

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CULTURA
Consejo Superior de Deportes

RENDIMIENTO DEPORTIVO

*Parámetros electromiográficos (EMG),
cinemáticos y fisiológicos*

13

INVESTIGACIONES EN CIENCIAS DEL DEPORTE

icad

RENDIMIENTO DEPORTIVO

*Parámetros electromiográficos (EMG),
cinemáticos y fisiológicos*

13

icd

SERIE ICd DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS DEL DEPORTE

La Serie ICd, de Investigación en Ciencias del Deporte, es una publicación del Consejo Superior de Deportes que pretende satisfacer la demanda de información científica especializada, difundiendo los trabajos que, por su calidad, actualidad y rigor científico, pueden ser de interés para los especialistas.

Los trabajos que se publican en ICd son seleccionados por un Comité Científico, están sujetos a la «Normativa General para la presentación de trabajos» del Programa de publicaciones del Consejo Superior de Deportes y, en la mayoría de los casos, son producto de las becas y ayudas a la investigación que concede el C.S.D.

Director Editorial:

José Luis Hernández Vázquez

Coordinación Editorial:

Miguel Angel Gutiérrez Medina

Consultores científicos:

Fernando Andrés Pérez, Alicia Canda, Javier Durán, Amelia Ferro, Manuel García Ferrando, Esteban González, Rafael Manso, Agustín Meléndez, Cecilia Rodríguez Bueno, Ramiro Merino Merchán, Cristóbal Moreno Palos, Enrique Navarro Cabello, Silvio Rubio, Luis M. Ruiz Pérez, Fernando Sánchez Bañuelos, Benilde Vázquez

Edita:

Ministerio de Educación y Cultura
Consejo Superior de Deportes
© 1997

Edición no venal.

N.I.P.O.: 178-97-009-3

Depósito Legal: M-27.445-1997

Distribución e información:

Centro Nacional de Investigación
y Ciencias del Deporte
C/ del Greco s/n Tl. 91/589 05 27/28
28040 Madrid Fax 91/544 81 22
Web: <http://www.mec.es/csd>
e-mail: secinfo.dep@csd.mec.es

Venta:

Librería del B.O.E.
C/ Trafalgar, 29 Tel. 91/538 22 95
28071 Madrid Fax 91/538 22 67

NOTA: Los trabajos presentados expresan el criterio y valoraciones de sus autores sin que el Consejo Superior de Deportes comparta necesariamente las tesis o conceptos expuestos en ellos. Permitida la reproducción parcial citando la fuente.

RENDIMIENTO DEPORTIVO:

Parámetros electromiográficos (EMG), cinemáticos y fisiológicos

**Relación de la concentración de lactato en sangre
con los parámetros cinemáticos en nadadores de
alto rendimiento**

Navarro Valdivielso, F.

**Aplicación y seguimiento mediante análisis
biomecánico del entrenamiento de la fuerza
explosiva**

*Navarro, E.; Pablos, C.; Ortiz, V.; Chillarón, E.;
Cervera, I.; Ferro, A.; Giner, A. y Martí, J.*

**La Electromiografía (EMG) como método para
determinar la intervención muscular en los
deportes de precisión**

Gianikellis, K.; Maynar, M. y Arribas, F.

**Efectos de un entrenamiento de fuerza sobre los
niveles de testosterona y cortisol en adolescentes**

Pablos Abella, C.

ICd NÚM. 13

INDICE

RENDIMIENTO DEPORTIVO

Parámetros electromiográficos (EMG), cinemáticos y fisiológicos

	<u>Pág.</u>
I. RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO EN SANGRE CON LOS PARÁMETROS CINEMÁTICOS EN NADADORES DE ALTO RENDI- MIENTO	9
1. Parámetros cinemáticos y técnica	14
2. La intensidad de nado y la concentración de lactato	17
3. <i>Parámetros cinemáticos y concentración de lactato</i>	20
4. Objetivos de la investigación	21
5. Material y métodos	22
5.1. Material biológico (nadadores)	22
5.2. Material instrumental	22
5.3. Condiciones previas a los tests	22
5.4. Medidas	23
5.5. Protocolos	24
5.6. Técnicas de análisis	25
6. Caracterización de los nadadores según sus parámetros cinemáticos (fre- cuencia y longitud de ciclo), la velocidad de nado y la concentración de lac- tato en sangre	26
7. Modelo empírico explicativo de la concentración de lactato en sangre para los distintos tests	29
7.1. Comparación entre los resultados de los cinco tests	31
8. Discusión	37
8.1. Caracterización de los nadadores según sus parámetros cinemáticos (frecuencia y longitud de ciclo), la velocidad de nado y la concentra- ción de lactato en sangre	37
8.2. Relación de los parámetros cinemáticos con la concentración de lacta- to en sangre en los tests de crol con distintas distancias	40
8.3. Relación de los parámetros (frecuencia y longitud de ciclo) con la velo- cidad en los tests con distintos estilos	41
9. Conclusiones	45
10. Agradecimientos	46
11. Bibliografía	46
II. APLICACIÓN Y SEGUIMIENTO MEDIANTE ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA EXPLOSIVA	55
I. Introducción	59
I.1. Origen del trabajo	59

	<u>Pág.</u>
I.2. Capacidades físicas determinantes del salto	59
I.3. Consideraciones generales sobre el entrenamiento de los saltos	61
I.4. Consideraciones sobre el entrenamiento de la fuerza explosiva del tren inferior	63
I.5. Metodología del entrenamiento de la fuerza explosiva	64
1.5.1. Método de contraste	64
I.6. Valoración de la fuerza explosiva del miembro inferior	65
I.7. Control de la fuerza	66
I.8. Conclusiones	66
I.9. Objetivos del proyecto	67
II. Material y métodos	68
II.1. Consideraciones previas	68
II.2. Plan de trabajo	68
II.3. Sujetos	70
II.4. Técnicas experimentales	71
II.5. Sistemas de entrenamiento	72
II.5.1. Etapa preparatoria	75
II.5.2. Entrenamiento de la fuerza explosiva	76
II.5.3. Seguimiento y control de las sesiones de entrenamientos	79
II.6. Controles de entrenamiento	80
II.6.1. Tests de campo	80
II.6.2. Tests de laboratorio	81
II.6.3. Protocolos de los controles	82
II.7. Tratamiento de datos	83
II.7.1. Obtención de las variables	83
II.7.2. Tratamiento estadístico	85
III. Resultados y discusión	85
III.1. Baloncesto	85
III.1.1. Estadística descriptiva	85
III.1.2. Comparación de resultados entre controles	91
III.1.3. Comparación entre sistemas de entrenamiento	94
III.2. Voleibol	95
III.2.1. Estadística descriptiva	95
III.2.2. Comparación de resultados entre controles	98
III.2.3. Comparación de los sistemas de entrenamiento	101
IV. Conclusiones	102
V. Agradecimientos	103
VI. Bibliografía	104
III. LA ELECTROMIOGRAFÍA (EMG) COMO MÉTODO PARA DETERMINAR LA INTERVENCIÓN MUSCULAR EN LOS DEPORTES DE PRECISIÓN	107
1. Introducción	109
2. Fundamentos del análisis EMG	110

	Pág.
2.1. Aspectos fisiológicos de la actividad neuromuscular	111
2.2. La cadena de medida	113
2.3. El tratamiento de la señal EMG	114
3. Aplicaciones de la EMG en los deportes de precisión	117
4. Bibliografía	121

IV. EFECTOS DE UN ENTRENAMIENTO DE FUERZA SOBRE LOS NIVELES DE TESTOSTERONA Y CORTISOL EN ADOLESCENTES	125
1. Introducción	127
1.1. Relación de las hormonas con el ejercicio físico	127
1.1.1. La testosterona	129
1.1.2. El cortisol	131
1.2. Respuestas de testosterona y cortisol al ejercicio físico	132
1.2.1. La testosterona	132
1.2.2. El cortisol	134
1.3. Cambios en los niveles hormonales de adolescentes en respuesta al ejercicio físico	135
1.4. Respuesta hormonal al entrenamiento deportivo	136
1.4.1. La testosterona	136
1.4.2. El cortisol	138
1.4.3. Respuesta de la testosterona y cortisol al entrenamiento en adolescentes	139
1.4.4. La ratio testosterona libre/cortisol (FTCR) como medio de control del entrenamiento	140
2. Objetivos	143
3. Materiales y método	143
3.1. Descripción de la muestra	143
3.2. Diseño experimental	144
3.3. Método de entrenamiento	145
3.4. Medidas	148
3.4.1. Variables de fuerza	148
3.4.2. Variables hormonales	149
3.5. Tratamiento estadístico	149
4. Resultados	150
4.1. Efectos del entrenamiento sobre la fuerza	150
4.1.1. Efectos del primer período de entrenamiento	150
4.1.2. Efectos del segundo período de entrenamiento	152
4.2. Respuesta hormonal al entrenamiento en cada período	153
4.2.1. Respuesta de la testosterona en el primer período	153
4.2.2. Respuesta de la testosterona en el segundo período	154
4.2.3. Respuesta del cortisol en el primer período	156
4.2.4. Respuesta del cortisol en el segundo período	156
4.2.5. Respuesta de la ratio testosterona/cortisol (FTCR) en el primer período	156
4.2.6. Respuesta de la ratio testosterona/cortisol (FTCR) en el segundo período	156

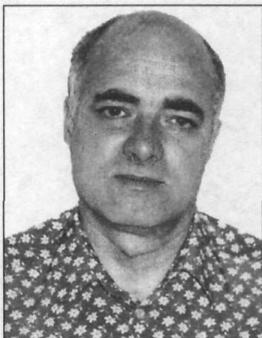
	Pág.
4.3. Modificaciones producidas por el programa de entrenamiento	156
4.3.1. Evolución de los parámetros medidos en el grupo experimental .	156
4.3.1.1. Fuerza	156
4.3.1.2. Niveles hormonales	157
4.3.2. Comparación de la evolución con el grupo control	158
4.3.2.1. Cambios en fuerza	158
4.3.2.2. Cambios en niveles hormonales	158
4.3.3. Aplicación de los criterios de sobreentrenamiento	159
5. Discusión	160
5.1. Efectos del entrenamiento en circuito sobre la fuerza en los adolescen- tes	160
5.2. Respuesta hormonal específica al entrenamiento de fuerza	160
5.3. Respuesta de la ratio testosterona/cortisol al entrenamiento	161
6. Conclusiones	162
7. Referencias bibliográficas	163
Anexos	168

RELACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO EN SANGRE CON LOS PARÁMETROS CINEMÁTICOS EN NADADORES DE ALTO RENDIMIENTO

Navarro Valdivielso, F.

Dirección para correspondencia:

Fernando Navarro Valdivielso
Instituto Nacional de Educación Física
C/ Martín Fierro, s/n
28040 Madrid
Tel.: 589 40 00/63
Fax: 544 13 31 - 589 40 32



Fernando Navarro Valdivielso. Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad Politécnica de Madrid. Licenciado en Educación Física. Coordinador y Profesor del Área de Condición Física y Salud del Master en Alto Rendimiento Deportivo del Comité Olímpico Español y Universidad Autónoma de Madrid. Profesor Titular de Teoría y Práctica del Entrenamiento Deportivo en el Instituto Nacional de Educación Física de Madrid. Entrenador del equipo olímpico de Natación en las olimpiadas de Los Angeles, Seúl y Barcelona. Presidente de la Asociación Iberoamericana de Técnicos de Natación. Autor de varios libros y numerosos artículos sobre temas de natación competitiva y entrenamiento de alto nivel.

Resumen: El tema objeto de este estudio se centra en la relación entre la concentración de lactato en sangre, como indicador de la intensidad de nado, y determinados parámetros cinemáticos de la técnica de natación.

Esta investigación está basada en el desarrollo de dos experimentos. El experimento I se diseñó para analizar el comportamiento básico de los parámetros cinemáticos (frecuencia y longitud de ciclo) y la concentración de lactato en relación con la velocidad. El experimento II se diseñó para analizar la influencia de los parámetros cinemáticos sobre la concentración de lactato en los distintos tests.

La muestra total la integraron 101 nadadores de competición, altamente entrenados de nivel nacional e internacional con un nivel de experiencia en el entrenamiento superior a los cinco años y con un promedio de nueve sesiones semanales de entrenamiento y de una duración de 120 minutos cada una de ellas. Las edades de los nadadores estuvieron comprendidas entre los 15 y 23 años.

Los resultados demuestran la gran influencia de los parámetros cinemáticos sobre la concentración de lactato. Las interpretaciones metabólicas que se han hecho tradicionalmente comparando la concentración de lactato con la velocidad podría producir lecturas equivocadas si no se tienen en cuentas las variaciones que a una velocidad dada se producen en los parámetros cinemáticos de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo. Por ello se sugiere la conveniencia de que los protocolos progresivos de lactacidemia añadan la medición de la frecuencia de ciclo. De este modo, las posibles adaptaciones o desadaptaciones de los parámetros cinemáticos podrán interpretarse junto a la influencia de la velocidad de nado en la concentración de lactato en sangre.

Palabras claves: *lactato, frecuencia de ciclo, longitud de ciclo, natación, parámetros cinemáticos*

Abstract: The subject matter of this study focuses on the relationship between the lactate concentration in blood, as swim intensity indicator, and certain Kinematic parameters of swimming technique.

This investigation is based on the development of two experiments. Experiment I was designed to analyze the basic behavior of the Kinematics parameters (stroke rate and stroke

length) and the lactate concentration in relation with the speed. Experiment II was designed to analyze the influence of the Kinematics parameters on the lactate concentration in the various tests.

The final sample was made up of 101 competition swimmers, highly trained at national and international level , with over five years of experience in the higher training with an average of nine sessions (120 minutes each) of training. The age range of the swimmers was from 15 to 23 years old.

The results show the great influence of the kinematics parameters on the lactate concentration. The metabolic interpretations that have usually been made comparing the lactate concentration with the speed could originate erroneous interpretation if it is not borne in mind the variations produced, in a given speed, in the kinematics parameters in the stroke rate and stroke length. In this way, the possible adaptations or disadaptations of the kinematics parameters could be interpreted together with the influence of the swim speed in the lactate concentration in blood.

Key words: *lactate, stroke rate, stroke length, swimming, kinematic parameters*

El rendimiento en el deporte se ha estudiado desde muy diferentes aspectos. En natación se ha estudiado especialmente por dos vías diferentes: (a) por medio del comportamiento técnico y/o biomecánico y (b) a través del comportamiento fisiológico. Numerosos estudios avalan la investigación tanto del apartado (a) (Arellano y Pardo, 1992; Craig, Boomer y Gibbons, 1979; Craig y Pendergast, 1979; Craig, Skenhan, Pawelczyk y Boomer, 1985; East, 1971; Hay, 1978; Kennedy, Brown, Chengalur y Nelson, 1990; Navarro, 1982; Toussaint y Beek, 1992; Wakayoshi, Nomura, Takahashi, Mutoh y Miyashita, 1992), como del apartado (b) (Costill et al., 1985; Costill et al., 1991; Keskinen y Komi, 1986; Klentrou y Montpetit, 1991; Klentrou y Montpetit, 1992; Smith, Montpetit y Perrault, 1988; Toussaint y Beek, 1992; Wakayoshi, D'Acquisto, Cappaert y Troup, 1995; Wakayoshi, Yoshida, Ikuta, Mutoh y Miyashita, 1993; Weiss, Reischle, Bouws, Simon y Weicker, 1988).

Lamentablemente, durante todos estos años, tanto las investigaciones sobre los aspectos técnicos y/o biomecánicos, como las relacionadas con los aspectos fisiológicos del rendimiento en natación han sido contempladas, en la mayoría de las ocasiones, desde una perspectiva muy sesgada. Esto ha supuesto que los conocimientos del rendimiento en natación fuesen mal interpretados en numerosas ocasiones. Es así como la técnica de la natación se estudió desde la perspectiva biomecánica sin tener en cuenta en que medida determinados comportamientos fisiológicos podían afectar a la misma. Y viceversa, se ha estudiado en la mayoría de las ocasiones el comportamiento fisiológico del nadador en la actividad de natación pero sin tener en cuenta en qué medida dichos comportamientos podían ser influidos por la técnica de nado. Es a partir de 1992 cuando los estudios científicos sobre el rendimiento en natación intentan contemplar en mayor medida, efectos interrelacionados de la técnica y la fisiología de nado (Alves y Gomes-Pereira, 1993; Capelli et al., 1995; Jakeman, Winter y Do, 1994; Kelly, Gibney, Ward, Donne y O'Brien, 1992; Keskinen y Komi, 1992; Keskinen y Komi, 1993; Klentrou y Montpetit, 1992; McArdle y Reilly, 1992; Pelayo, Sidney, Weissland y Kherif, 1994; Pelayo, Sidney, Weissland y Kherif, 1994; Wakayoshi et al., 1995; Wakayoshi et al., 1993; Wakayoshi et al., 1993).

Teniendo presente estas opiniones, este estudio pretende avanzar en proposiciones prácticas, desde consideraciones biomecánicas y fisiológicas de la locomoción humana en el medio acuático.

Una de las formas más utilizadas para el análisis de la técnica deportiva de los nadadores es el estudio de los parámetros cinemáticos de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo (Craig y Pendergast, 1979; Curry, 1975; Hay, 1978). La frecuencia de ciclo corresponde al número de ciclos por unidad de tiempo. En natación, se considera un ciclo de brazos la acción completa de los brazos en su trayectoria de tracción y de recobro. La longitud de ciclo es el resultado de la distancia que recorre el nadador en un ciclo completo de brazos. Así pues, el producto de la frecuencia de ciclo por la longitud de ciclo representan la velocidad de nado del nadador.

Desde el punto de vista fisiológico, una herramienta útil de evaluación del nadador ha demostrado ser la determinación e interpretación de la concentración de lactato en sangre capilar en una velocidades determinadas (di Prampero, Pendergast, Wilson y Rennie, 1978; Gullstrand y Holmer, 1980; Mader et al., 1976; Madsen, Olbrecht, Mader, Liesen y Hollmann, 1983; Maglisho, Maglisho y Bishop, 1982; Sharp, 1984; Simon, Thiesmann, Clasing y Frohberger, 1983; Treffene, Craven, Hobbs y Wade, 1979).

