970) Maximal aerobic and anaerobic power in football players. *J Sports Med Phys Fitness* 10:100-103.
- Casajaús, J. A. y M. T. Aragonés.** (1991) Estudio morfológico del futbolista de alto nivel. Composición corporal y somatotipo (Parte I). *Arch Med Deporte* 8:147-151.
- Casey, A., D. Constantin-Teodosiu, S. Howell, E. Hultman, y P. L. Greenhaff.** (1996) Creatine ingestion favourably affects performance and muscle metabolism during maximal exercise in humans. *Am J Physiol* 271:E31-E37.
- Castro, M. J., D. J. McCann, J. D. Shaffrath, y W. C. Adams.** (1995) Peak torque per unit cross-sectional area differs between strength-trained and untrained young adults. *Med Sci Sports Exerc* 27:397-403.
- Coen, B., A. Urhausen, G. Coen, y W. Kindermann.** (1998) Der fubball-score: bewertung der körperlichen fitness. *Deutsche-Zeitschrift-fuer-Sportmedizin* (Cologne) 49:187-192.

- Cuesta, G.** (1991) Balonmano. Madrid: Real Federación Española de Balonmano.
- Davis, J. A. y J. Brewer.** (1993) Applied physiology of female soccer players. *Sports Med* 16:180-189.
- Delamarche, P., A. Gratas, J. Beillot, J. Dassonville, P. Rochcongar, y Y. Lessard.** (1987) Extent of lactic metabolism in handballers. *Inter J Sports Med* 8:55-59.
- Delecluse, C., H. Van Coppenolle, E. Wilems, M. Van Leemputte, R. Diels, y M. Goris.** (1995) Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 27:1203-1209.
- Delgado, N. y F. de Miguel.** (1988) Iniciación al balonmano. Burgos: Instituto para el Deporte y Juventud de Burgos (Castilla y León).
- DeRenne, C., B. P. Buxton, K. Hetzler, y K. W. Ho.** (1994) Effects of under- and overweighted implement training on pitching velocity. *J Strength Cond Res* 8:247-250.
- Duchateau, J. y K. Hainaut.** (1984) Isometric or dynamic training: Differential effects on mechanical properties of a human muscle. *J Appl Physiol* 54:296-301.
- Dudley, G. A. y R. Djamil.** (1985) Incompatibility of endurance and strength training modes of exercise. *J Appl Physiol* 59:1446-1451.
- Earnest, C. P., P. G. Snell, R. Rodriguez, A. L. Almada, y T. L. Mitchell.** (1995) The effect of creatine monohydrate ingestion on anaerobic power indices, muscular strength and body composition. *Acta Physiol Scand* 153:207-209.
- Ekblom, B.** (1986) Applied physiology of soccer. *Sports Med* 2:50-60.

- Eliasz, J.** (1993) The relationships between throwing velocity and motor ability parameters of the high-performance handball players. *Sport Wyczynowy* 38-43.
- Elliot, B., J. R. Grove, y B. Gibson.** (1988) Timing of the lower limb drive and throwing limb movement in baseball pitching. *Inter J Sport Biomech* 4:59-67.
- Enoka, R. M.** (1988) Muscle strength and its development. *New perspectives. Sports Med* 6:146-168.
- Faina, M., C. Gallozi, S. Lupo, R. Colli, R. Sassi, y C. Marini.** (1988) Definition of the physiological profile of the soccer player. En: Relly, T., A. Less, K. Davis, y W. J. Murphy (Eds.). *Science and Football*. Londres: E & FN Spon. Págs:158-163.
- Fairchild, T. J., A. A. Armstrong, A. Rao, H. Liu, S. Lawrence, y P. A. Fournier.** (2003) Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise. *Med Sci Sports Exerc* 35:595-602.
- Fay, L., B. R. Londeree, T. P. LaFontaine, y M. R. Volek.** (1989) Physiological parameters related to distance running performance in female athletes. *Med Sci Sports Exerc* 21:319-324.
- Fleck, S. J., S. L. Smith, M. W. Craib, T. Denahan, R. E. Snow, y M. L. Mitchell.** (1992) Upper extremity isokinetic torque and throwing velocity in team handball. *J Appl Sport Sci Res* 6:120-124.
- Fogelholm, M. G.** (1994) Effects of bodyweight reduction on sports performance. *Sports Med* 18:249-267.
- Fradet, L., M. Botcazou, C. Durocher, A. Cretual, F. Multon, J. Prioux, y P. Delamarche.** (2004) Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence? *J Sports Sci* 22:439-447.

- Gerisch, G., E. Rutmoller, y K. Weber.** (1988) Sportmedical measurements of performance in soccer. En: Relly, T., A. Less, K. Davis, y W. J. Murphy (Eds.). *Science and Football*. Londres: E & FN Spon. Págs:60-67.
- Goldberg, P. G. y P. J. Bechtel.** (1997) Effects of low dose creatine supplementation on strength, speed and power events by male athletes. *Med Sci Sports Exerc* 29:S251.
- Gorostiaga, E. M., J. Ibañez, M. Izquierdo, y J. J. González-Badillo.** (2002) Fútbol: bases fisiológicas, evaluación y prescripción del entrenamiento. *Infocoes* 7:36-74.
- Gorostiaga, E. M., M. Izquierdo, P. Iturralde, M. Ruesta, y J. Ibañez.** (1999) Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol* 80:485-493.
- Gorostiaga, E. M., M. Izquierdo, M. Ruesta, J. Iribarren, J. J. González-Badillo, y J. Ibañez.** (2004) Strength training effects on physical performance and serum hormones in soccer players. *Eur J Appl Physiol* 91:698-707.
- Green, A. L., E. Hultman, I. A. MacDonald, D. A. Sewell, y P. L. Greenhaff.** (1996) Carbohydrate feeding augments skeletal muscle creatine accumulation during creatine supplementation in humans. *Am J Physiol* 271:E826.
- Greenhaff, P. L., K. Bodin, R. C. Harris, E. Hultman, D. A. Jones, D. B. McIntyre, K. Söderlund, y D. L. Turner.** (1993) The influence of oral creatine supplementation on muscle phosphocreatine resynthesis following intense contraction in man. *Am J Physiol* 266:E725-E730.
- Grimby, L., J. Hannerz, y B. Hedman.** (1981) The fatigue and voluntary discharge properties of single motor units in man. *J Physiol* 316:545-554.

Häkkinen, K. (1988) Effects of the competitive season on physical fitness profile in elite basketball players. *J Human Movement Studies* 15:119-128.

Häkkinen, K. (1993a) Changes in physical fitness profile in female basketball players during the competitive season including explosive type strength training. *J Sports Med Phys Fitness* 33:19-26.

Häkkinen, K. (1993b) Changes in physical fitness profile in female volleyball players during the competitive season. *J Sports Med Phys Fitness* 33:223-232.

Häkkinen, K. (1994) Neuromuscular adaptation during strength training, aging, detraining and immobilization. *Crit Rev Phys Rehab Med* 6:161-198.

Häkkinen, K., M. Alen, y P. V. Komi. (1985) Changes in isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of human skeletal muscle during strength training and detraining. *Acta Physiol Scand* 125:573-585.

Häkkinen, K. y P. Sinnemäki. (1991) Changes in physical fitness profile during the competitive season in elite bandy players. *J Sports Med Phys Fitness* 31:37-43.

Harris, R. C., K. Soderlund, y E. Hultman. (1992) Elevation of creatine in resting and exercised muscle of normal subjects by creatine supplementation. *Clinical Sci* 83:367-374.

Helgerud, J., L. C. Engen, U. Wisloff, y J. Hoff. (2001) Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 33:1925-1931.

Hermansen, L. (1973) Oxygen transport during exercise in human subjects. *Acta Physiol Scand* 399:1-104.

Hermansen, L., E. Hultman, y B. Saltin. (1967) Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol Scand* 71:120-139.

- Hickson, R. C.** (1980) Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol* 45:255-263.
- Hoff, J. y B. Almasbakk.** (1995) The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team-handball players. *J Strength Cond Res* 9:255-258.
- Holm, I., M. A. Fosdahl, A. Friis, M. A. Risberg, G. Myklebust, y H. Steen.** (2004) Effects of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. *Clin J Sport Med* 14:88-94.
- Hollmann, W. H., H. Liesen, A. Mader, H. Heck, R. Rost, B. Dufaux, P. Schurch, D. Lagerstrom, y R. Fohrenbach.** (1981) Zur höchstund dauerleistungsfähigkeit der deutschen fussballspitzenspieler. *Deutsche-Zeitschrift-fuer-Sportmedizin* (Cologne) 32:113-120.
- Housh, T. J., W. E. Thorland, G. O. Johnson, G. D. Tharp, y C. J. Cisar.** (1984) Anthropometric and body build variables as discriminators of event participation in elite adolescent male track and field athletes. *J Sports Sci* 2:3-11.
- Houston, M. E., D. A. Marrin, H. J. Green, y J. A. Thomson.** (1981) The effect of a rapid weight loss on physiological functions in wrestlers. *Physician Sportsmed* 9:73-78.
- Hultman, E., K. Soderlund, J. A. Timmons, G. Cederblad, y P. L. Greenhaff.** (1996) Muscle creatine loading in men. *J Appl Physiol* 81:237.
- Hultman, E. J., J. Bergström, y A. E. Roch-norlund.** (1971) Glycogen storage in human skeletal muscle. En: Pernow, B. y B. Saltin (Eds.). *Muscle metabolism during exercise*. Nueva York: Plenum. Págs:273-278.