Teniendo en cuenta estas consideraciones, es por lo que hemos decidido estudiar la relación de la concentración de lactato en sangre (como factor fisiológico y metabólico del nadador) con los parámetros cinemáticos de frecuencia y longitud de ciclo (como factor de la técnica del nadador). Para ello, se examinarán los efectos de condiciones variables de nado durante el entrenamiento sobre los mencionados factores técnicos, con especial interés en la investigación de los efectos de las distintas intensidades de nado sobre los parámetros cinemáticos y sus interrelaciones. Se ha elegido como forma útil para obtener toda esta información el examen de las características técnicas en condiciones prácticas de entrenamiento. Fueron considerados como parámetros técnicos para describir las características de los tres estilos estudiados (crol, espalda y braza): la velocidad media de nado (v), la frecuencia de ciclo (FC) y la longitud de ciclo (LC). La concentración de lactato en sangre (LAC) en relación con la velocidad de nado se utilizó para definir las categorías de intensidades durante los tests.

1. PARÁMETROS CINEMÁTICOS Y TÉCNICA

Una de las formas más utilizadas de análisis de la técnica deportiva es el denominado *análisis temporal*. Este tipo de análisis divide el tiempo total de un ciclo de movimiento o el tiempo total de una prueba en las fases diferenciadas que lo componen, estableciendo una duración para cada una de ellas (Arellano, 1995; Craig y Pendergast, 1979; Reischle, 1992; Utkin, 1989). El modelo temporal que se establece mediante este análisis se utiliza para evaluar a los nadadores. En el caso de la natación deportiva, el tiempo total de una prueba está determinado por varios factores, entre los que se cuenta como parte fundamental la velocidad de nado (figura 1). La velocidad de nado es función de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo.

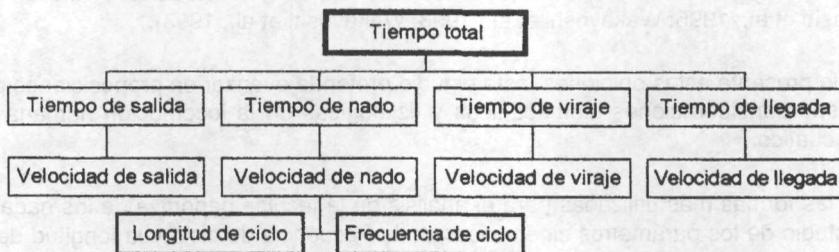


Figura 1. Sistema de análisis temporal de una prueba de natación. Adaptado de Arellano (1995).

La frecuencia de ciclo corresponde al número de ciclos por unidad de tiempo (t). En natación, se considera un ciclo de brazos la acción completa de los brazos en su trayectoria de tracción y de recobro. En los estilos alternativos como el crol y la espalda, el ciclo comprende el recorrido completo de los dos brazos. En los estilos simultáneos como la mariposa y la braza responde a la acción de la brazada y recuperación simultánea de ambos brazos. La unidad de medida de la frecuencia de ciclo que suele emplearse es la de número de *ciclos/segundo (Hz)* o *número de ciclos/minuto*.

La longitud de ciclo interpreta la distancia que recorre el nadador (e) en un ciclo completo de brazos (c). Su unidad de medida es la de *metros por ciclo*.

La velocidad de nado (v), la frecuencia de ciclo (FC) y la longitud de ciclo (LC) responden a las siguientes ecuaciones:

$$v = FC \cdot LC \quad (1)$$

$$FC = c / t \quad (2)$$

$$LC = e / c \quad (3)$$

La velocidad de nado, como producto de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo ha sido estudiada por numerosos investigadores (Alves y Gomes-Pereira, 1993; Arellano, 1995; Cappaert, Pease y Troup, 1995; Chengalur y Brown, 1992; Clarys, Jiskoot, Rijken y Brouwer, 1974; Craig y Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Curry, 1975; East, 1971; Grimston y Hay, 1986; Kennedy et al., 1990; Keskinen y Komi, 1986; Maglischo, 1991; McArdle y Reilly, 1992; Navarro, 1982; Santos Silva, 1995; Ungerecht, 1980; Wakayoshi et al., 1992; Wilke, 1991; Wirtz, Wilke y Zimmermann, 1992). Kennedy *et al.* (1990) encontraron una correlación ($r = -0.76$) entre el tiempo de rendimiento y la longitud de ciclo en las pruebas de 100 metros, concluyendo que la longitud de ciclo era el factor más importante para el éxito en esta prueba. Los hallazgos de Cappaert *et al.* (1995) coinciden en el mismo sentido, indicando que los nadadores más rápidos en la Olimpiada de Barcelona lo eran especialmente por una mayor longitud de ciclo ($p < 0.05$) que por una frecuencia de ciclo más elevada. Las relaciones básicas entre los parámetros cinemáticos durante los esfuerzos progresivos no son muy diferentes de las relaciones observadas en competición (Keskinen y Komi, 1993). Así, la relación entre la velocidad y la frecuencia de ciclo fue positiva y el nivel de rendimiento fue principalmente afectado por los valores de la longitud de ciclo. Una fuerte correlación negativa entre la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo se observó igualmente en el conjunto de los distintos ejercicios escalonados.

De acuerdo con Hay (Hay, 1978), la longitud de ciclo y la frecuencia de ciclo son, de manera general, interdependientes. A medida que un nadador tiende a aumentar su longitud de ciclo, la frecuencia de ciclo tiende a disminuir. De forma similar, cuando un nadador aumenta la frecuencia, la tendencia es a reducir los tiempos propulsivos y esto supone generalmente una reducción en la longitud de ciclo. En consecuencia, un nadador puede aumentar su velocidad por la mejora de alguno de estos dos factores, si se asegura que el otro factor no disminuya de forma paralela.

Aunque la dependencia de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo es muy alta, varios factores pueden influir en sus interrelaciones, Entre ellas están las características antropométricas, las cuales se ha demostrado influyen sobre la frecuencia de ciclo y, de forma más importante en la longitud de ciclo (Clarys et al., 1974; DeGaray, Levine y J., 1994; Grimston y Hay, 1986). La velocidad también puede tener diferentes relaciones entre la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo dependiendo de la capacidad de rendimiento individual en el agua y el nivel de destreza. Se ha encontrado que el aumento de la velocidad de nado está más relacionado con el incremento de la frecuencia de ciclo que con la disminución de la longitud de ciclo, y que esta presenta una mayor variabilidad intra- e inter- individual (Keskinen y Komi, 1988a). Sin embargo, se ha propuesto como hipótesis que la frecuencia de ciclo no puede ser aumentada más allá de un óptimo nivel sin una pérdida de velocidad (Craig y Pendergast, 1979; East, 1971; Navarro, 1982; Reischle, 1992). Más aún, los nadadores con diferentes rendimientos en natación tienen una mayor variabilidad en la longitud de ciclo que en la frecuencia de ciclo en la natación de competición (Craig y Pender-

gast, 1979; Craig et al., 1985). Estas observaciones nos llevan a la asunción de que las complejas interrelaciones entre la frecuencia de ciclo, la longitud de ciclo y la velocidad de nado pueden repercutir en la eficiencia individual de nado así como sobre el metabolismo energético (Costill et al., 1985).

Es difícil dar una definición clara de la relación entre cada uno de los dos parámetros de velocidad de nado debido a que los parámetros son independientes pero, en muchas formas, también relacionados. En términos amplios, se puede decir que la longitud de ciclo está relacionada principalmente con la cantidad de fuerza expresada mientras que la frecuencia de ciclo depende de la capacidad del sistema nervioso central para emitir una serie de estímulos nerviosos en estrecha sucesión, de modo que la fuerza se exprese rápidamente. En rendimientos de velocidad máxima es imposible distinguir claramente el papel de cada parámetro. En efecto, la mayoría de los entrenadores tienden a centrar la atención en el resultado de las dos: la velocidad de nado es solamente la expresión de la fuerza rápida. En un estudio sobre el análisis de la estrategia en competición de los mejores nadadores mundiales (Troup, 1991) se concluye que el mantenimiento de la frecuencia de ciclo a lo largo de la prueba puede indicar el nivel de condición de un nadador en particular, mientras que mantener la longitud de ciclo se relaciona con la eficiencia de la técnica del nadador. La longitud de ciclo puede ser un buen indicador de eficiencia propulsiva y puede ser utilizada para evaluar el progreso individual en la capacidad técnica y un coste energético posiblemente menor (Toussaint y Beek, 1992).

Como se demostró por Craig y Pendergast, la frecuencia de ciclo no es una función lineal de la velocidad: Cuando la frecuencia de ciclo aumenta por encima de un punto óptimo, la velocidad de nado decrece. La razón para esta función no-lineal entre la frecuencia de ciclo y la velocidad de nado es un acortamiento de la longitud de ciclo (Craig y Pendergast, 1979).

Craig et al. (1979) revelaron cómo las relaciones de la frecuencia de ciclo (FC), la longitud de ciclo (LC) y la velocidad de nado (v) pueden ser útiles en el entrenamiento. Las curvas para las relaciones FC- v se obtuvieron de nadadores con diversos niveles de destreza. Se observó que quienes poseían una longitud de ciclo mayor en 20-25 ciclos/minuto tenían una mayor velocidad máxima. También se obtuvo una correlación positiva entre el grado de acortamiento de la longitud de ciclo y la velocidad máxima. Estas dos observaciones sugieren que el entrenamiento para la natación de competición debería probablemente incluir un tiempo considerable de práctica en nado con una frecuencia de ciclo lenta (20-30 ciclos/minuto) para lograr una longitud de ciclo más amplia. Si el nadador no tiene una longitud de ciclo amplia en bajas velocidades de nado, existe una menor oportunidad para el acortamiento y una dependencia mayor de la frecuencia de ciclo para nadar más rápido. Los datos de los nadadores se presentaron antes y después de los cambios en sus patrones de brazada. Se demostró que los nadadores pueden aumentar su nivel de rendimiento por aumento de sus longitudes de ciclo.

Con la intención de estudiar las relaciones entre la velocidad de nado, la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo en el estilo braza y determinar si la velocidad de nado aumentaba por un incremento de la frecuencia de ciclo inducido por el entrenamiento de braza, un grupo de 168 sujetos desentrenados (edad 15-16 años, 168 ± 24 cm de altura, 57 ± 6.9 Kg. de peso) tomaron parte en lecciones de natación durante tres días por semana durante un

periodo de seis meses (Saito, 1982). Se encontró que la velocidad y la longitud de ciclo aumentaron significativamente con el entrenamiento. La frecuencia de ciclo disminuyó ligeramente, pero los resultados no fueron estadísticamente significativos. Hubo una cierta correlación entre la velocidad y la longitud de ciclo antes y después del entrenamiento pero no entre la velocidad y la frecuencia de ciclo.

En un estudio realizado por Klentrou con nadadores de estilo libre se observó que la frecuencia de ciclo estaba significativamente relacionada con la velocidad teniendo un porcentaje de varianza residual compartida del 88% (Klentrou y Montpetit, 1991). Asimismo, en otro estudio se observó que la frecuencia de ciclo era un mejor indicador de la técnica de natación que la longitud de ciclo debido a que explicaba una mayor parte de variabilidad en el rendimiento de natación (Chatard, Collomp, Maglisco y Maglisco, 1990). En este mismo estudio se demostró la importancia de la técnica de brazada sobre el coste de energía durante la natación competitiva.

2. LA INTENSIDAD DE NADO Y LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO

Las medidas de lactato en sangre capilar son esenciales para determinar la capacidad de resistencia y para evaluar diferentes procedimientos de entrenamiento encaminados a mejorar el rendimiento en determinados deportes, especialmente en natación.

Los términos lactato y ácido láctico se emplean casi sinónimamente (Brooks, 1985). El ácido láctico es un producto intermedio en el metabolismo de la glucosa (López Chicharro y Legido Arce, 1991).

Durante la actividad muscular se produce una elevación de la concentración de lactato como resultado del aumento de la producción de lactato en las células musculares (Karls-son y Jacobs, 1982). La utilización de tests de campo con esfuerzos progresivos donde se observan los cambios en la concentración de lactato en la sangre se han extendido de forma considerable en los últimos años (Terrados, 1991). De este modo, ha llegado a ser usual dibujar las denominadas "curvas del perfil de lactato" basadas en dos (Olbrecht, Madsen, Mader, Liesen y Holmann, 1985; Prins, Merritt y Lally, 1988) o más ensayos sobre una distancia fija (Gulstrand y Holmer, 1983; Keskinen, Komi y Rusko, 1989; Madsen y Lohberg, 1987; Simon et al., 1983). Así pues, se han aplicado diversos métodos sobre la base de las medidas de la velocidad de nado y la concentración de lactato.

Numerosos estudios aproximan la relación entre la concentración de lactato y la velocidad a una función exponencial (Borch, Ingjer, Larsen y Tomten, 1993; Braumann, Busse y Maassen, 1987; Jacobs, 1986; Keskinen et al., 1989; Madsen y Lohberg, 1987; Maglisco, 1986; Maglisco, 1993; Navarro, 1990; Sharp, 1984; Simon y Thiesmann, 1986; Simon et al., 1983; Stegmann, Kindermann y Schnabel, 1981). Las curvas de velocidad-lactato han sido utilizadas para predecir un tiempo teórico de rendimiento y también para caracterizar distintas pautas de entrenamiento (Lavoie, Leger, Leone y Provencher, 1985; Madsen y Lohberg, 1987; Sharp, 1984), debido a que el entrenamiento reduce los niveles de lactato a una velocidad dada. Keskinen (1989) ha sugerido que la curva de velocidad-lactato puede diferir con cada estilo.

El perfil de curva de lactato en los capilares sanguíneos es una importante herramienta para la evaluación de la capacidad de resistencia en deportistas y para la asistencia al control del entrenamiento. Numerosos estudios corroboran estas afirmaciones (Bishop, Smith, Kime, Mayo y Tin, 1992; Coen, Schwarz, Urhausen y Kindermann, 1991; Farrell, Wilmore, Coyle, Billing y Costill, 1979; Fohrenbach, Mader y Hollmann, 1987; Foxdal, Sjödin, Östman y Sjödin, 1991; Foxdal, Sjödin, Sjödin y Östman, 1994; Hagberg y Coyle, 1983; Harris y Dudley, 1989; Heck et al., 1985; Jacobs, 1986; Olbrecht et al., 1985; Sjödin y Jacobs, 1981; Steinacker, 1993; Williams, Armstrong y Kirby, 1992; Yoshida, Takeuchi y Suda, 1982).

La representación gráfica de la velocidad del ejercicio (por ejemplo, carrera, natación, ciclismo, patinaje, etc.) frente a la concentración de lactato en sangre permite la determinación de un índice de capacidad de resistencia, si bien existen una amplia variedad de criterios para diagnosticar el nivel de resistencia (Farrell et al., 1979; Foxdal, 1993; Heck et al., 1985; Jacobs, 1986; LaFontaine, Londeree y Spath, 1981; Stegmann y Kinderman, 1982). Se ha observado que el rendimiento de resistencia tiene una correlación baja con el consumo máximo de oxígeno (Costill, G. y Sparks, 1971; Costill, Thomason y Roberts, 1973) y alta con el lactato (Jacobs, 1981; Jacobs, 1986; Jacobs, Sjödin, Kaiser y Karlsson, 1981; Mayes, Hardman y Williams, 1987). Más aún, una estrecha relación ha sido encontrada entre la aparición de la concentración de lactato y el rendimiento de resistencia (Karlsson, Holingren, Linnarson y Astrom, 1984; Tanaka y Matsuura, 1984).

Desde 1927 (Douglas, 1927) se reconoce que el lactato aumenta en la sangre solamente por encima de un cierto nivel de esfuerzo. Debe notarse que la acumulación de lactato en sangre es el resultado combinado de (1) la producción de lactato en los músculos y (2) la difusión del lactato desde los músculos a la sangre. De este modo, la cantidad de lactato medida en una muestra de sangre puede reflejar el balance entre a producción y la eliminación de lactato, por lo que los valores de lactato sanguíneos deben ser tenidos en cuenta e interpretados con precaución debido a que pueden darse muchas interpretaciones probables.

No obstante, cuando los nadadores son requeridos para ejecutar un nado estándar en una intensidad relativamente elevada (aproximadamente al 80 - 100% de VO_2 max), el lactato en la sangre es un indicador razonable de estrés de nado y puede ser utilizado como un índice de la adaptación al entrenamiento (Costill, 1992). Cuando se requiere realizar un nado de 200 o 400 metros a una velocidad determinada, los nadadores muestran una clara tendencia a declinar en sus niveles de lactato en sangre post-ejercicio durante las 6 a 10 semanas de entrenamiento. Cuando se supera este tiempo, al igual que ocurre con el VO_2 max, se produce sólo una pequeña mejora adicional, a pesar de semanas y meses de intensos entrenamientos adicionales. De este modo, tales tests son más útiles durante el periodo temprano de adaptación (Costill, 1992).

Diversos estudios (Belcastro y Bonen, 1975; Gollnick, Blayly y Hodgson, 1986; Hermansen y Stenvold, 1972; Madsen y Lohberg, 1987; McLellan y Jacobs, 1989) han concluido que la presencia de ácido láctico en el sistema del músculo esquelético dificulta el rendimiento de los deportistas en competición y, en consecuencia, afecta a la velocidad. El ácido láctico inhibe la movilización de ácidos grasos libres y retarda el ritmo de la glucólisis por inhibición de enzimas como la lactatodeshidrogenasa y la fosfofructoquinasa (Neuman, 1990; Neuman, 1991). El ácido láctico parece ser una de las causas de la fatiga muscular, por

disminución del pH del músculo, haciendo perder eficacia en su contracción (Bigard y Guézennec, 1993). La excesiva acumulación de ácido láctico en los músculos causa una disminución de la velocidad del nadador (Maglisho et al., 1982).

Una de las aplicaciones más interesantes de la relación lactato-velocidad consiste en la posibilidad de determinar unas zonas de intensidades definidas que permitan establecer pautas de entrenamiento individualizadas para cada nadador. Con el fin de definir especialmente las zonas de intensidad con predominio aeróbico o anaeróbico, se han utilizado diversos conceptos. Uno de ellos ha sido el concepto de carga máxima de trabajo en equilibrio estable (CMTEQ). El CMTEQ se define como la intensidad de carga de trabajo constante más elevada posible sin incurrir en progresivos aumentos de la concentración de lactato sanguíneo. La CMTEQ se alcanza cuando la liberación del lactato desde los músculos a la sangre se iguala al ritmo máximo de eliminación de lactato en esta (Borch et al., 1993). Las estimaciones de esta intensidad, a menudo referidos como "umbral anaeróbico" (Mader et al., 1976; Sjödín y Jacobs, 1981; Stegmann y Kinderman, 1982), se han considerado como parámetros importantes para la predicción del rendimiento aeróbico (Jacobs, 1986; Jones y Ehrsam, 1982; Sjödín, Jacobs y Svedenhag, 1982). El concepto de umbral anaeróbico, también se ha utilizado para señalar el predominio de la glucólisis anaeróbica (Douglas, 1927; Kinderman, Simon y Keul, 1979; Stainsby, 1986; Wasserman et al., 1985; Wasserman, Beaver y Whipp, 1986; Wasserman y McIlroy, 1967; Wasserman, Whipp, Koyal y Beave, 1973). En un artículo de revisión de Jones y Ehrsam (1982) se sintetizan los diversos intentos que se han hechos para estimar el umbral anaeróbico por medio de valores de lactato a través de tests de esfuerzos escalonados.