- Izquierdo, M., K. Häkkinen, J. J. González-Badillo, J. Ibañez, y E. M. Gorostiaga.** (2002a) Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol* 87:264-271.
- Izquierdo, M., J. Ibañez, J. J. González-Badillo, y E. M. Gorostiaga.** (2002b) Effects of creatine supplementation on muscle power, endurance, and sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 34:332-343.
- Jackson, A. S. y M. L. Pollock.** (1978) Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 40:497-504.
- Jackson, A. S., M. L. Pollock, y A. Ward.** (1980) Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 12:175-182.
- Jacobs, I.** (1998) Nutrition for the elite footballer. En: Relly, T., A. Less, K. Davis, y W. J. Murphy (Eds.). *Science and Football*. Londres: E & FN Spon. Págs:23-32.
- Jacobs, I., N. Westlin, M. Rasmusson, y B. Houghton.** (1982) Muscle glycogen and diet in elite players. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 48:297-302.
- Jastrebski, Z.** (1989) Development of anaerobic fitness among male and female handball players in different age groups. *Biol of Sport* 6:134-138.
- Javierre, C., M. A. Lizarraga, J. L. Ventura, E. Garrido, y R. Segura.** (1997) Creatine supplementation does not improve physical performance in a 150 m race. *Rev Esp Fisiol* 53:343-348.
- Jensen, J., S. T. Jacobsen, S. Hetland, y P. Tveit.** (1997) Effect of combined endurance, strength and sprint training on maximal oxygen uptake, isometric strength and sprint performance in female elite handball players during a season. *Inter J Sports Med* 18:354-358.

- Joris, H., A. E. Van Muijen, G. J. Van Ingen Schenau, y H. C. G. Kemper.** (1985) Force, velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *J Biomech* 18:409-414.
- Karvonen, M. J., E. Kentala, y O. Mustala.** (1957) The effects of training on heart rate. *Ann Med Exp Biol Fem* 35:307.
- Kelly, V. G. y D. G. Jenkins.** (1998) Effect of oral creatine supplementation on near-maximal strength and repeated sets of high-intensity bench press exercise. *J Strength Cond Res* 12:109-115.
- Khosla, T. y V. C. McBroom.** (1985) Age, height and weight of female Olympic finalists. *Br J Sports Med* 19:96-99.
- Koutedakis, Y.** (1995) Seasonal variation in fitness parameters in competitive athletes. *Sports Med* 19:373-392.
- Kraemer, W. J.** (2000) Endocrine responses to resistance exercise. En: Baechle, T. R. (Ed.). *Essentials of strength and conditioning*. Champaign: Human Kinetics. Págs: 91-114..
- Kreider, R. B., M. Ferreira, M. Wilson, P. Grindstaff, S. Plisk, J. Reinardy, E. Cantler, y A. L. Almada.** (1998) Effects of creatine supplementation on body composition, strength, and sprint performance. *Med Sci Sports Exerc* 30:73-82.
- Laubach, L.** (1976) Comparative muscular strength of men and women: a review of the literature. *Aviat Space Environ Med* 47:534-542.
- Lefavi, R. G., J. L. McMillan, P. J. Kahn, J. F. Crosby, R. F. Digioacchino, y J. A. Streater.** (1998) Effects of creatine monohydrate on performance of collegiate baseball and basketball players. *J Strength Cond Res* 12:275.
- Loftin, M., P. Anderson, L. Lyton, P. Pittman, y B. Warren.** (1996) Heart rate response during handball singles match-play and selected physical fitness

components of experienced male handball players. *J Sports Med Phys Fitness* 36:95-99.

Lozovina, V. y L. Pavicic. (2004) Anthropometric changes in elite male water polo players: survey in 1980 and 1995. *Croat Med J* 45:202-205.

Maganaris, C. N. y R. J. Maughan. (1998) Creatine supplementation enhances maximum voluntary isometric force and endurance capacity in resistance trained men. *Acta Physiol Scand* 163:279-287.

Mikkelsen, F. y M. N. Olesen. (1976) Handball 82-84 (Traening af skudstyrken). Tesis doctoral. Stockholm: Trygg-Hansa.

Miller, A. E. J., J. D. Macdougall, M. A. Tarnopolsky, y D. G. Sale. (1993) Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *Eur J Appl Physiol* 66:254-262.

Milner-Brown, H. S., R. B. Stein, y R. G. Lee. (1975) Synchronization of human motor units: Possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 38:245-254.

Miszko, T. A., J. T. Baer, y P. M. Vandenberg. (1998) The effect of creatine loading on body mass and vertical jump of female athletes. *Med Sci Sports Exerc* 30:S141.

Morgan, W. P. (1970) Psychological effect of weight reduction in the college wrestler. *Med Sci Sports Exerc* 2:24-27.

Mujika, I., S. Padilla, J. Ibañez, M. Izquierdo, y E. M. Gorostiaga. (2000) Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 32:518-525.

Müller, E. (1980) Zur bewegungsübertragung bei wurfbewegungen. Institut für Sportwissenschaft der Universität Innsbruck.

- Newton, R. U., A. J. Murphy, B. J. Humphries, G. J. Wilson, W. J. Kraemer, y K. Häkkinen.** (1997) Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics, kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *Eur J Appl Physiol* 1:333-342.
- Noonan, D., K. Berg, R. W. Latin, J. C. Wagner, y K. Reimers.** (1998) Effects of varying dosages of oral creatine relative to fat free body mass on strength and body composition. *J Strength Cond Res* 12:104-108.
- Norton, K. y T. Olds.** (2001) Morphological evaluation of athletes over the 20th century. *Sports Med* 31:763-783.
- Pate, R. R., P. B. Sparling, G. E. Wilson, K. J. Cureton, y B. J. Miller.** (1987) Cardiorespiratory and metabolic responses to submaximal and maximal exercise in elite women distance runners. *Int J Sports Med* 8:91-95.
- Pearson, D. R., D. G. Hamby, W. Russel, y T. Harris.** (1999) Long-term effects of creatine monohydrate on strength and power. *J Strength Cond Res* 13:187-192.
- Peeters, B. M., C. D. Lantz, y J. L. Mayhew.** (1999) Effect of oral creatine monohydrate and creatine phosphate supplementation on maximal strength indices, body composition, and blood pressure. *J Strength Cond Res* 13:3-9.
- Ramsay, J. A., C. J. R. Blimkie, K. Smith, S. Garner, J. D. Macdougall, y D. G. Sale.** (1990) Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc* 22:605-614.
- Rannou, F., J. Prioux, H. Zouhal, A. Gratas-Delamarche, y P. Delamarche.** (2001) Physiological profile of handball players. *J Sports Med Phys Fitness* 41:349-353.
- Raven, P. B., L. R. Gettman, M. L. Pollock, y K. H. Cooper.** (1976) A physiological evaluation of professional soccer players. *Br J Sports Med* 109:209-216.

Real Federación Española de Balonmano. Accesible en:

"<http://www.rfebm.com>"

Redondo, D. R., E. A. Dowling, B. L. Graham, A. L. Almada, y M. H. Williams.

(1996) The effect of oral creatine monohydrate supplementation on running velocity. *Inter J Sports Nutr* 6:213-221.

Rhodes, E. C., R. E. Mosher, D. C. McKenzie, I. M. Franks, J. E. Potts, y H. A.

Wenger. (1986) Physiological profiles of the Canadian Olympic soccer Team. *Can J Appl Sport Sci* 11:31-36.

Rodhe, H. C. y T. Espersen. (1988) Work intensity during soccer training and

match-play. En: Relly, T., A. Less, K. Davis, y W. J. Murphy (Eds.).

Science and Football. Londres: E & FN Spon. Págs:68-75.

Rost, R. y W. Hollmann. (1983) Athlete's heart - a review of its historical

assessment and new aspects. *Int J Sports Med* 4:165.

Sahlin, K. (1978) Intracellular pH and energy metabolism in skeletal muscle of

man. With special reference to exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 455:1-56.