Mader et al. (1976) y Sjödín et al (1982) predijeron el umbral anaeróbico o la aparición de la acumulación de lactato en sangre. Ambas son estimaciones de la CMTEQ en un concentración de lactato fija de 4 mM/l. Sin embargo, otros estudios han señalado que el uso de 4 mM/l tiende a sobrestimar la CMTEQ en atletas entrenados de resistencia (Stegmann y Kinderman, 1982), recomendando modelos alternativos para la predicción (Jones y Ehrsam, 1982). Se han hecho intentos para describir los patrones de lactato matemáticamente (Beaver, K. y Whipp, 1985; Hermansen y Stenvold, 1972; Hughson, Weisinger y Swanson, 1987; Keul, Simon, Dickhuth, Goertler y Kubler, 1979) con el deseo de lograr un fundamento más objetivo para las estimaciones. Se han elaborado las funciones matemáticas ajustadas como polinómicas (Keul et al., 1979), las funciones exponenciales (Hughson et al., 1987), las transformaciones log-log (Beaver et al., 1985) y los gradientes de curvas ascendentes (Keul et al., 1979), pero la controversia todavía permanece. Una muestra de la gran variedad de protocolos utilizados para la determinación del umbral anaeróbico se pueden ver en algunas buenas revisiones de Faina y Sardella (1986), Santiesteban (1994), Terrados (1991), Villanueva (1994) y Weltman (1995).

La intensidad del ejercicio que algunos consideran que corresponde con una acumulación de lactato de 4 mM/l presenta una alta correlación con importantes características de la célula muscular tales como la existencia de fibras musculares de contracción lenta, la densidad de los capilares dentro del músculo y las actividades de los enzimas musculares que son cruciales para la obtención de energía por las distintas vías metabólicas (Jacobs, 1983; Jacobs, 1986; Sjödín y Jacobs, 1981; Sjödín, Jacobs y Svedenhag, 1981). La fuerte relación entre variables asociadas del rendimiento de resistencia y el lactato sanguíneo pueden atribuirse a que no es solo la capacidad funcional del sistema circulatorio central (por ejem-

plo, gasto cardíaco, volumen respiratorio) para transportar oxígeno a los músculos ejercitados sino también la capacidad periférica de la musculatura para utilizar este oxígeno (reflejada por algunas de las características enunciadas anteriormente), las que pueden afectar a la concentración de lactato en sangre.

Considerando que la información metabólica derivada de la curva de perfil de lactato sanguíneo juega un importante papel en el control del proceso de entrenamiento, es de gran importancia indagar sobre los factores técnicos que puedan revelar por sí mismos las fuentes de variación concernientes a la acumulación de lactato y el rendimiento.

3. PARÁMETROS CINEMÁTICOS Y CONCENTRACIÓN DE LACTATO

La demanda de energía (E) en natación depende de la eficiencia ($eff.$), la resistencia del cuerpo (d_b) y la velocidad (v). Por tanto, E es función de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo. El suministro de energía total es la suma del metabolismo aeróbico (VO_2) y el metabolismo anaeróbico (la glucólisis conduce a la producción de lactato y la degradación de los fosfatos, especialmente el fosfato de creatina (CP). Cuando la natación dura más de 20 segundos por debajo de las condiciones de estado estable, el CP es constante. En velocidades bajas, el lactato producido puede ser eliminado y la concentración de lactato permanece constante, pero en altas velocidades por encima del 70-80% del VO_2 max, el lactato en sangre se acumula como una función de la frecuencia y la longitud de ciclo (Weiss et al., 1988). Más aún, la eficiencia durante un trabajo constante depende de la frecuencia en movimientos cíclicos. Esto ha sido comprobado en cicloergómetros (Gorostiaga, 1984; Stegeman, Ulmer y Heinrich, 1968), remo (Raatz y Krause, 1977) y carrera (Cavanagh, 1990; Cavanagh y Williams, 1982)

Existen algunos estudios que demuestran que las variaciones de frecuencia de ciclo producen variaciones en la concentración de lactato en sangre. En un ejercicio de pedaleo con los brazos de carácter aeróbico en un equipo isocinético (165 \pm 18 vatios) con una duración de 6 minutos, se observó que cuando la frecuencia de ciclo aumentaba por encima de aproximadamente el 10% de la frecuencia de ciclo natural, la concentración de lactato se incrementaba significativamente ($p < 0.01$) (Pelayo et al., 1994). Estos datos concuerdan con los de Hagan et al. (1992).

Otro estudio reciente en natación confirma lo anterior (Pelayo, Sidney, Weissland, Carpentier y Kherif, 1995). Después de determinar la velocidad máxima aeróbica (VMA) del nadador a través del test de Lavoie (1985) y las frecuencias de nado medidas en cada escalón utilizando un frecuencímetro (Seiko, base 3), cada nadador nadó una serie de 200, 150 y 100 metros en estilo libre con salida cada 6 minutos a una velocidad constante sobre el 90%, 100% y 105% de la VMA con tres intentos en cada una de ellas. Durante el primero, los sujetos nadaron libremente (frecuencias de ciclo espontáneas, FCE). En los otros dos intentos, la frecuencia de ciclo fue impuesta a $\pm 10\%$ (FCE + 10%, FCE -10%) de la frecuencia de nado observada en el primer intento gracias a un metrónomo situado en el gorro del nadador. En cada uno de los intentos se determinó la concentración de lactato tras el esfuerzo. Los resultados demostraron que los aumentos y disminuciones de la frecuencia de ciclo sobre la frecuencia de ciclo natural a una velocidad determinada producían incrementos en la concentración de lactato en sangre (Pelayo et al., 1995). Como conse-

cuencia de la relación entre estos datos y los de otros estudios se ha afirmado que la eficiencia durante un trabajo constante depende de la frecuencia en todos los movimientos cíclicos (Keskinen y Komi, 1988a; Pelayo et al., 1995; Pelayo et al., 1994; Swaine y Reilly, 1983; Weiss et al., 1988).

Se ha sugerido que el grado de metabolismo anaeróbico láctico puede determinar las características técnicas mientras se nada. La reducción de la longitud de ciclo por encima del umbral de lactato podría estar conectada con la acumulación de lactato sanguíneo, mientras que la frecuencia de ciclo podría estar determinada principalmente para mantener una adecuada activación neural (Keskinen y Komi, 1993).

También se ha demostrado que durante ejercicios utilizando protocolos incrementales en diferentes distancias de natación, la combinación de frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo en la producción de la velocidad cambia con el aumento de la intensidad de nado (Keskinen y Komi, 1988b). La frecuencia de ciclo aumentó con el incremento de la velocidad con solo pequeñas diferencias entre las curvas en distancias de 100 metros y 300 metros. Por otro lado, la longitud de ciclo disminuyó cuando la velocidad aumentaba por encima del umbral de lactato. Los valores absolutos de longitud de ciclo a una velocidad determinada fue dependiente de la distancia, teniendo los valores más cortos cuando la distancia era más larga.

4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El tema objeto de esta investigación se centra en el estudio de la relación entre la concentración de lactato en sangre, como indicador de la intensidad de nado, y determinados parámetros cinemáticos de la técnica de natación.

La evidencia de los datos sugiere que para un determinado individuo y para una velocidad de nado determinada puede existir una frecuencia y longitud de ciclo de ciclo óptima, si bien las razones que justifican estas relaciones óptimas no están todavía suficientemente claras. Este estudio pretende producir un método más accesible de análisis que (1) interprete más objetivamente el rendimiento del nadador, (2) ofrezca una mejor valoración total del estado técnico y físico del nadador, y (3) responda a las adaptaciones del entrenamiento.

Esta investigación está basada en el desarrollo de dos experimentos. El experimento I se diseñó para analizar el comportamiento básico de los parámetros cinemáticos (frecuencia y longitud de ciclo) y la concentración de lactato en relación con la velocidad. El experimento II se diseñó para analizar la influencia de los parámetros cinemáticos sobre la concentración de lactato en los distintos tests.

Así pues, los objetivos de la investigación se pueden resumir en los siguientes puntos:

- I. Determinar la caracterización de los nadadores según sus parámetros cinemáticos (frecuencia de ciclo y longitud de ciclo), la velocidad de nado y la concentración de lactato.
- II. Analizar en que medida afectan las variaciones de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo sobre la concentración de lactato.

- A. Analizar los cambios de la frecuencia de ciclo, la longitud de ciclo y la velocidad de nado cuando se modifican las distancias de nado.
- B. Analizar los cambios de la frecuencia de ciclo, la longitud de ciclo y la velocidad de nado en los distintos estilos de natación.

5. MATERIAL Y METODOS

5.1. MATERIAL BIOLÓGICO (NADADORES)

La muestra total la integraron 101 nadadores de competición, altamente entrenados de nivel nacional e internacional con un nivel de experiencia en el entrenamiento superior a los cinco años y con un promedio de nueve sesiones semanales de entrenamiento y de una duración de 120 minutos cada una de ellas.

Las edades de los nadadores estuvieron comprendidas entre los 15 y 23 años.

5.2. MATERIAL INSTRUMENTAL

5.2.1. Controlador de velocidades: Se utilizó el modelo "Pacer", compuesto por un juego de luces que permite que sea instalado en el fondo de la piscina para una mejor visión de los crolistas y bracistas, o junto a la corchera para los espaldistas, y un ordenador que permite al investigador ir aumentando las velocidades conforme van sucediéndose los distintos escalones de esfuerzo.

5.2.2. Frecuencímetro. Se utilizó el modelo marca SEIKO, de base 3, que permite obtener el registro directo de la frecuencia de ciclo en número de ciclos por minuto mediante el control del tiempo en recorrer tres ciclos de brazos.

5.2.3. Analizador de lactato. El lactato sanguíneo fue analizado según el método electroenzimático con membrana (YSI, modelo 23, Yellow Springs Instruments, Yellow Springs). Este aparato ha sido validado frente a otros métodos y se ha encontrado suficientemente preciso (Bishop et al., 1992; Rodríguez, Banquells, Pons, Drobnic y Galilea, 1991; Weil, Leavy, Rackow, Halfman y Bruno, 1986; Wilkinson, 1994).

5.3. CONDICIONES PREVIAS A LOS TESTS

5.3.1. Alimentación. Se dieron instrucciones para que todos los nadadores llevaran a cabo la misma alimentación durante el tiempo que duraran las evaluaciones, tratando que fuera rica en hidratos de carbono (65%), baja en grasas (20%) y suficiente en proteínas (15%).

5.3.2. Entrenamientos previos. Dada las condiciones de exigencia del entrenamiento de los deportistas de élite, el cual no debe ser especialmente interrumpido, la ejecución de los test fue coordinada con sus entrenamientos. De acuerdo con estas consideraciones, las sesiones de entrenamiento que coincidieron con el periodo preparatorio, y no con el perio-

do competitivo, se consideraron como las más oportunas para llevar a cabo los tests. El día anterior al test se permitió entrenar con solo natación ligera y aeróbica y con ningún tipo de entrenamiento de fuerza, atendiendo a que la fatiga puede afectar a la producción de lactato (Fric et al., 1988) y evitar una depleción de glucógeno que pudiese afectar a la interpretación de la curva de lactato (Braumann, Maassen y Busse, 1988; Ivy, Costill, Van Handel, Essig y Lower, 1981; Yoshida, 1984).

5.3.3. Condiciones ambientales. Los tests se llevaron a cabo estandarizando las condiciones de horario (entre las 16:00 y 18:00 horas), la temperatura ambiental (26^o-27^oC) y del agua (24^o-26^oC).

Los datos se obtuvieron en piscinas cubiertas climatizadas de 25 metros con una temperatura estándar de 26-27^oC. Se evitó la toma de datos en piscinas de distintas dimensiones con el fin de que los datos obtenidos pudieran verse afectados por la distinta longitud de la piscina (Lowensteyn, Perry, Nash y Salhanick, 1994). Las curvas de velocidad-lactato muestran valores de la concentración de lactato en la sangre significativamente más altos ($p < .05$) para las piscinas de 50 metros de longitud cuando se compararan con las de 25 metros en cada nivel de velocidad en un test progresivo si bien en la frecuencia de ciclo no se observan diferencias significativas (Keskinen, Keskinen y Mero, 1994).

5.3.4. Calentamiento. Los nadadores efectuaron un calentamiento previo a la realización del test de aproximadamente 20 minutos, combinando nado continuo de muy baja intensidad con series cortas fraccionadas de intensidad moderada, lo cual supuso un volumen aproximado entre 1000 y 1500 metros.

5.4. MEDIDAS

5.4.1. Medida de parámetros cinemáticos. Los parámetros cinemáticos que se controlaron fueron la velocidad media de nado, la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo. Los valores medidos representan la media de una determinada distancia (200, 300 y 400 metros) según el protocolo realizado.

5.4.1.1. Velocidad media de nado (v): Viene prefijada por la velocidad previamente programada por el controlador de velocidades y que el nadador sigue a través de la señal luminosa que emite el aparato. No se permitió ninguna salida desde el poyete con el fin de evitar una velocidad adicional en la primera parte de cada escalón. La velocidad se midió en metros/segundo.

5.4.1.2. Frecuencia de ciclo media (FC): Se calculó de forma directa por medio de un frecuencímetro de base 3, marca SEIKO, que permite obtener el registro de la frecuencia de ciclo a través del registro del tiempo en recorrer tres ciclos de brazos. La toma se hizo en la parte central del segundo tramo de cada 50 metros, calculándose posteriormente la media de la frecuencia de ciclo de los distintos tramos correspondientes a cada escalón. La frecuencia de ciclo se midió en n^o ciclos/minuto y posteriormente se convirtió a ciclos/segundo para los análisis estadísticos y representaciones gráficas.

5.4.1.3. Longitud de ciclo (LC): La LC (m/ciclo) fue calculada dividiendo la velocidad de nado (v) por la frecuencia de ciclo (FC) para cada distancia ($LC = v/FC$).

5.4.2. Medición de la concentración de lactato. La medición de la concentración de lactato en sangre se llevó a cabo a través de la extracción de 25 microlitros de sangre capilar arterializada mediante punción en el dedo con una lanceta AUTOCLIX de la firma Boehringer Mannheim inmediatamente después de cada tramo submáximo, y al 1, 3, 5, 7 y 9 minutos siguientes al nado máximo, según la metodología propuesta por Wakayoshi (1995). El pico de concentración de lactato para el esfuerzo de velocidad máxima fue representado por el valor de lactato más elevado obtenido de las muestras post-esfuerzo. La muestra fue conservada en tubos con conservante y en frío hasta el momento del análisis. El lactato sanguíneo fue analizado según el método enzimático con membrana (YSI, modelo 23, Yellow Springs Instruments, Yellow Springs), y calibrado después de cada 4 muestras analizadas con una concentración standard de lactato.

5.5. PROTOCOLOS

En natación se han utilizado habitualmente protocolos basados en 4 ó 5 escalones de períodos incrementales de esfuerzo de 1-10 minutos de esfuerzo (Allen, Seals, Hurley, Ehsani y Hagberg, 1985; Billat, Dalmay, Antonini y Chassain, 1994; Foxdal et al., 1994; Harrison, Dawson, Lawrence y Blanksby, 1992; Hurley et al., 1984; Mader et al., 1976; Maglisho et al., 1982; McLellan, 1985; Sjödin y Jacobs, 1981; Tanaka et al., 1984). Weltman *et al.*(1990) concluyeron recientemente que la utilización de un protocolo basado en duraciones de 3 minutos resultaban determinaciones válidas del umbral anaeróbico.

Basándonos en estos datos se realizaron tres protocolos diferentes consistentes en tests progresivos con diferentes distancias. Las distancias elegidas fueron los 200, 300 y 400 metros.

- *Protocolo A.* En el test progresivo sobre la distancia de 200 metros, se realizaron 5 escalones con velocidades crecientes, partiendo del 80-85% del mejor tiempo personal de cada nadador en dicha distancia realizado una semana antes del test.
- *Protocolo B.* En el test progresivo sobre la distancia de 300 metros, se realizaron 6 escalones con velocidades crecientes, partiendo del 80-85% del mejor tiempo personal de cada nadador en dicha distancia realizado una semana antes del test. El protocolo de 6 x 300m responde a las instrucciones de Simon et al. (1983), y el número de repeticiones, tiempos de cada escalón y aumentos de velocidad durante el test fueron seleccionados de acuerdo a sus sugerencias.
- *Protocolo C.* En el test progresivo sobre la distancia de 400 metros, se realizaron 4 escalones con velocidades crecientes, partiendo del 80-85% del mejor tiempo personal de cada nadador en dicha distancia realizado una semana antes del test.

En cada uno de los tests progresivos se respetaron las siguientes indicaciones:

- Descanso entre cada escalón: Entre 45 segundos y 1 minuto.
- Se tomaron muestras de lactato basal, inmediatamente después de finalizar cada escalón y a los minutos 1, 3, 5 y 7 del último escalón.

- La velocidad se fijó mediante el señalizador luminoso, que facilita que el nadador vaya a la velocidad predeterminada. Los nadadores fueron instruidos para mantener un ritmo uniforme durante cada escalón y aumentar la velocidad siguiendo la señal luminosa previamente programada para determinar la velocidad individual de cada nadador.
- La salida para nadar cada escalón (distancia) se realizó en todas las ocasiones con impulso desde el borde de la piscina, evitando la salida de competición.
- Un resumen de la organización y desarrollo de los tres protocolos se observa en la figura 2.

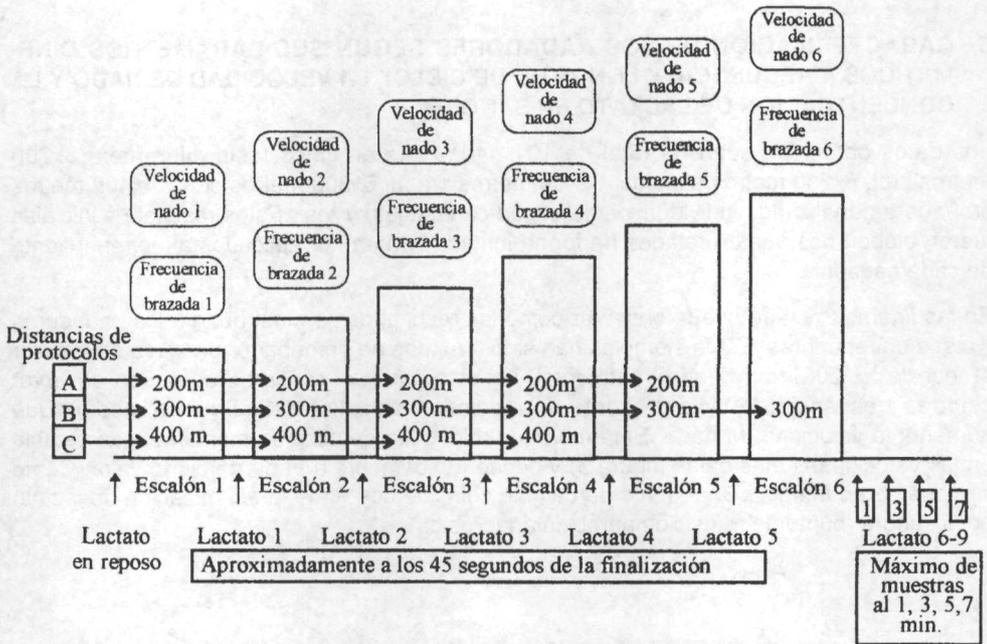


Figura 2. Resumen de la organización de las mediciones durante los experimentos.

El experimento I se diseñó para analizar el comportamiento básico de los parámetros cinemáticos (frecuencia y longitud de ciclo) y la concentración de lactato en relación con la velocidad. Para ello se estudiaron individualmente dichas relaciones y se valoraron los patrones característicos de comportamientos técnicos en cada uno de ellos.

El experimento II se diseñó para analizar la influencia de los parámetros cinemáticos sobre la concentración de lactato en los distintos tests. Para ello se utilizaron los datos obtenidos de los nadadores en las variables sujetas a estudio en los protocolos A (5x200 metros) en los estilos de crol, espalda y braza y los protocolos B y C en el estilo de crol.

5.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

5.6.1. Análisis de datos. Para el experimento I se tomaron los valores de las variables de frecuencia de ciclo, longitud de ciclo, velocidad de nado y concentración de lactato para

cada uno los nadadores y se estudiaron sus características de comportamiento técnico mediante el análisis de sus curvas.

Para el experimento II se reunieron en cada test, los valores de las variables de cada nadador, con el fin de contrastar su relación a través de un análisis de regresión múltiple.

5.6.2. Análisis estadístico. Los diversos cálculos estadísticos se llevaron a cabo con la ayuda del paquete informático SPSSWIN v.6.0.

El análisis de regresión múltiple fue aplicado sobre la concentración de lactato, en función logarítmica, como variable dependiente y la frecuencia de ciclo, la longitud de ciclo, la velocidad de nado, el sexo y la edad como variables independientes para el experimento II.

6. CARACTERIZACIÓN DE LOS NADADORES SEGÚN SUS PARÁMETROS CINEMÁTICOS (FRECUENCIA Y LONGITUD DE CICLO), LA VELOCIDAD DE NADO Y LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO EN SANGRE

Los datos obtenidos sobre el total de 101 nadadores en cinco tests diferentes (5x200 metros crol, 5x200 metros espalda, 5x200 metros braza, 6x300 metros crol y 4x400 metros crol) fueron analizados individualmente según cada sujeto y test. Estos resultados iniciales fueron elaborados e interpretados de forma inmediata para ser aplicados al entrenamiento de cada nadador.

En las figuras 3 y 4 se puede observar cómo los resultados se mostraban a los nadadores y a sus entrenadores. Estos ejemplos han sido tomados de un nadador después de realizar el test de 5x 200 metros en el estilo crol. En este caso en concreto, se puede observar como la frecuencia de ciclo presenta un crecimiento continuo (figura 3) a medida que aumenta la velocidad de nado. Sin embargo, la longitud de ciclo se mantiene más estable en las velocidades más bajas (figura 3) y decae rápidamente a partir de cierto valor. Como se observa en la figura 3, el punto de cambio coincide con el de la acumulación de lactato en la sangre (punto de transición aeróbica/anaeróbica).

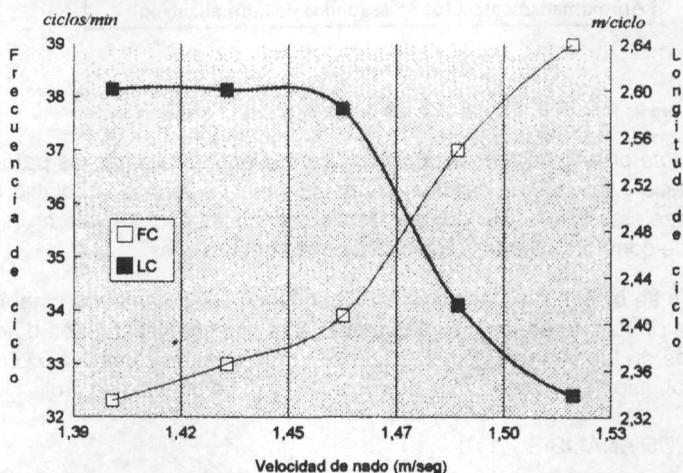


Figura 3. Ejemplo de comportamiento de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo en relación con la velocidad de nado en el test de 5x200 metros crol en un nadador (Modelo A)

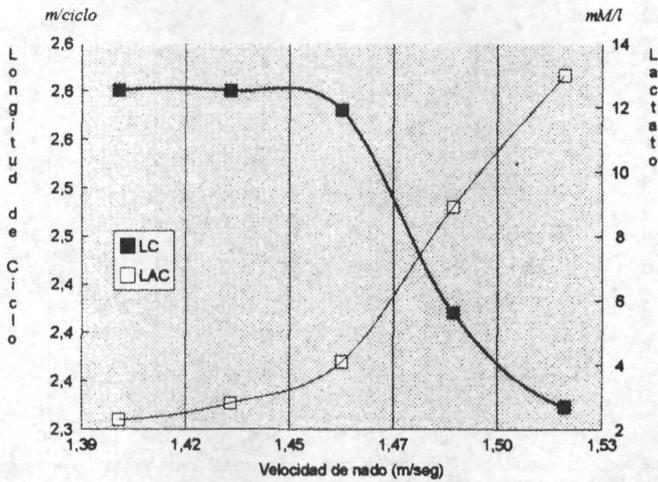


Figura 4. Ejemplo de comportamiento de la longitud de ciclo y la concentración de lactato en sangre en relación con la velocidad de nado en el test de 5x200 m. crol en un nadador (Modelo A)

En el estudio de la totalidad de los nadadores estudiados (N = 101) se observó como la longitud de ciclo sirve para la caracterización de dos modelos. El primero, al cual denominaremos a partir de este momento "modelo A", corresponde al mismo que se da en el nadador que hemos citado como ejemplo en las figuras 3 y 4, es decir, una estabilización de la longitud de ciclo en los primeros niveles de menor velocidad de nado y una destacada disminución a partir del comienzo de una clara acumulación de lactato en sangre. En el segundo modelo, a partir de ahora "modelo B", se produce una continua disminución de la longitud de ciclo, más lentamente en los primeros niveles de velocidad más baja y mucho más rápida en el momento en que el metabolismo anaeróbico empieza a ser más determinante para la producción de más altas velocidades (figura 5 y figura 6).

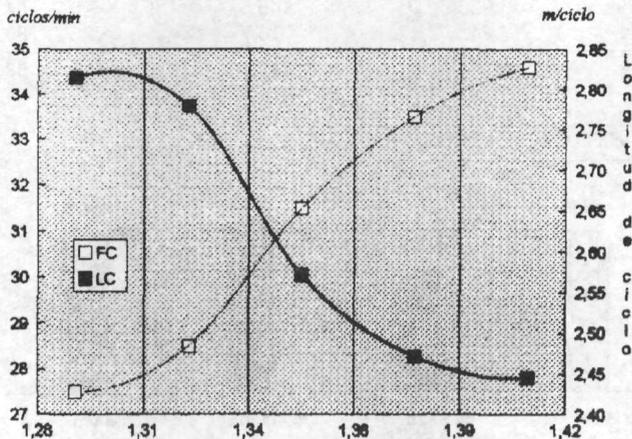


Figura 5. Ejemplo de comportamiento de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo en relación con la velocidad de nado en el test de 5x200 metros crol en una nadadora (Modelo B)

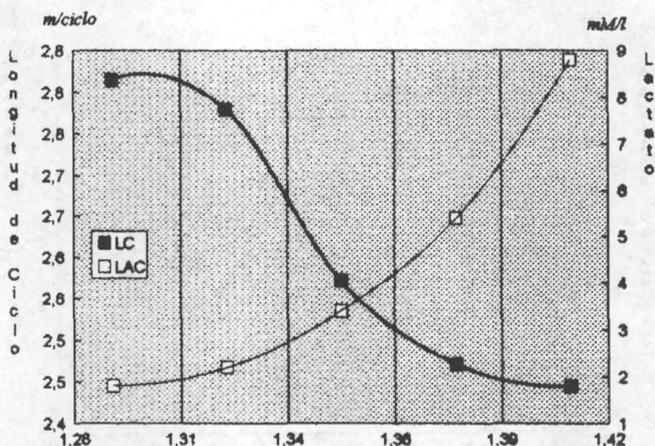


Figura 6. Ejemplo de comportamiento de la longitud de ciclo y la concentración de lactato en relación con la velocidad de nado en el test de 5x200 metros crol en una nadadora (Modelo B).

Cada nadador puede ser caracterizado por alguno de los dos modelos (Modelos A y B). El modelo B fue utilizado por un 58% de los nadadores y el modelo A por un 42% (Tabla 4.1). En todos los tests estudiados, excepto en el 6x300 m. crol, se detectó una mayor utilización del modelo B en relación con el modelo A, destacando especialmente el 83,3% del utilización del modelo B en los nadadores que realizaron el test de 5x200 metros braza (Tabla 1 y figura 7).

Tabla 1.- Porcentaje de utilización de los dos modelos de comportamiento técnico en distintos tests.

Tests	Nº sujetos	Modelo A (%)	Modelo B (%)
5x200 m. crol	22	45,5	54,5
6x300 m. crol	17	58,8	41,2
4x400 m crol	16	43,8	56,3
5x200 m espalda	22	45,5	54,5
5 x 200 m braza	24	16,7	83,3
Promedio		42,0	58,0

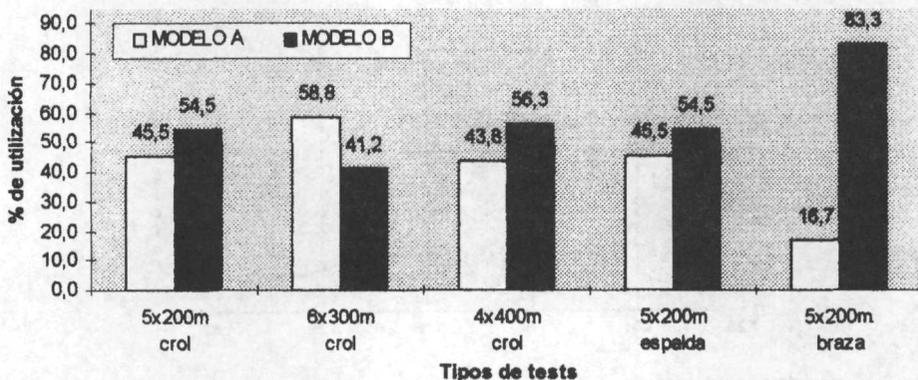


Figura 7. Distribución porcentual de la utilización de los dos modelos de comportamiento técnico en los distintos tests.

7. MODELO EMPÍRICO EXPLICATIVO DE LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO EN SANGRE PARA LOS DISTINTOS TESTS

Para estudiar el efecto de la frecuencia de ciclo (FC), longitud de ciclo (LC) y velocidad de nado ($v = LC \times FC$) en la concentración de lactato en sangre (LA) se construyó un modelo de regresión múltiple de forma empírica, con esta última variable como variable respuesta o dependiente. Para tener una estimación más precisa e insesgada de los efectos anteriores se incluyeron en el modelo variables características de los nadadores como son la edad y sexo. Esta inclusión permite además detectar la influencia de las interacciones de las variables edad y sexo con los parámetros cinemáticos en la concentración de lactato.

Las hipótesis básicas del modelo de regresión múltiple implica la distribución normal de los errores y que la varianza sea constante (homocedasticidad). Atendiendo a estos requisitos se determinó la transformación logarítmica de la variable respuesta. Una explicación detallada de la construcción de estos modelos con base empírica se puede encontrar en los libros de Pedhazur (1982) y Peña (1987).

El modelo que explicaba mejor la variabilidad de la variable respuesta en relación a las variables explicativas mencionadas es el siguiente:

$$\log LA = \beta_0 + \beta_1 FC + \beta_2 LC + \beta_{12}(FC \times LC) + \beta_3 SEX + \beta_{31}(SEX \times FC) + \beta_{32}(SEX \times LC) + \beta_{33}(SEX \times (FC \times LC)) + \beta_4 ED + u$$

Donde :

- FC es la frecuencia de ciclo medida en ciclos por segundo.
- LC es la longitud de ciclo medida en metros por ciclo.
- SEX es el sexo del nadador, toma el valor 0 si es hombre y 1 si es mujer.
- ED es la edad del nadador en años.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_{12}, \beta_3, \beta_{31}, \beta_{32}, \beta_{33}$, y β_4 son los parámetros desconocidos del modelo y que se estiman a partir de los datos.

u representa la parte aleatoria o parte de la variable dependiente no explicada por el modelo. Según el modelo general de regresión tiene distribución normal de media cero y varianza σ^2 , constante para todas las observaciones. Es también un parámetro desconocido del modelo.

La interpretación de los parámetros es la siguiente :

- β_1 mide el efecto (lineal) de la frecuencia de ciclo en la concentración de lactato. Como ésta está medida en logaritmos, se interpreta como sigue: un aumento de una unidad en la frecuencia de ciclo implica un aumento del β_1 por ciento en la concentración de lactato. Para una interpretación más completa se debe tener en cuenta los parámetros β_{12}, β_{31} , y β_{33} .

- β_2 mide el efecto de la longitud de ciclo en la concentración de lactato. Tiene la misma interpretación que β_1 .
- β_{12} proporciona el efecto de la interacción de las variables FC y LC. En este caso, como se ha visto, $FC \times LC$ es la velocidad de avance del nadador. La interacción de dos variables implica que el efecto sobre la concentración de lactato de una de ellas depende del valor que toma la otra. En este caso, el efecto de la longitud de ciclo en la concentración de lactato depende de la frecuencia de ciclo.
- β_3 mide la diferencia que existe entre hombre y mujer en la acumulación de lactato, suponiendo que el resto de las variables no cambian. Si β_3 es positivo implicaría que a igualdad del resto de las variables (FC, LC y ED), las mujeres presentan un aumento del β_3 por ciento de la concentración de lactato en sangre. Un valor negativo, se interpretaría como una disminución.
- β_{31} se interpreta conjuntamente con β_1 , β_{32} con β_2 y β_{33} con β_{12} . En este punto vamos a describir la interpretación de todos estos parámetros.

En el caso de hombres (SEX = 0) el modelo propuesto se convierte en

$$\log LA = \beta_0 + \beta_1 FC + \beta_2 LC + \beta_{12} v + \beta_4 ED + u$$

(por simplicidad se ha sustituido $LC \times FC$ por v). Para mujeres, sin embargo, SEX = 1, el modelo se puede escribir de la siguiente manera :

$$\log LA = (\beta_0 + \beta_3) + (\beta_1 + \beta_{31})FC + (\beta_2 + \beta_{32})LC + (\beta_{12} + \beta_{33})v + \beta_4 ED + u$$

donde, β_{31} indica el aumento o la disminución del efecto de la FC (β_1), en las mujeres. Si β_{31} es cero, el efecto de la FC en la concentración de lactato es el mismo para el hombre que para la mujer. Si β_{31} es distinto de cero, la influencia de la FC en la concentración de lactato es β_1 para los hombres (SEX = 0) y $\beta_1 + \beta_{31}$ para las mujeres (SEX = 1). β_{32} indica el aumento o la disminución del efecto de la LC (β_2), en las mujeres. Si β_{32} es cero, el efecto de la LC en la concentración de lactato es el mismo para el hombre que para la mujer. Si β_{32} es distinto de cero, la influencia de la LC en la concentración de lactato es β_2 para los hombres (SEX = 0) y $\beta_2 + \beta_{32}$ para las mujeres (SEX = 1). β_{33} indica el aumento o la disminución del efecto de la v (β_{12}), en las mujeres. Si β_{33} es cero, el efecto de la v en la concentración de lactato es el mismo para el hombre que para la mujer. Si β_{33} es distinto de cero, la influencia de la v en la concentración de lactato es β_{12} para los hombres (SEX = 0) y $\beta_{12} + \beta_{33}$ para las mujeres (SEX = 1).

- β_4 mide la influencia de la edad en la concentración de lactato. Un aumento de un año en la edad de un nadador o nadadora implicaría un cambio de β_4 por ciento en la concentración de lactato en sangre.

Este modelo se ha estimado por máxima verosimilitud (mínimos cuadrados) para los tests de 5x200 metros crol, 6x300 metros crol, 4x400 metros crol, 5x200 metros braza y 5x200 metros espalda. Con los resultados del mismo, el modelo de regresión se representa de la siguiente manera en los distintos tests estudiados en la forma que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Ecuaciones de regresión múltiple en los distintos tests.

Test	Ecuaciones de regresión múltiple	R ²
5x200 m crol	$\log LA = - 5,809 + 14,203FC + 1,584LC - 3,061V - 10,847SEXxFC - 1,244SEXxLC + 9,007SEXxV - 1,786SEX - 0,034ED$	0,94
5x200 m espalda	$\log LA = - 13,930 + 28,631FC + 3,883LC - 5,407V - 7,395SEXxFC - 0,131SEXxLC + 3,035SEXxV - 0,104ED$	0,95
5x200 m braza	$\log LA = - 6,709 + 4,161FC + 0,535LC + 4,603V - 5,200SEXxFC - 1,080SEXxLC + 4,270SEXxV + 0,150SEX - 0,025ED$	0,95
6x300 m crol	$\log LA = - 6,540 + 11,322FC + 1,347LC - 2,473V + 2,420SEXxFC + 1,038SEXxLC - 3,670SEX + 0,082ED$	0,95
4x400 m crol	$\log LA = - 8,310 + 9,708FC + 1,467LC + 0,566V - 5,853SEXxFC - 1,350SEXxLC + 4,555SEXxV + 0,510SEX - 0,0120ED$	0,96

Dado que los modelos sujetos a estudio en los apartados anteriores se llevaron a cabo mediante la aplicación de técnicas de regresión múltiple, se realizó previamente un análisis exploratorio de las variables con el fin de detectar la existencia o no de condiciones para aplicar las susodichas técnicas estadísticas. Para ello, se comprobó la normalidad, la homocedasticidad de los errores y la existencia o inexistencia de multicolinealidad de los datos en cada modelo.