Slater, G. J., A. J. Rice, K. Sharpe, I. Mujika, D. Jenkins, y A. Hahn. (2005)

Body-mass management of Australian lightweight rowers prior to and during competition. *Med Sci Sports Exerc* 37:860-866.

Smart, N. A., S. G. McKenzie, L. M. Nix, S. E. Baldwin, K. Page, D. Wade, y P.

K. Hampson. (1998) Creatine supplementation does not improve repeat sprint performance in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 30:S140.

Smith, H. K. (1998) Applied physiology of water polo. *Sports Med* 26:317-334.

Smith, J. L., B. Betts, V. R. Edgerton, y R. F. Zernicke. (1980) Rapid ankle

extension during paw shakes. Selective recruitment of fast ankle extensors. *J Neurophysiol* 43:612-620.

- Stevenson, S. W. y G. A. Dudley.** (1998) Creatine supplementation and resistance exercise. *J Strength Cond Res* 12:278.
- Stone, M. H., K. Sanborn, H. S. O'Bryant, T. Hoke, A. C. Utter, R. L. Johnson, R. Boros, J. Hruby, K. C. Pierce, M. E. Stone, y B. Garner.** (1999) Effects of in-season (5 weeks) creatine and pyruvate supplementation on anaerobic performance and body composition in American football players. *Inter J Sports Nutr* 9:146-165.
- Stout, J., J. Eckerson, D. Noonan, G. Moore, y D. Cullen.** (1999) The effects of 8 weeks of creatine supplementation on exercise performance and fat-free weight in football players during training. *Nutr Res* 19:217-225.
- Suter, H.** (1996) Análisis y novedades de los XIV Campeonatos del Mundo. *Comunicación Técnica* 155. Madrid: Real Federación Española de Balonmano.
- Thorensen, E., J. L. McMillan, K. Guion, y B. Joyner.** (1998) The effect of creatine on aerobic and anaerobic metabolism in skeletal muscle in swimmers. *J Strength Cond Res* 12:278.
- Torranin, C., D. P. Smith, y R. J. Byrd.** (1979) The effect of acute thermal dehydration and rapid rehydration on isometric and isotonic endurance. *J Sports Med Phys Fitness* 19:1-7.
- Toyoshima, S., T. Hoshikawa, M. Miyashita, y T. Oguria.** (1974) Contribution of the body parts to throwing performance. En: Nelson, R. C. y C. A. Morehouse (Eds.). *Biomechanics IV*. Baltimore, MD: University Park. Págs:169-174.
- Van Den Tillaar, R.** (2004) Effect of different training programs on the velocity of overarm throwing: a brief review. *J Strength Cond Res* 18:388-396.
- Van Den Tillaar, R. y G. Ettema.** (2004) Effect of body size and gender in overarm throwing performance. *Eur J Appl Physiol* 91:413-418.

- Van Fraechem, J. H. P. y M. Tomas.** (1992) Maximal aerobic power and ventilatory threshold of a top-level soccer team. *J Sports Sci* 10:149-156.
- Van Gool, D., D. Van Gerven, y J. Boutmans.** (1988) The physiological load imposed on soccer players during real match-play. En: Rely, T., A. Less, K. Davis, y W. J. Murphy (Eds.). *Science and Football*. Londres: E & FN Spon. Págs:51-59.
- Van Muijen, A. E., H. Joris, H. C. G. Kemper, y G. J. Van Ingen Schenau.** (1991) Throwing practice with different ball weights: effects on throwing velocity and muscle strength in female handball players. *Sports Training Med Rehab* 2:103-113.
- Viitasalo, J., H. Kyröläinen, C. Bosco, y M. Alen.** (1998) Effects of rapid weight reduction on force production and vertical jumping height. *Int J Sports Med* 8:281-285.
- Vlak, T. y D. Pivalica.** (2004) Handball: the beauty or the beast. *Croat Med J* 45:526-530.
- Volek, J. S., M. Boetes, J. A. Bush, M. Putukian, W. J. Sebastianelli, y W. J. Kraemer.** (1997a) Response of testosterone and cortisol concentrations to high-intensity resistance exercise following creatine supplementation. *J Strength Cond Res* 11:181-187.
- Volek, J. S., N. D. Duncan, S. A. Mazzetti, R. S. Staron, M. Putukian, A. L. Gómez, D. Pearson, W. J. Fink, y W. J. Kraemer.** (1999) Response of testosterone and cortisol concentrations to high-intensity resistance exercise following creatine supplementation. *Med Sci Sports Exerc* 31:1147-1156.
- Volek, J. S., W. J. Kraemer, J. A. Bush, M. Boetes, T. Incledon, K. L. Clark, y J. M. Lynch.** (1997b) Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. *J Am Dietetic Assoc* 97:765-770.