Con vistas a obtener una mayor normalidad y una mejor homocedasticidad, así como conseguir una mayor linealidad entre determinadas variables, se comprobó como más idónea la utilización de los valores de la concentración de lactato en sangre (variable dependiente) en su forma logarítmica ($\log LA$).

7.1. COMPARACIÓN ENTRE LOS RESULTADOS DE LOS CINCO TESTS

En el análisis conjunto de los modelos obtenidos para los distintos tests resalta la coincidencia de la significación de la frecuencia de ciclo. La influencia mayor de este parámetro se da en el test de 5x200 metros espalda ($\beta_1 = 28,63$) y la menor en el test de 5x200 m. braza ($\beta_1 = 4,10$).

En los test que fueron realizados con el mismo estilo (crol) pero con distintas distancias de nado, la influencia de la frecuencia de ciclo es menor a medida que la distancia utilizada es mayor.

Los niveles críticos de la interacción entre la frecuencia de ciclo y el sexo, inferiores a 0.05 en todos los tests, excepto en 6x300 metros crol, también indican que la frecuencia de ciclo

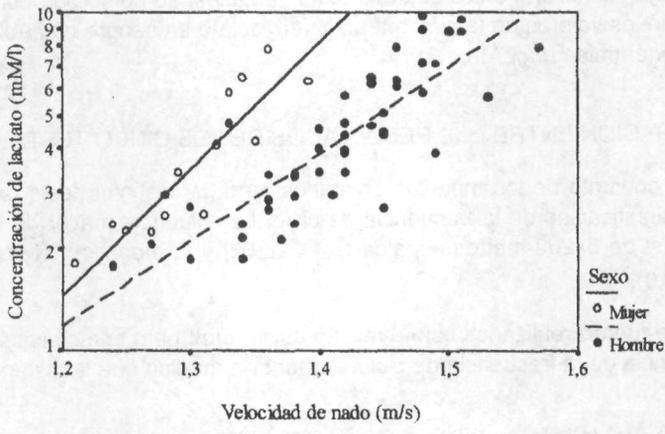
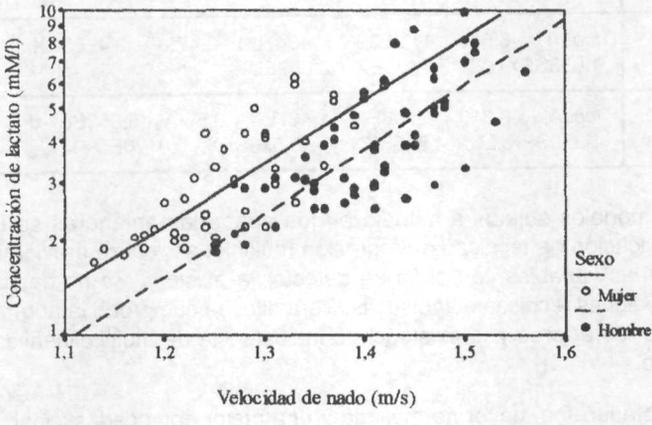
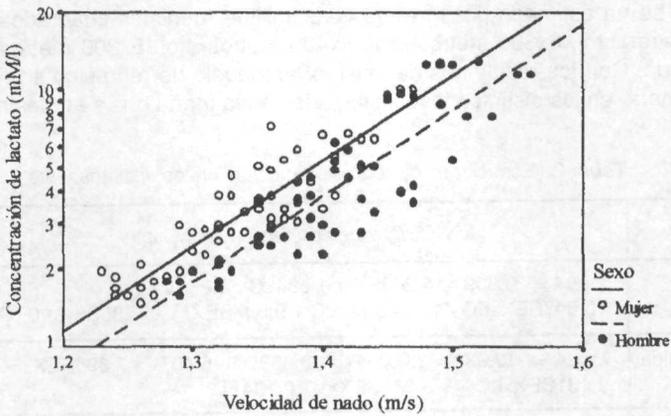


Figura 8. Gráficos de dispersión y rectas de regresión lineal de la concentración de lactato y la velocidad de nado en relación con el sexo en los tests de 5x200 metros (A), 6x300 metros (B) y 4x400 metros crol.

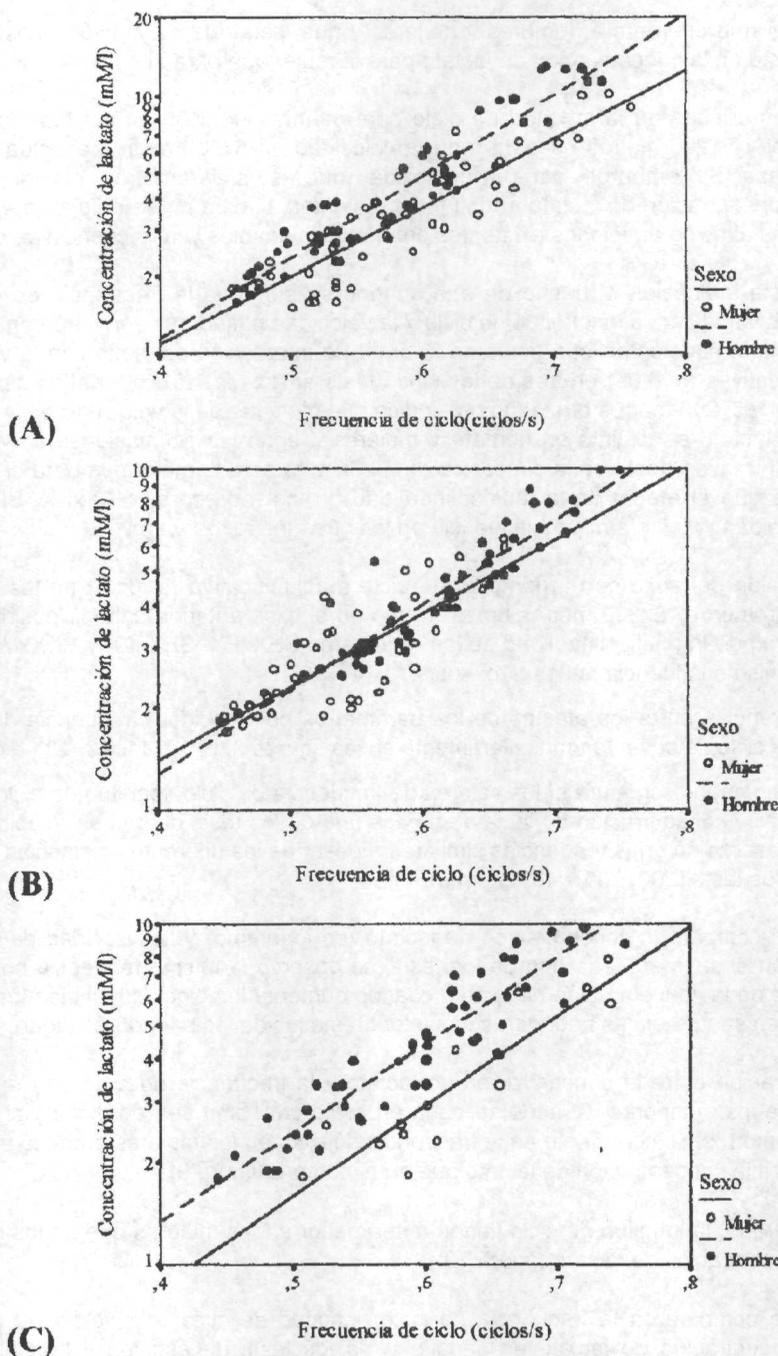


Figura 9. Gráficos de dispersión y rectas de regresión lineal de la concentración de lactato y la frecuencia de ciclo en relación con el sexo en los tests de 5x200 metros crol (A), 6x300 metros crol (B) y 4x400 metros crol (C).

afecta de forma diferente a hombres y mujeres y que, según la estimación, presentan un menor efecto en la concentración de lactato para la mujer que para el hombre.

Los valores críticos de la longitud de ciclo son menores de 0,05 en los tests de 4x400 metros crol y 5x200 metros espalda y de la velocidad en 5x200 metros espalda y 5x200 metros braza. Sin embargo, cabe la posibilidad que estos parámetros influyan también sobre la concentración de lactato en los tests restantes, si bien no se refleja en el modelo debido a las altas correlaciones existentes entre estas variables y la frecuencia de ciclo.

Apoyan esta indicación el hecho de que cuando se suprimió la frecuencia de ciclo del modelo, las variables de la longitud de ciclo y la velocidad pasaban a ser claramente significativas en los modelos en que estas no lo eran. La interacción del sexo con la velocidad son significativas ($p < 0.05$) en tres de los cinco tests analizados (5x200 metros crol, 4x400 metros crol y 5x200 metros braza), lo que indica que el efecto de la velocidad en la concentración de lactato es distinto en hombre y mujeres. Según las estimaciones, la velocidad presenta un mayor efecto en la concentración de lactato para la mujer que para el hombre. Es posible que el efecto de la multicolinealidad de los regresores SEXxFX, SEXxLX y SEXxV impidan reflejar la misma influencia en los otros tests.

La interacción del sexo con la longitud de ciclo es significativa ($p < 0.05$) en los tests de 6x300 metros crol y 5x200 metros braza. Como en el caso anterior, cabe la posibilidad de que el efecto de la multicolinealidad de los regresores SEXxFX, SEXxLX y SEXxV impidan reflejar la misma influencia en los otros tests.

Estas diferencias entre los efectos de los parámetros de velocidad, frecuencia de ciclo y longitud de ciclo se observan más claramente en las figuras 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14.

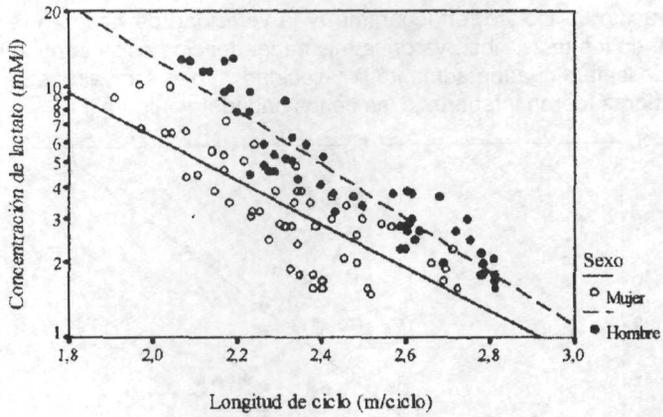
Cuando se compararon entre sí los valores de frecuencia de ciclo, longitud de ciclo, velocidad de nado y concentración de lactato en cada uno de los tests de crol en relación con el sexo, se observaron unas tendencias similares a pesar de las diferentes distancias de realización de los tests (200, 300 y 400 metros).

Cuando se comparó la concentración de lactato (en logaritmo) y la velocidad de nado en relación con el sexo en cada uno de los tests, se observó la misma tendencia positiva de incremento de la concentración de lactato cuando aumenta la velocidad, si bien los valores de lactato en sangre en las nadadoras son inferiores a las de los nadadores (figura 4.9).

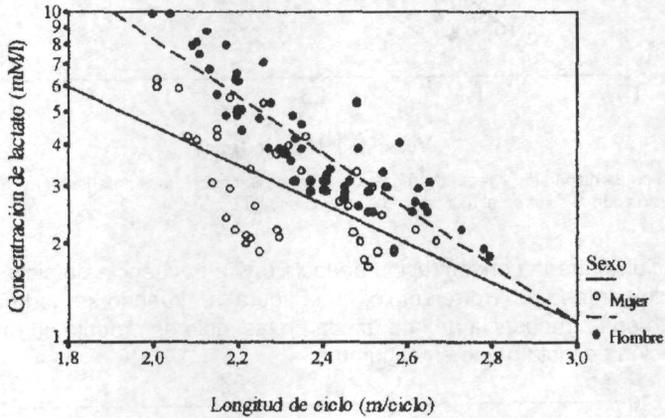
La comparación entre la concentración de lactato y la frecuencia de ciclo dan resultados similares a los anteriores. Cuando se nada en estilo crol, bien sea en distancias de 200, 300 ó 400 metros, el incremento en la frecuencia de ciclo en las mujeres produce un menor efecto sobre la concentración de lactato que en el hombre (figura 9).

Por el contrario, la longitud de ciclo tiende a ser menor en las mujeres que en los hombres a igual concentración de lactato (figura 10)

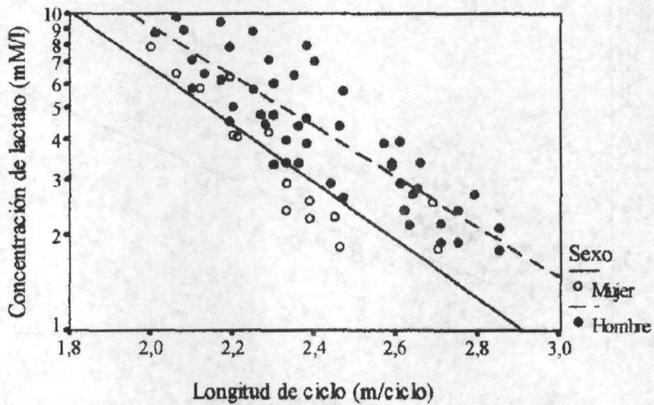
Cuando se compararon la frecuencia de ciclo, longitud de ciclo y la velocidad de nado con la concentración de lactato en cada uno de los tests de espalda y braza en relación con el sexo, se observaron unas tendencias similares a las ya mencionadas para los tests de crol.



(A)



(B)



(C)

Figura 10. Gráficos de dispersión y rectas de regresión lineal de la concentración de lactato y la longitud de ciclo en relación con el sexo en los tests de 5x200 metros crol (A), 6x300 metros crol (B) y 4x400 metros crol (C).

La concentración de lactato (en logaritmo) y la velocidad de nado en relación con el sexo en cada uno de los tests, observaron la misma tendencia positiva de incremento de la concentración de lactato cuando aumentó la velocidad, si bien los valores de lactato en sangre en las nadadoras fueron inferiores a las de los nadadores (figura 11)

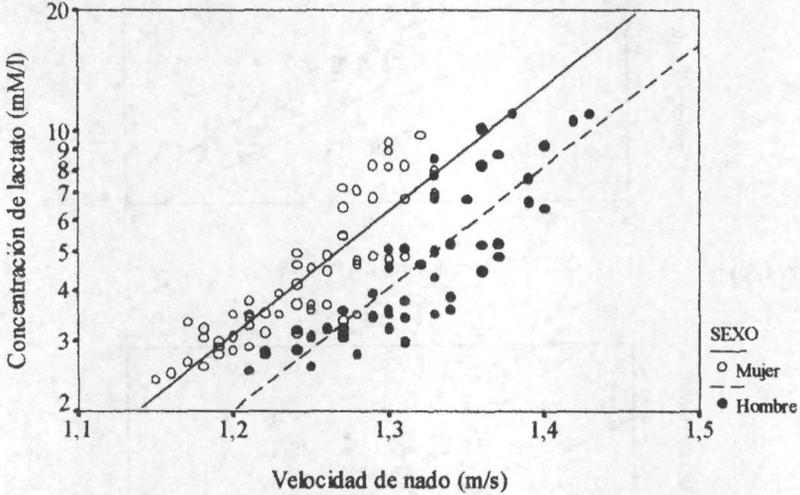


Figura 11. Gráfico de dispersión y recta de regresión lineal de la concentración de lactato y la velocidad de nado en relación con el sexo en el test de 5x200 metros espalda.

La comparación entre la concentración de lactato y la frecuencia de ciclo dieron resultados similares a los anteriores. Por ejemplo, en la figura 12, cuando se nadó en estilo espalda, el incremento en la frecuencia de la brazada en las mujeres produjo un menor efecto sobre la concentración de lactato que en el hombre.

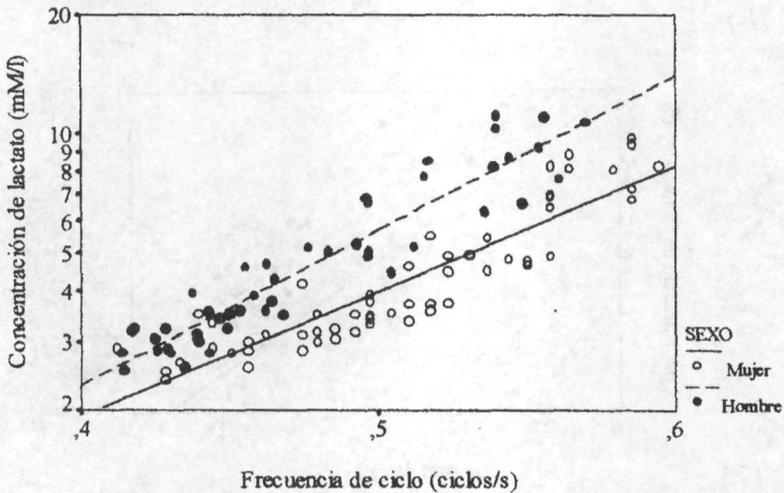


Figura 12. Gráfico de dispersión y recta de regresión de la concentración de lactato y la frecuencia de ciclo en relación con el sexo en el test de 5x200 metros espalda.

Por el contrario, la longitud de ciclo tiende a ser menor en las mujeres que en los hombres a igual concentración de lactato (figura 13).

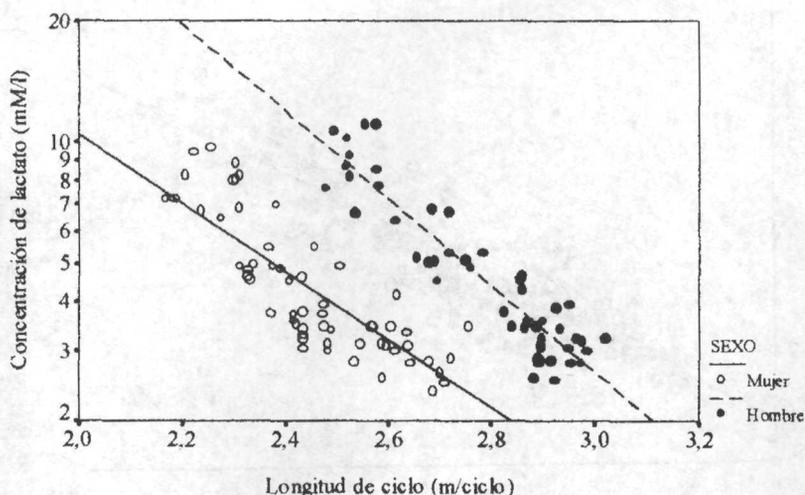


Figura 13. Gráfico de dispersión y recta de regresión lineal de la concentración de lactato y la longitud de ciclo en relación con el sexo en los tests de 5x200 metros espalda.

Cuando se compararon estas mismas variables entre los distintos tests de crol, se comprobó una elevada linealidad positiva entre la concentración de lactato y la frecuencia de ciclo, es decir, en los tres tests estudiados los cambios en los valores de lactato covarían con los valores de frecuencia de ciclo en el mismo sentido (Figura 14-A). Obviamente, la tendencia contraria se manifestó en la relación de la concentración de lactato con la longitud de ciclo, si bien con una correlación más baja (figura 14-B).

8. DISCUSIÓN

8.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS NADADORES SEGÚN SUS PARÁMETROS CINEMÁTICOS (FRECUENCIA Y LONGITUD DE CICLO), LA VELOCIDAD DE NADO Y LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO EN SANGRE

Los resultados obtenidos en este estudio demostraron que el comportamiento básico entre la velocidad de nado, frecuencia de ciclo y longitud de ciclo en las distintas condiciones de estilos y distancias fue similar. La vía más importante para aumentar la velocidad en cada test fue aumentar de forma correspondiente la frecuencia de ciclo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Keskinen y Komi (1993) para el estilo crol y está de acuerdo con observaciones previas hechas por numerosos investigadores en situaciones de competición (Alves y Gomes-Pereira, 1993; Arellano, 1995; Chatard et al., 1990; Craig et al., 1979; Craig, Boomer y Skehan, 1986; Craig y Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Curry, 1975; East, 1971; Kennedy et al., 1990; Keskinen y Komi, 1986; Keskinen y Komi, 1988b; Keski-

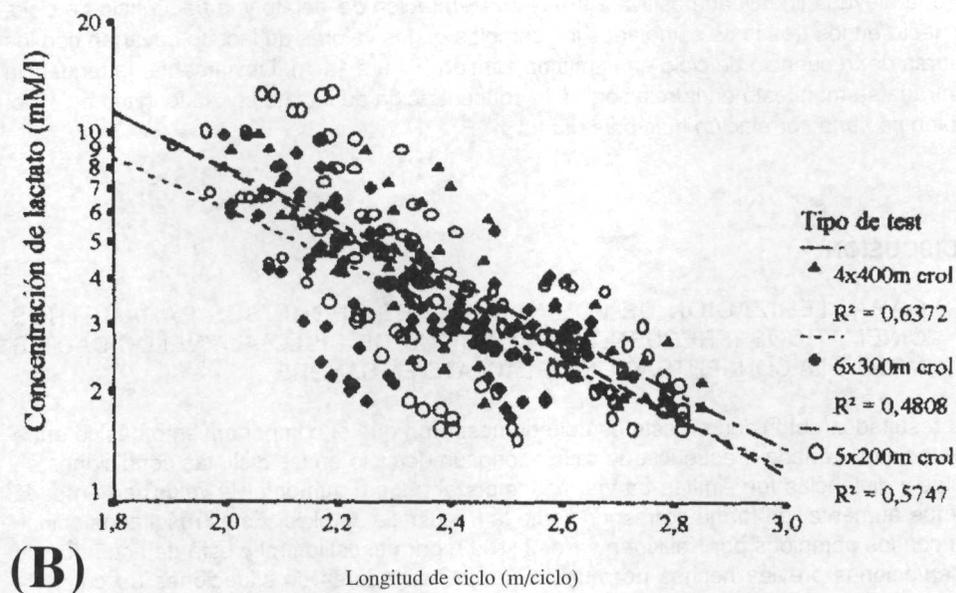
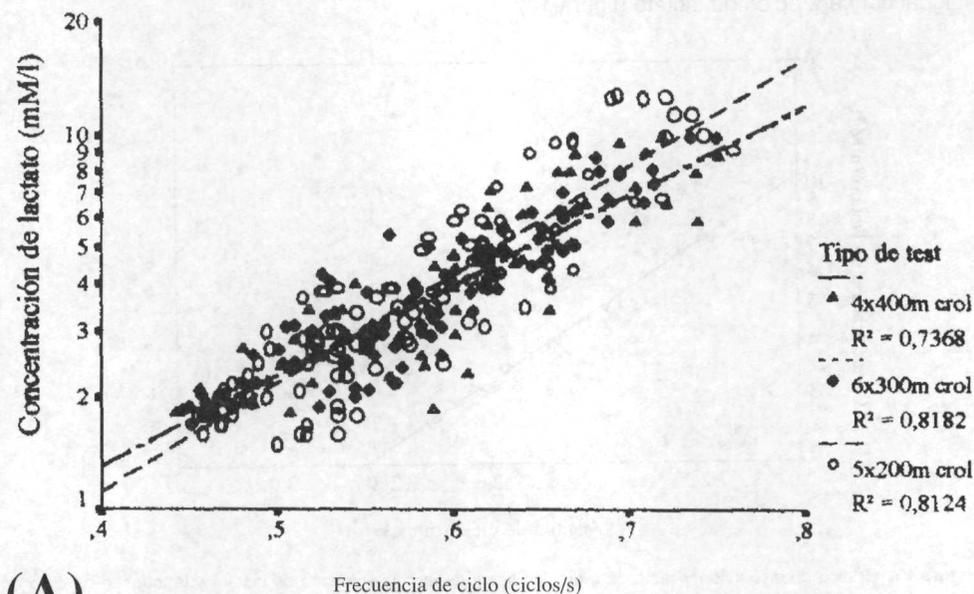


Figura 14. Gráfico de dispersión y recta de regresión de la concentración de lactato con (A) la frecuencia de ciclo, y con (B) la longitud de ciclo en relación con los tests de diferentes distancias.

nen y Komi, 1993; Navarro, 1982; Pai, Hay y Wilson, 1984; Pelayo, Chollet, Sidney y Tourmy, 1993; Pelayo et al., 1995; Santos Silva, 1995; Wakayoshi, 1988; Wakayoshi et al., 1995; Wakayoshi et al., 1992; Weiss et al., 1988; Wirtz et al., 1992).

Sin embargo, los resultados demuestran que esta posibilidad no ocurre en todos los rangos de velocidad de nado, mostrándose diferencias en el comportamiento de estos parámetros cinemáticos en las velocidades con concentraciones más bajas de lactato en sangre. El hecho de que en velocidades bajas, unos nadadores mantengan su longitud de ciclo estable (modelo A, figuras 3 y 4) y, sin embargo, otros disminuyan desde el comienzo de los esfuerzos progresivos su longitud de ciclo (modelo B, figuras 5 y 6.), mientras la frecuencia de ciclo y la velocidad de nado aumentan, demostraría que no existe un único comportamiento de la longitud de ciclo para el incremento de la velocidad y que en velocidades bajas aeróbicas, el nadador puede responder de forma diferente al desarrollo de la velocidad. Así pues, si bien la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo están negativamente relacionadas entre sí, la combinación entre estas dos variables está altamente individualizada, tal como lo afirman Keskinen y Komi (1988a). Una de las causas puede deberse a las características antropométricas, las cuales se ha demostrado que influyen sobre la frecuencia de ciclo y , de forma más importante en la longitud de ciclo (Clarys et al., 1974; DeGarry et al., 1994; Grimston y Hay, 1986). La velocidad también puede tener diferentes relaciones sobre la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo dependiendo de la capacidad de rendimiento individual en el agua y el nivel de destreza. Los nadadores con diferentes rendimientos en natación tienen una mayor variabilidad en la longitud de ciclo que en la frecuencia de ciclo en la natación de competición (Craig, 1979; Craig, 1985). Estas observaciones nos llevan a la asunción de que las complejas interrelaciones entre la frecuencia de ciclo, la longitud de ciclo y la velocidad de nado pueden reflejarse en la eficiencia individual de nado, así como en el metabolismo energético.

Parece lógico pensar que la estrategia idónea de un nadador para aumentar su velocidad deba ser la de esforzarse en aumentar su frecuencia de ciclo, disminuyendo lo menos posible su longitud de ciclo, tal como sugiere Hay (1987). El que esto no ocurra ya en velocidades bajas (*modelo B*) en algunos nadadores puede ser debido a que el nadador al comienzo del test se encuentre en situaciones de fatiga importantes por causas de bajo nivel de entrenamiento o porque las características del estilo con el que se realice el test impliquen desde el principio mayores exigencias de fuerza y en consecuencia provoquen un agotamiento muscular prematuro. Este último razonamiento parece ser congruente con los resultados obtenidos en el test de 5x200 metros braza donde el comportamiento básico de los parámetros cinemáticos según el *modelo B* fue utilizado por un 83,3% de los nadadores frente a un solo 16,7% del *modelo A*. Es también posible que el número de escalones progresivos que se repitan en el test pueda afectar a la estabilidad de la longitud de ciclo desde las primeras repeticiones. Un mayor número de escalones obliga a comenzar con velocidades proporcionalmente más bajas con respecto a las posibilidades de velocidad máxima que el nadador pudiera alcanzar en el último escalón y, como consecuencia, pueda ser menor el efecto de fatiga muscular local (Bigard y Guézennec, 1993) o se produzca más tardíamente una elevación de la concentración de lactato en los músculos propulsivos que le impida realizar de forma conveniente la contracción muscular (Belcastro y Bonen, 1975; Gollnick et al., 1986; Hermansen y Stenvold, 1972; Madsen y Lohberg, 1987; McLellan y Jacobs, 1989) y, de este modo, disminuya su longitud de ciclo significativamente. Esta pudiera ser la causa de que en el test de 6x300 metros crol se produjera una mayor utilización del *modelo A* (58,8%), superior a la media de todos los tests (42%).

Este estudio también demostró que las relaciones entre la velocidad de nado, la frecuencia de ciclo, la longitud de ciclo y la concentración de lactato son no-lineales, lo que concuerda con los trabajos de Keskinen y Komi (1993) en el estilo crol y en la distancia de 100 metros. Esto significa que según sea la velocidad desarrollada y el efecto que la misma ejerza sobre el nadador, el comportamiento básico de los parámetros cinemáticos podría variar significativamente.

8.2. RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS CINEMÁTICOS CON LA CONCENTRACIÓN DE LACTATO EN SANGRE EN LOS TESTS DE CROL CON DISTINTAS DISTANCIAS

Para el estudio de la relación entre la concentración de lactato con los parámetros cinemáticos en los tests de 5x200 metros, 6x300 metros y 4x400 metros se aplicó un análisis de regresión múltiple cuyos sumarios se muestran en la tabla 2.

La existencia de multicolinealidad entre los parámetros cinemáticos impide sacar conclusiones definitivas sobre la influencia que de forma individual podrían tener cada uno de ellos sobre las variaciones de la concentración de lactato en sangre en esfuerzos de natación. Sin embargo, sí se puede afirmar que el alto R^2 (superior a 0,95) que se da en cada una de las ecuaciones confirma que su inclusión aporta gran parte de la explicación sobre las variaciones de la concentración de lactato en sangre.

La influencia de la frecuencia de ciclo sobre la concentración de lactato es importante en los tres tests, siendo mayor en la distancia de 200 metros y cada vez menor en las distancias de 300 y 400 metros. Ello puede ser debido a la necesidad de prevenir que mayores incrementos de la frecuencia de ciclo produzcan elevadas concentraciones de lactato que puedan dificulten el rendimiento en esfuerzos de mayor duración.

En el mismo análisis, al observar las variaciones distintas que sobre la concentración de lactato en sangre se dan entre hombre y mujer, así como la significación de los coeficientes de regresión de las variables SEXxFC, SEXxLC y SEXxV en los tres tests, se comprueba la importancia relativa del sexo en su conexión con los parámetros cinemáticos. Tanto las mujeres como los hombres muestran las mismas tendencias en las relaciones de la concentración de lactato con cada uno de los parámetros cinemáticos. Cuando se relacionaron la concentración de lactato con la frecuencia de ciclo (figura 14- A) y con la longitud de ciclo (figura 14-B) en los referidos test, se comprobó una estrecha relación entre valores bajos de lactato con valores bajos de frecuencia de ciclo y viceversa, valores altos de frecuencia de ciclo con valores altos de lactato. Como es obvio, la tendencia contraria se manifestó en la longitud de ciclo.

Estas mismas tendencias se mantienen cuando se diferencian las muestras por sexo, si bien las magnitudes de los parámetros cinemáticos difieren. Así, cuando se compara la concentración de lactato con la velocidad de nado, se observa que la diferencia de la velocidad y la concentración de lactato es mayor en el hombre que en la mujer ($p < 0.05$) a igual concentración de lactato en sangre (figura 8), mientras que con la frecuencia de ciclo ocurre al contrario (figura 9), si bien las diferencias no son significativas. Parece factible que la mujer compense su menor velocidad y longitud de ciclo con una mayor frecuencia de ciclo

en niveles de intensidad similares. Sin embargo, como varios autores han señalado (Boomer, 1985; Craig et al., 1985; Curry, 1975; Toussaint, 1992) la longitud de ciclo es uno de los factores determinantes más importantes del rendimiento y, por tanto, se debería poner una continua atención también en impedir la disminución de la longitud de ciclo durante el transcurso de un entrenamiento o una competición.

Cuando se compararon la frecuencia de ciclo, la longitud de ciclo y la velocidad de nado entre los tests de distintas distancias, se comprobó que cuando se realizaban los tests de distancias más cortas (200 metros), los valores de la velocidad de nado y de la frecuencia de ciclo eran significativamente más altos y los de la longitud de ciclo más bajos que en los tests con distancias mayores (300 y 400 metros). Estas observaciones son similares a las que se dan en competición en estudios anteriores (Arellano, 1995; Chengalur y Brown, 1992; Craig y Pendergast, 1979; Craig et al., 1985; Kennedy et al., 1990; Keskinen y Komi, 1993; Navarro, 1982; Pai et al., 1984; Pelayo et al., 1993; Santos Silva, 1995; Troup, 1991; Wakayoshi et al., 1992).

Es factible que las diferencias observadas en los parámetros cinemáticos según la distancia de nado sometidas a examen puedan explicarse por una o varias de las siguientes razones. En primer lugar, el principal objetivo para obtener altos niveles de velocidad en general es aumentar la frecuencia de ciclo hasta niveles relativamente altos, cuyo nivel a su vez depende de la distancia nadada. En segundo lugar, cada distancia parece permitir un cierto nivel de longitud de ciclo y frecuencia de ciclo, los cuales, sin embargo, parecen ordenarse más individualmente que de forma general. Y finalmente, la tercera razón que puede explicar las diferencias observadas en los parámetros cinemáticos entre las distancias de nado, quizás sea debida a la capacidad personal del nadador para producir y resistir los valores en longitud de ciclo más altos posibles y, en consecuencia, ser capaces para nadar eficientemente en cada distancia específica.

8.3. RELACIÓN DE LOS PARÁMETROS (FRECUENCIA Y LONGITUD DE CICLO) CON LA VELOCIDAD EN LOS TESTS CON DISTINTOS ESTILOS

Las relaciones entre la concentración de lactato con los parámetros cinemáticos en los tests de 5x200 metros espalda y braza manifestaron las mismas tendencias que en los tests de crol. La frecuencia de ciclo demuestra tener una importante influencia sobre las variaciones en la concentración de lactato, especialmente en el estilo de espalda, donde el aumento de la frecuencia de 0.1 ciclos por segunda un aumento de 2,9% en la concentración de lactato. El rendimiento en el estilo de espalda se caracteriza por una frecuencia de ciclo más baja y una longitud de ciclo más alta que en los otros estilos y pequeñas variaciones de estos parámetros producen una significativa demanda energética (Klentrou y Montpetit, 1992; Smith et al., 1988) que se podrían reflejar en la concentración de lactato.

En los tests de 5x200 metros espalda y braza se confirman las mismas tendencias entre la velocidad, la frecuencia y la longitud de ciclo en relación con la concentración de lactato y en relación con el sexo que las que se dan en los test de crol. La velocidad, la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo afectan de forma diferente a hombres y mujeres. La velocidad de nado y la frecuencia de ciclo presentan un mayor efecto en la concentración de lactato para la mujer que para el hombre. Por el contrario, la longitud de ciclo presenta un menor efecto

en la concentración de lactato para la mujer que para el hombre. Este hecho posiblemente sea debido a la menor fuerza de la mujer con respecto al hombre y a que uno de los medios para lograr una longitud de ciclo más larga es la producción de una fuerza propulsiva mayor (Cappaert et al., 1995). Toussaint (1988) y Keskinen (1989) mostraron que velocidades de natación más altas requerían mayor fuerza de tracción de los brazos.