- Volek, J. S., W. J. Kraemer, J. A. Bush, T. Incledon, y M. Boetes.** (1997c) Testosterone and cortisol in relationship to dietary nutrients and resistance exercise. *J Appl Physiol* 82:49-54.
- Wallace, M. B. y M. Cardinale.** (1997) Conditioning for team handball. *Strength Cond* December:7-12.
- Warber, J. P., J. F. Patton, W. J. Tharion, S. J. Montain, R. P. Mello, y H. R. Leberman.** (1998) Effects of creatine monohydrate supplementation on physical performance. *FASEB* 12:1040.
- Weber, C. L., M. Chia, y O. Inbar.** (2006) Gender differences in anaerobic power of the arms and legs - a scaling issue. *Med Sci Sports Exerc* 38:129-137.
- Weltman, A.** (1995) The blood lactate response to exercise. Champaign: Human Kinetics.
- White, J. E., T. M. Emery, J. E. Kane, R. Groves, y A. B. Risman.** (1988) Preseason fitness profiles of professional soccer players. En: *Science and Football*. Relly, T., A. Less, K. Davis, y W. J. Murphy (Eds.), pág. 164-171. Londres: E & FN Spon.
- Whithers, R. T., R. G. D. Roberts, y G. J. Davies.** (1977) The maximum aerobic power, anaerobic power and body composition of South Australian male representatives in athletics, basketball, field hockey and soccer. *J Sports Med Phys Fitness* 17:391-400.
- Williams, M. H. y R. B. Kreider.** (1999) Creatine. The power supplement. Champaign: First.
- Withers, R. T., Z. Maricic, S. Wasilewski, y L. Kelly.** (1982) Match analyses of Australian professional soccer players. *J Human Movement Studies* 8:159176-176.

Ziegenfuss, T., P. W. R. Lemon, M. R. Rogers, R. Ross, y K. E. Yarasheski.
(2000) Acute creatine ingestion: effects on muscle volume, anaerobic power, fluid volumes, and protein turnover. *Med Sci Sports Exerc* 29:S127.



APÉNDICE Y PUBLICACIONES

8. APÉNDICE – PUBLICACIONES

A partir de los resultados del presente estudio, se han redactado y publicado:

Los siguientes artículos en revistas científicas internacionales:

- **Gorostiaga, E.M., C. Granados, J. Ibañez, y M. Izquierdo.** (2005) Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *Int J Sports Med* 26:225-232.
- **Gorostiaga, E.M., C. Granados, J. Ibañez, J.J. González-Badillo, y M. Izquierdo.** (2006) Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc* 38:357-366.
- **Granados, C., M. Izquierdo, J. Ibañez, H. Bonnabau, y E.M. Gorostiaga.** (2007) Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur female handball players. *Int J Sports Med* 28:860-7.
- **Granados, C., M. Izquierdo, J. Ibañez, M. Ruesta, y E.M. Gorostiaga.** (2008) Effects of an entire season on physical fitness in elite female handball players. *Med Sci Sports Exerc* 40:351-61.

Los siguientes capítulos de libro:

- **Izquierdo, M., C. Granados, J. Ibañez, y E.M. Gorostiaga.** (2006) Entrenamiento de fuerza en balonmano. En: Medicina y Balonmano. ANAMEDE (Ed.), pág. 40-65. Pamplona: Asociación Navarra Medicina del Deporte. ISBN: 978-84-609-9756-6

- **Granados, C., M. Izquierdo, y E.M. Gorostiaga. (2007)**
Diferencias en la condición física y en el lanzamiento entre jugadores de balonmano de elite y aficionado. En: Biomecánica aplicada a la actividad física y al deporte. Ayuntamiento de Valencia (Ed.), 231-251. Valencia: Fundación Deportiva. ISBN: 978-84-8484-223-1

Y se ha presentado la siguiente comunicación en un Congreso Internacional:

- **Gorostiaga, E.M., C. Granados, J. Ibañez, y M. Izquierdo. (2003)**
Diferencias en confición física y velocidad de lanzamiento entre jugadores de balonmano de elite y aficionados. II Congreso Mundial de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. 12-15 de Noviembre, Granada, España.