Los resultados arriba expuestos indican la importante influencia de los parámetros cinemáticos sobre la concentración de lactato. Las interpretaciones metabólicas que se han hecho tradicionalmente comparando la concentración de lactato con la velocidad podrían producir lecturas equivocadas si no se tienen en cuenta las variaciones que a una velocidad dada se producen en los parámetros cinemáticos de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo. Por ello, sugerimos la conveniencia de que los protocolos progresivos de lactacidemia añadan la medición de la frecuencia de ciclo (figura 15-1). De este modo, las posibles adaptaciones o desadaptaciones de los parámetros cinemáticos podrán interpretarse, junto a la influencia de la velocidad de nado, en la concentración de lactato en sangre. Una mejora metabólica en el rendimiento del nadador se refleja por un desplazamiento hacia abajo de

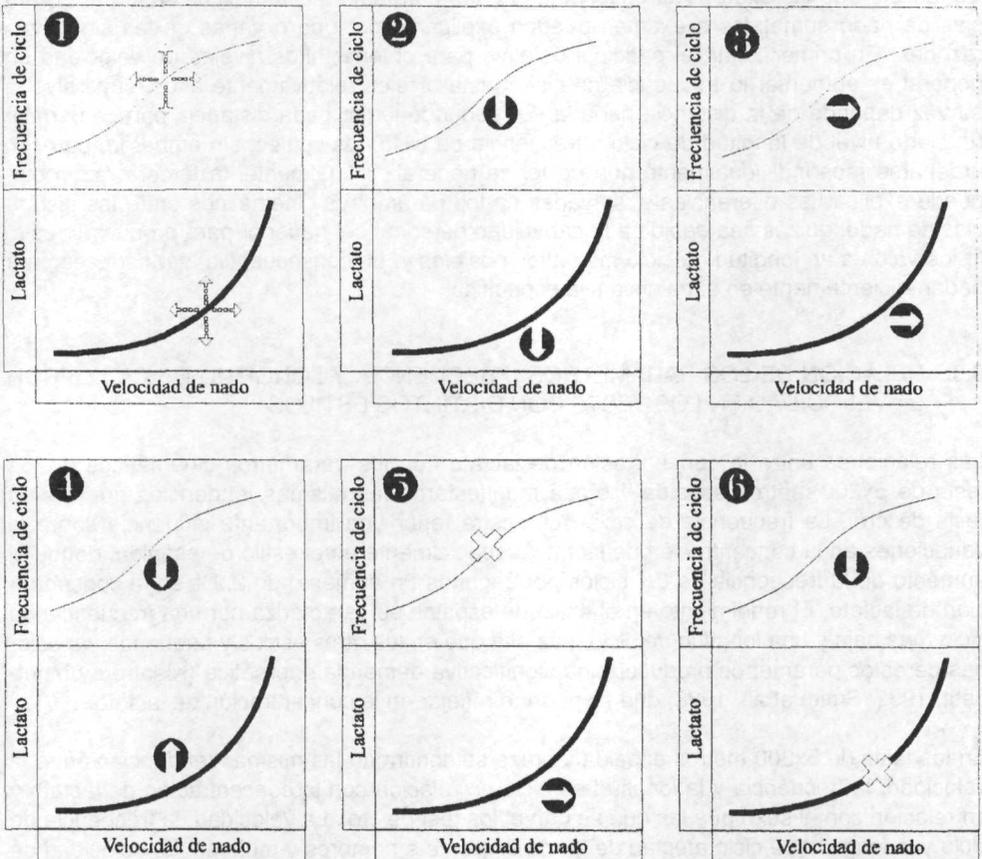


Figura 15. Posibilidades de interpretación de las curvas de lactacidemia en función de las variaciones de la velocidad y la frecuencia de ciclo.

la curva lactato-velocidad, pero si se observa además una mejora técnica como la reducción de la frecuencia de ciclo en la misma velocidad dada, deberíamos concluir que posiblemente, la mejora del estado de rendimiento no provenga solamente de adaptaciones metabólicas sino también técnicas (figura 15-2). La misma interpretación sería factible en el caso de que tanto las curvas de lactato como las de frecuencia de ciclo se desplazasen a la derecha (figura 15-3), ya que los nadadores demostrarían haber mejorado su rendimiento por desarrollar mayor velocidad con la misma concentración de lactato y frecuencia de ciclo anterior. Si la frecuencia de ciclo desciende pero la concentración de lactato aumenta a una misma velocidad, las posibles mejoras del rendimiento estarían basadas fundamentalmente en su mejora técnica (Figura 15-4). Si, por el contrario, se apreciase un desplazamiento hacia la derecha de la curva y no se observasen modificaciones en la frecuencia de ciclo, podríamos estimar que las mejoras del rendimiento habrían sido fundamentalmente metabólicas (figura 15-5). En el último caso, las adaptaciones para la mejora del rendimiento serían fundamentalmente técnicas.

En los deportes de carácter cíclico como la natación es importante sostener un rendimiento económico, caracterizado cuantitativamente por la relación entre el resultado de la actividad y el gasto energético producido para conseguir este resultado. La economía desempeña un papel relevante para garantizar un buen rendimiento del nadador en condiciones limitadas de energía. Para producir el mínimo gasto de energía, el nadador suele seleccionar la velocidad que requiera la menor cantidad de energía o la combinación de longitud y frecuencia de ciclo que requiera la menor cantidad de energía posible a una velocidad determinada.

Para definir la longitud y frecuencia de ciclo óptima, entendida ésta como la combinación en la que el nadador se mueva con mayor economía en una distancia y a una velocidad determinada, se puede recurrir a la experimentación de posibles combinaciones siguiendo alguno de los siguientes métodos.

- A. Experimentar de forma completa sobre las combinaciones posibles para una velocidad y distancia determinada y obtener la óptima a partir de la combinación en la que se obtenga el menor nivel de concentración de lactato. Este método exige mucha laboriosidad y tiempo. El nadador realiza una distancia determinada en un tiempo definido y se le registra su longitud de ciclo y frecuencia de ciclo (señalado con una X en la figura 16), así como la concentración de lactato obtenida al final del esfuerzo (señalada con la barra negra en la figura 16). Tomando esta referencia inicial, realizará el mismo tiempo con otras combinaciones (registradas con flechas). En la representación gráfica de la figura 16, la combinación óptima reflejada por una concentración de lactato menor sería la señalada en el punto a.
- B. Realizar los dos primeros intentos en diferentes direcciones : una aumentando la frecuencia de ciclo y otra aumentando la longitud de ciclo, para posteriormente continuar con sucesivos intentos en la dirección en la cual la concentración de lactato sea menor. El nadador realiza una distancia determinada en un tiempo definido y se le registra su longitud de ciclo y frecuencia de ciclo (señalado con una X en la figura 17), así como la concentración de lactato obtenida al final del esfuerzo (señalada con la barra negra en la figura 17). Tomando esta referencia inicial, repetirá la misma distancia al mismo tiempo con una longitud de ciclo mayor (1), registrándose la concentración de lactato corres-

pendiente. El siguiente intento se lleva a cabo aumentando la frecuencia de ciclo (2). Los intentos sucesivos se hacen en la dirección en la que el lactato va siendo menor (3 y 4), determinando la combinación óptima de frecuencia y longitud de ciclo donde la concentración de lactato es menor (punto a).

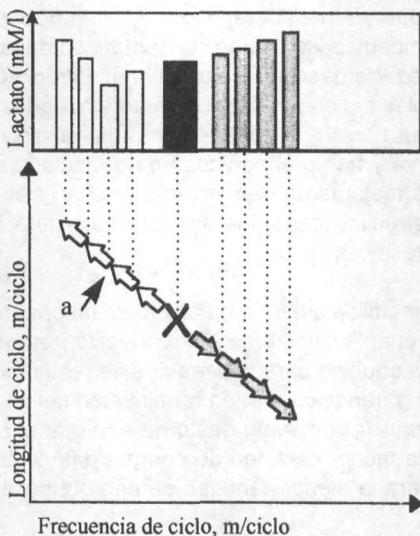


Figura 16. Determinación de la combinación óptima de frecuencia y longitud de ciclo mediante el análisis de combinaciones posibles.

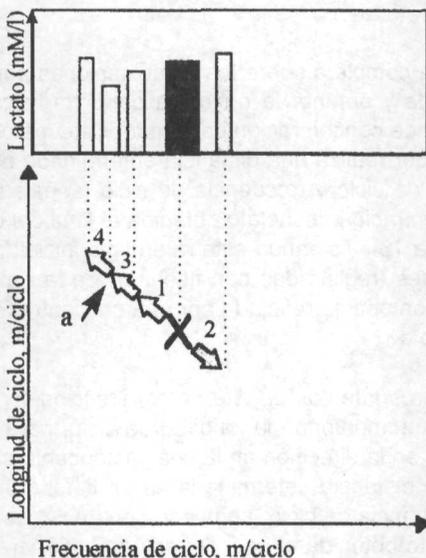


Figura 17. Determinación de la combinación óptima de frecuencia y longitud de ciclo mediante el inicio de intentos con direcciones opuestas.

C. Seleccionar una dirección de incremento de frecuencia o longitud de ciclo y seguir por la misma mientras que el criterio de optimización (menor concentración de lactato) sea decreciente. En la figura 18 se representan las dos posibilidades y la opción elegida en cada una de ellas como combinación óptima (punto a) en el caso que se representa.

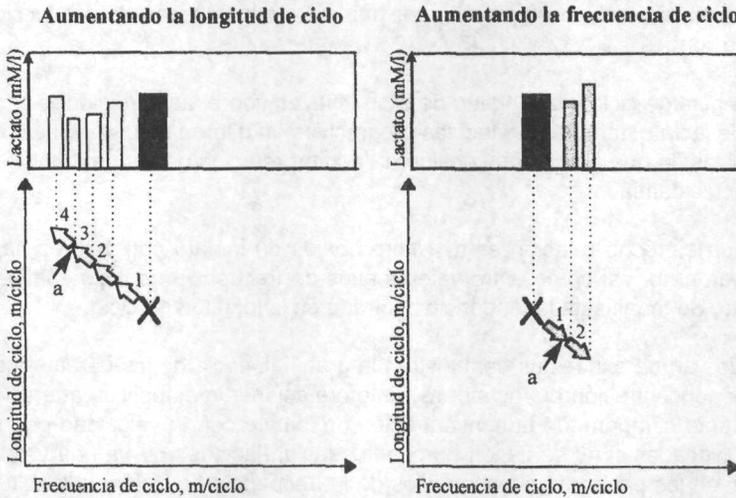


Figura 18. Determinación de la combinación óptima de frecuencia y longitud de ciclo mediante la selección de una dirección de incremento de longitud o frecuencia de ciclo.

Es evidente que la posibilidad de realizar varios intentos con diversas combinaciones de frecuencia y longitud de ciclo, dependerá de la velocidad que se determine para recorrer la distancia elegida. En función de ello se deberá establecer el correspondiente protocolo para asegurar los descansos necesarios que eviten la influencia de la fatiga sobre los parámetros cinemáticos producida por esfuerzos anteriores.

9. CONCLUSIONES

Este estudio pretendía resolver algunos de los problemas con los que se encuentran los técnicos en el entrenamiento de sus nadadores para mejorar su rendimiento y que afectan a la relación entre el rendimiento técnico (parámetros cinemáticos) y el rendimiento fisiológico (concentración de lactato). Las conclusiones relacionadas con los objetivos expuestos podrían resumirse en los siguientes puntos

1. Las relaciones entre la velocidad de nado, la frecuencia de ciclo, la longitud de ciclo y la concentración de lactato son no-lineales, tanto si difieren las distancias de nado como el estilo del nadador, lo que significa que según sea la velocidad desarrollada y el efecto que la misma ejerza sobre el nadador, el comportamiento básico de los parámetros cinemáticos podría variar significativamente.
2. Existe un continuo incremento no-lineal de la frecuencia de ciclo en relación con el aumento de la velocidad, mientras que con respecto a la longitud de ciclo se observan

dos patrones o modelos. El "modelo A" se caracteriza por una longitud de ciclo estabilizada en los primeros niveles de menor velocidad de nado y una destacada disminución a partir del comienzo de una clara acumulación de lactato en sangre. El "modelo B", se reconoce por una continua disminución de la longitud de ciclo, más lentamente en los primeros niveles de velocidad más baja y mucho más rápida en el momento en que el metabolismo anaeróbico empieza a ser más determinante para la producción de más altas velocidades.

3. La frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo influyen sobre las variaciones en la concentración de lactato, tanto en protocolos progresivos en diferentes distancias como en distintos estilos, lo que obliga a reconsiderar la interpretación de los protocolos tradicionales de lactacidemia.
4. Existe una estrecha relación entre valores bajos de lactato con valores bajos de frecuencia de ciclo, así como entre valores altos de frecuencia de ciclo con valores altos de lactato. Se manifiesta la tendencia contraria en la longitud de ciclo.

Los resultados arriba expuestos demuestran la gran influencia de los parámetros cinemáticos sobre la concentración de lactato. Las interpretaciones metabólicas que se han hecho tradicionalmente comparando la concentración de lactato con la velocidad podría producir lecturas equivocadas si no se tienen en cuentas las variaciones que a una velocidad dada se producen en los parámetros cinemáticos de la frecuencia de ciclo y la longitud de ciclo. Por ello sugerimos la conveniencia de que los protocolos progresivos de lactacidemia añadan la medición de la frecuencia de ciclo. De este modo, las posibles adaptaciones o desadaptaciones de los parámetros cinemáticos podrán interpretarse junto a la influencia de la velocidad de nado en la concentración de lactato en sangre.

Este estudio ha tratado de profundizar en el estudio de un aspecto que interviene de forma crítica en la capacidad del nadador para obtener un mejor rendimiento : la relación de la concentración de lactato en sangre con los parámetros cinemáticos. El ensayo y experimentación sobre nuevos protocolos que aporten una información integrada del nivel técnico y físico del nadador deberán facilitar en el futuro el desarrollo de proyectos más ambiciosos que den algo más de información sobre el estudio de este problema.

10. AGRADECIMIENTOS

A los doctores D. Jose María Odriozola y D. Jesús Juan por su inestimable ayuda.

11. BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, W. K., SEALS, D. R., HURLEY, B. F., EHSANI, A. A., Y HAGBERG, J. M. (1985). Lactate threshold and distance running performance in young and older endurance athletes. *Journal of Applied Physiology*, 58, 1281-1284.
- ALVES, F., Y GOMES-PEREIRA, J. (1993,). *Anthopometric and stroking characteristics in freestyle swimmers and its relation to lactate profile curve*. Artículo presentado en XIV International Society of Biomechanics Congress, Paris.

- ARELLANO, R. (1995,). *Análisis cinemático de los mejores nadadores del mundo comparado con los finalistas de los campeonatos de España absolutos*. Artículo presentado en el XV Congreso Internacional, Sevilla.
- ARELLANO, R., Y PARDILLO, S. (1992). An evaluation of changes in the crawl-stroke technique during training periods in a swimming season. In T. R. y. A. L. D. Maclaren (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming - Swimming Science VI* (pp. 143-149). London: E y FN Spon.
- BEAVER, W. L., K., W., Y WHIPP, B. (1985). Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *Journal of Applied Physiology*, 59(6), 1936-1940.
- BELCASTRO, A. N., Y BONEN, A. (1975). Lactic acid removals rates during controlled and uncontrolled recovery exercise. *Journal of Applied Physiology*, 39, 932-936.
- BIGARD, A. X., Y GUÉZENNEC, C. Y. (1993). Fatigue périphérique, lactate musculaire, et pH intracellulaire. *Science y Sports*, 8, 193-204.
- BILLAT, V., DALMAY, F., ANTONINI, M. T., Y CHASSAIN, A. P. (1994). A method for determining the maximal steady state of blood lactate concentration from two levels of submaximal exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 69 (3), 196-202.
- BISHOP, P., Y MARTINO, M. (1993). Blood lactate measurement in recovery as an adjunct to training. *Sports Medicine*, 16 (1), 5-13.
- BISHOP, P. A., SMITH, J. F., KIME, J. C., MAYO, J., Y TIN, Y. T. (1992). Comparison of a manual and automated enzymatic technique for determining blood lactic acid concentrations. *International Journal of Sports Medicine*, 13, 36-39.
- BOOMER, B. (1985). Making finalists - a matter of choices. In Asca (Ed.), *ASCA 1985 Yearbook* (pp. 161-172). Fort Lauderdale: Asca.
- BORCH, K. W., INGJER, F., LARSEN, S., Y TOMTEN, S. E. (1993). Rate of accumulation of blood lactate during graded exercise as a predictor of "anaerobic threshold". *Journal of Sports Sciences*, 11, 49-55.
- BRAUMANN, K., BUSSE, M., Y MAASEN, N. (1987). Zur interpretation von laktat-leistungskurven. *Leistungssport* (4), 35.
- BRAUMANN, K. M., MAASEN, N., Y BUSSE, M. (1988). Die problematik der interpretation trainingsbegleitender laktatmessungen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 39 (9), 365-3668.
- BROOKS, G. A. (1985). Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17 (1), 22-31.
- CAPELLI, C., ZAMPARO, P., CIGALOTTO, A., FRANCESCATO, M. P., SOULE, R. G., TERMIN, B., PENDERGAST, D. R., Y DI PRAMPERO, P. E. (1995). Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. *Journal of Applied Physiology*, 78 (2), 674-679.
- CAPPAERT, J. M., PEASE, D. L., Y TROUP, J. P. (1995). Three-dimensional analysis of the men's 100-m freestyle during the 1992 Olympic Games. *Journal of Applied Biomechanics*, 11, 103-112.
- CAVANAGH, P. R. (1990). *Biomechanics of distance running*. Champaign, Ill: Human Kinetics.
- CAVANAGH, P. R., Y KRAM, R. (1985). Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 326.
- CAVANAGH, P. R., Y WILLIAMS, K. R. (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 30-35.
- CHATARD, J. C., COLLOMP, C., MAGLISCHO, E., Y MAGLISCHO, C. (1990). Swimming skills and stroking characteristics of front crawl swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 11, 206-211.
- CHENGALUR, S. N., Y BROWN, P. L. (1992). An analysis of male and female Olympic swimmers in the 200-meter events. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 17 (2), 104-109.
- CHOLLET, D. (1990). *Approche Scientifique de la Natation Sportive*. Paris: Vigot.
- CLARYS, J. P., JISKOOT, J., RIJKEN, H., Y BROUWER, P. J. (1974). Total resistance in water and its relationship to body form. In R. C. N. C. A. Morehouse (Ed.), *Biomechanics IV* (pp. 187-196). Baltimore: University Park Press.
- COEN, B., SCHWARZ, L., URHAUSEN, A., Y KINDERMANN, W. (1991). Control of training in middle - and long - distance running by means of the individual anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 12, 519-524.

- COSTILL, D. L. (1992). Lactate metabolism for swimming. In D. MacLaren, T. Reilly, y A. Lees (Eds.), *Biomechanics and Medicine in Swimming - Swimming Science VI*. (pp. 3-11). London: E y FN Spon.
- COSTILL, D. L., G., B., Y SPARKS, E. D. (1971). Determinants of marathon running succes. *Int Z Angew Physiol*, 29, 249-254.
- COSTILL, D. L., KOVALESKI, J., PORTER, D., KIRWAN, J., FIELDING, R., Y KING, D. (1985). Energy expenditure during crawl swimming: prediction success in middle distance events. *International Journal of Sports Medicine*, 6 (5), 266-270.
- COSTILL, D. L., THOMAS, R., ROBERGS, R. A., PASCOE, D., LAMBERT, C., BARR, S., Y FINK, W. J. (1991). Adaptations to swimming training: influence of training volume. *Medicine an Science in Sports and Exercise*, 23, 371-377.
- COSTILL, D. L., THOMASON, H., Y ROBERTS, E. (1973). Fractional utilization of the anaerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 5 (248-252).
- COUNSILMAN, J. E. (1968). *The Science of Swimming*. Englewood Cliffs, N.Y.
- COUNSILMAN, J. E. (1972). *The Science of Swimming*. Bloomington, Ind.
- CRAIG, A. B., BOOMER, W. L., Y GIBBONS, J. F. (1979). Use of stroke rate, distance per stroke and velocity relationships during training for competitive swimming. En J. T. y. E. W. Bedingfield (Ed.), *Swimming III* (pp. 265-274). Baltimore: University Park Press.
- CRAIG, A. B., BOOMER, W. L., Y SKEHAN, P. L. (1986). Patterns of velocity in competitive breastroke swimnmng. En K. W. B.V. Ungerechts, K.Reischle (Ed.), *Swimming Science V* (pp. 73-77). Champaign,, Ill: Human Kinetic.
- CRAIG, A. B., Y PENDERGAST, D. R. (1979). Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11 (3), 278-283.
- CRAIG, A. B., SKENHAN, P. L., PAWELCZYK, J. A., Y BOOMER, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17 (5), 625-634.
- CURRY, I. J. (1975). Stroke length, stroke frequency and performance. *Swimming Technique*, 12 (3), 88.
- DEGARAY, A., LEVINE, L., Y J., C. (Eds.). (1994). *Genetic and anthropological studies of olympic athletes*. New York: Academic Press.
- DI PRAMPERO, P. E., PENDERGAST, D. R., WILSON, D. W., Y RENNIE, D. W. (Eds.). (1978). *Blood lactic acid concentrations in high velocity swimming*. Baltimore: 1978.
- DOUGLAS, C. G. (1927). Coordination of the respiration and circulation with variation in bodily activity. *Lancet* (213), 213-218.
- EAST, D. (1971). Stroke Frequency, length and performance. *Swimming Technique*, 8, 68-73.
- FAINA, M., Y SARDELLA, F. (1986). La soglia anaerobica. *Rivista di Cultura Sportiva* (5), 10-17.
- FARRELL, P. A., WILMORE, J. H., COYLE, E. F., BILLING, J. E., Y COSTILL, D. L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11, 338-344.
- FAULKNER, J. A. (1968). Physiology of swimming and diving. En H. B. Falls (Ed.), *Exercise Physiology* (pp. 415). New York: Academic Press.
- FOHRENBACH, R., MADER, A., Y HOLLMANN, W. (1987). Determinantions of endurance capacity and prediction of exercise intensities for training and competition in marathon runners. *International Journal of Sports Medicine*, 8 (1), 11-18.
- FOXDAL, P. (1993). The predictive value of long distance running capacity using blood lactate measurement. *Motricidade Humana*, 8 (2), 23-30.
- FOXDAL, P., SJÖDIN, A., ÖSTMAN, B., Y SJÖDIN, B. (1991). The effect of different blood sampling sites and analyses on the relationship between exercise intensity and 4,0 mmol/l blood lactate concentration. *European Journal of Applied Physiology*, 63, 52-54.
- FOXDAL, P., SJÖDIN, B., SJÖDIN, A., Y ÖSTMAN, B. (1994). The validity and accuracy of blood lactate measurements for prediction of maximal endurance running capacity. *International Journal of Sports Medicine*, 15 (2), 89-95.
- FRIC, J. J., FRIC, J., BOLDT, F., STOBOY, H., MELLER, W., FELDT, F., Y DRYGAS, W. (1988). Reproducibility of post-exercise lactate and anaerobic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 9 (5), 310-312.

- GOLLNICK, P. D., BLAYLY, W. M., Y HODGSON, D. R. (1986). Exercise intensity, training, diet and lactate concentration in muscle and blood. *Medicine and Science Sports Exercise*, 18(3), 334-340.
- GOROSTIAGA, E. (1984). *Le rendement du pedlage de jambes sur bicyclette ergometrique: Approche bioenergetique et biomechanique*. Memoire, Universite Claude Bernard - Lyon 1, LYON.
- GRIMSTON, S. K., Y HAY, J. G. (1986). Relationship among anthropometric and stroking characteristics of college swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 60-68.
- GULSTRAND, L., Y HOLMER, I. (1983). Physiological characteristics of champion swimmers during a five-year follow-up period, *Biomechanics and Medicine in Swimming*. Champaign, Ill.: Human Kinetics Pb.
- HAGAN, R. H., WEISS, S. D., Y RAVEN, P. B. (1992). Effect of pedal rate on cardiorespiratory responses during continuous exercise. *Medicine an Science in Sport and Exercise*, 24 (3), 378-382.
- HAGBERG, J. M., Y COYLE, E. F. (1983). Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15, 287-289.
- HARRIS, R., Y DUDLEY, G. (1989). Exercise alters the distribution of ammonia and lactate in blood. *Journal of Applied Physiology*, 66, 313-317.
- HARRISON, J. R., DAWSON, B. T., LAWRENCE, S., Y BLANSKBY, B. A. (1992). Non-invasive and invasive determinations of the individual threshold in competitive swimmers. *Journal of Swimming Research*, 8, 11-17.
- HAY, J. (1978). *The Biomechanics of Sports Techniques*. Englewood Cliffs N.J.: Prentice-Hall.
- HAY, J. G. (1987). Swimming Biomechanics: A brief review. *Swimming Technique*, 23 (3), 15-21.
- HECK, H., MADER, A., HESS, G., MUCKE, S., MULLER, R., Y HOLLMANN, W. (1985). Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 117-130.
- HERMANSEN, L., Y STENVOLD, I. (1972). Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 86, 191-201.
- HOLMER, I. (1979). The physiology of swimming man. En R. S. Hutton y D. I. Miller (Eds.), *Exercise and Sports Science Review* (pp. 87). New York: Academic Press.
- HUGHSON, R. L., WEISINGER, K. H., Y SWANSON, G. D. (1987). Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise. *Journal of Applied Physiology*, 62, 75-81.
- HURLEY, B. F., HAGBERG, J. M., ALLEN, W. K., SEALS, D. R., YOUNG, J. C., CUDDIHEE, R. W., Y HOLLOSZY, J. O. (1984). Effect of training on blood lactate levels during submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 56, 1260-1264.
- IVY, J. L., COSTILL, D. L., VAN HANDEL, P. J., ESSIG, D. A., Y LOWER, R. W. (1981). Alteration in the lactate-threshold with changes in substrate availability. *International Journal of Sports Medicine*, 2, 460-464.
- JACOBS, I. (1981). Lactate, muscle glycogen and exercise performance in man. *Acta Physiologica Scandinavica (Suppl)*, 495.
- JACOBS, I. (1983). Blood lactate and the evaluation of endurance fitness. *Sports* (September), 1-6.
- JACOBS, I. (1986). Blood lactate: Implications for training and sports performance. *Sports Medicine*, 3, 10-25.
- JACOBS, I., SJÖDIN, B., KAISER, P., Y KARLSSON, J. (1981). Onset of blood lactate accumulation after prolonged exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 112, 215-217.
- JAKEMAN, P. M., WINTER, E. M., Y DO, L., J. (1994). A review of research in sport physiology. *Journal of Sports Sciences*, 12, 33-60.
- JONES, N. L., Y EHRSAM, R. E. (1982). The anaerobic threshold. En R. I. Terjung (Ed.), *Exercise and Sport Science Reviews* (Vol. 10, pp. 49-83): Franklin Institute, USA.
- KARLSSON, J., HOLINGREN, A., LINNARSON, D., Y ASTROM, H. (1984). OBLA exercise stress testing in health and disease. En L. Lollgan y H. Mellerowitcz (Eds.), *Progress in ergometry: quality control and test criteria* (pp. 67-91). Berlín: Springer.
- KARLSSON, J., Y JACOBS, I. (1982). Onset of blood lactate accumulation during muscular exercise as a threshold concept. *International Journal of Sports Medicine*, 3, 190-201.
- KELLY, M., GIBNEY, G., WARD, T., DONNE, B., Y O'BRIEN, M. (1992). A study of blood lactate across different swim strokes. En M. D. T. Reilly, y A. Lees (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming - Swimming Science VI* (pp. 227-234). London: E y FN Spon.

- KENNEDY, P. K., BROWN, P. L., CHENGALUR, S. N., Y NELSON, R. C. (1990). Analysis of male and female Olympic swimmers in the 100-meter events. *International Journal of Sport Biomechanics*, 6, 87-92.
- KESKINEN, K. L., KESKINEN, O. P., Y MERO, A. (1994, 18 Oct 1994). *Effect of pool length on biomechanical performance in front crawl swimming (Abstract)*. Artículo presentado en el VII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming.
- KESKINEN, K. L., Y KOMI, P. V. (1986). The stroking characteristics in four different exercises in free style swimming. En W. Ungerechts B.E., K., Reischle K. (Ed.), *Swimming Science V* (pp. 839-843). Champaigns: Human Kinetics.
- KESKINEN, K. L., Y KOMI, P. V. (1988a). Interaction between aerobic/anaerobic loading and biomechanical performance in freestyle swimming. En K. W. B.V. Ungerechts, K.Reischle (Ed.), *Swimming Science V* (pp. 285-293). Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- KESKINEN, K. L., Y KOMI, P. V. (1988b). The stroking characteristics in four different exercises in freestyle swimming. En G. d. Groot, A. P. Hollander, P. A. Huijuing, y G. J. v. I. Schenau (Eds.), *Biomechanics XI-B* (Vol. 7-B, pp. 839-843). Amsterdam: Free University Park Press.
- KESKINEN, K. L., Y KOMI, P. V. (1992). Effect of leg action on stroke performance in swimming. En T. R. D. MacLaren, y A. Lees (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming - Swimming Science VI* (pp. 251-256). London: E y FP Spon.
- KESKINEN, K. L., Y KOMI, P. V. (1993). Stroking Characteristics of front crawl swimming during exercise. *Journal of Applied Biomechanics*, 9, 219-226.
- KESKINEN, K. L., KOMI, P. V., Y RUSKO, H. (1989). A comparative study of blood lactate tests in swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 10 (3), 197-201.
- KESKINEN, K. L., TILLI, L. J., Y KOMI, P. V. (1989). Maximum velocity swimming: interrelationships of stroking characteristics, force production and anthropometric variables. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 11, 87-92.
- KEUL, J., SIMON, G., DICKHUTH, H. H., GOERTTLER, I., Y KUBLER, R. (1979). Bestimmung der individuellen anaeroben Schwelle zur Leistungsbewertung und Trainingsgestaltung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 7, 212-216.
- KINDERMAN, W., SIMON, G., Y KEUL, J. (1979). The significance of the anaerobic threshold transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 42, 25-31.
- KIPKE, L. (1978). Dynamics of oxygen intake during step-by-step loading in a swimming flume. En B. E. y B. Furberg (Ed.), *Swimming Medicine IV* (pp. 137-142). Baltimore: University Park Press.
- KLENTROU, P. P., Y MONTPETIT, R. R. (1991). Effect of stroke rate and body mass on VO₂ in crawl swimming. *Journal of Swimming Research*, 7 (3), 26-30.
- KLENTROU, P. P., Y MONTPETIT, R. R. (1992). Energetics of backstroke swimming in males and females. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 371-375.
- KRAM, R., CAVANAGH, P. R., Y KERNS, M. M. (1985,). *Stride length changes with fatigue in distance running*. Artículo presentado en el 10th International Congress of Biomechanics, Umea, Sweden.
- LAFONTAINE, T. P., LONDEREE, B. R., Y SPATH, W. K. (1981). The maximal steady state versus selected running events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 13, 190-192.
- LAVOIE, J. M., LEGER, L. A., LEONE, M., Y PROVENCHER, P. J. (1985). A maximal multistage swim test to determine the functional and maximal aerobic power of competitive swimmers. *Journal of Swimming Research*, 1 (2), 17-22.
- LÓPEZ CHICHARRO, J., Y LEGIDO ARCE, J. C. (1991). *Umbra anaerobia*. Madrid: McGraw-Hill - Interamericana de España.
- LOWENSTEYN, I., PERRY, A. C., NASH, M. S., Y SALHANICK, D. (1994). Differences in Peak Blood lactate concentration in long versus short course swimming. *Journal of Swimming Research*, 10, 31-34.
- MADER, A., LIESEN, H., HECK, H., PHILIPPI, H., ROST, R., SCHURCH, P., Y HOLLMANN, W. (1976). Zur Beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportarzt und Sportmedizin*, 4, 80-88.
- MADSEN, O., Y LOHBERG, M. (1987). The lowdown on lactates. *Swimming Technique* (24), 21-26.

- MADSEN, O., OLBRECHT, J., MADER, A., LIESEN, H., Y HOLLMANN, W. (1983). *Specifics of aerobic training*. Köln: Deutsche Sporthochschule.
- MAGLISCHO, E. (1991). Stroke rates: how to use them to train competitive swimmers. *American Swimming Coaches Association magazine* (Apr/May), 23-24.
- MAGLISHO, E. (1986). *Nadar más rápido*. Barcelona.
- MAGLISHO, E. W. (1993). *Swimming Even Faster*. Mountain View, Cal.
- MAGLISHO, E. W., MAGLISCHO, C. W., Y BISHOP, R. A. (1982). Lactate testing for training pace. *Swimming Technique*, 19, 31-37.
- MAYES, R., HARDMAN, A. E., Y WILLIAMS, C. (1987). The influence of training on endurance and blood lactate concentration during submaximal exercise. *British Journal of Sports Medicine*, 21 (3), 119-124.
- MCARDLE, D., Y REILLY, T. (1992). Consequence of altering stroke parameters in front crawl swimming and its simulation. En T. R. D. MacLaren, A. Lees (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming - Swimming Science VI* (pp. 125-130). London: E y EP Spon.
- MCARDLE, W. D., GLASER, R. N., Y MAGEL, J. R. (1971). Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *Journal of Applied Physiology*, 30, 733-738.
- MCLELLAN, T., Y JACOBS, I. (1989). Active recovery, endurance training, and the calculation of the individual anaerobic threshold. *Medicine and Science Sports Exercise*, 21 (5), 586-592.
- MCLELLAN, T. M. (1985). Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 30-35.
- MILLER, D. I. (1979). Biomechanics of Swimming. En J. H. Wilmore y J. F. Keogh (Eds.), *Exercise and Sport Science Review* (pp. 219). New York: Academic Press.
- MOORE, K. S., Y TONG, R. J. (1994). The effect of pedal frequency on cycling economy and maximum oxygen uptake of trained and untrained cyclists (Abstract). *Journal of Sports Science*, 12 (2), 145.
- NAVARRO, F. (1982). *Un estudio sobre la longitud y frecuencia de brazada en los cuatro estilos*. Memoria de licenciatura, Universidad Politécnica de Madrid/INEF.
- NAVARRO, F. (1990). *Natación*. Madrid: COE.
- NEUMAN, G. (1990). La struttura della prestazione negli sport di resistenza. *Rivista di Cultura Sportiva*, IX (20), 66-72.
- NEUMAN, G. (1991). La struttura della prestazione negli sport di resistenza. *Rivista di Cultura Sportiva*, X (21), 1991.
- OLBRECHT, J., MADSEN, O., MADER, A., LIESEN, H., Y HOLMANN, W. (1985). Relationship between swimming velocity and lactic concentration during continuous and intermittent training exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 6 (2), 74-77.
- PAI, C., HAY, J. G., Y WILSON, B. D. (1984). Stroking techniques of elite swimmers. *Journal of Sports Sciences*, 2, 225-239.
- PEDHAZUR, E. J. (1982). *Multiple regression in behavioral research: explanation and prediction*. (2ª ed. ed.). Nueva York: Holt, Rinehart and Winston.
- PELAYO, P., CHOLLET, C., SIDNEY, M., Y TOURMY, C. (1993). Stroking characteristics in free style during elite swimming competition. *Journal of Biomechanics*, 27 (6), 6682.
- PELAYO, P., SIDNEY, M., WEISSLAND, T., CARPENTIER, C., Y KHERIF, T. (1995, 3'-31 Octubre 1995). *Variations de la fréquence de nage spontanée en natation*. Artículo presentado en el Congrès ACAPS, Guadalupe.
- PELAYO, P., SIDNEY, M., WEISSLAND, T., Y KHERIF, T. (1994, 18-23 de Octubre). *Stroking Characteristics and variation of energy cost*. Artículo presentado en el VII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Atlanta, Georgia.
- PELAYO, P., SIDNEY, M., WEISSLAND, T., Y KHEROF, T. (1994, 18 Octubre 1994). *Spontaneously chosen stroke rate and metabolic variables in swimming*. *Stroking characteristics and energy cost*. Artículo presentado en el VII International Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming, Atlanta.
- PEÑA, D. (1987). *Estadística. Modelos y Métodos. 2. Modelos lineales y series temporales*. Madrid: Alianza Universidad Textos.

- PRINS, J., MERRITT, D. M., Y LALLY, D. A. (1988). The results of administering a modified "two-point" lactate profile test on swimmers for two successive indoor swimming seasons. *Journal Swimming Research*, 4 (4), 5-10.
- RAATZ, D., Y KRAUSE, R. (1977). Vergleichende untersuchungen am ruderergometer zur bestimmung der optimalen schlagzahl. *Sportarzt un Sportmedizin*, 28, 238-242.
- REISCHLE, K. (1992). *Biomecánica de la natación*. Madrid: Gymnos.
- RODRIGUEZ, F. A., Banquells, M., Pons, V., Drobnic, F., y Galilea, P. A. (1991). Estudi comparatiu de diferents mètodes d'anàlisi de lactat sanguini. *Apunts*, XVIII, 41-50.
- SAITO, M. (1982). The effect of training on the relationship among velocity, stroke rate and distance per stroke in untrained subjects swimming the breaststroke. *Research Quaterly for Exercise and Sport*, 53, 323-329.
- SANTIESTEBAN, J. M. (1994). *Umbral anaeróbico individual. Determinación y comprobación.* , Univer-sidad del País VASco.
- SANTOS SILVA, J. V. (1995,). *Variacão da Velocidade (V), Distância de Ciclo (DC), Frecuência Ges-tual (FG) e Índice de Nado (IN) em provas de 100, 200 e 800m livres*. Artículo presentado en el XV Congreso Internacional, Sevilla.
- SHARP, R. L. (1984,). *Uso de los lactatos en sangre en el entrenamiento*.
- SHARP, R. L., TROUP, J. P., Y COSTILL, D. L. (1982). Relationship between power and sprint freesty-le swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, 53-56.
- SIMON, G., Y THIESMANN, M. (1986). Ermittlung der aeroben leistungsfähigkeit im schwimmsport. *Leistungssport* (3), 29- 31.
- SIMON, G., THIESMANN, M., CLASING, D., Y FROHBERGER, D. (1983). Ergometrie im wasser - eine neue methode der leistungsdagnostik. En H. Heck, ; Hollman, W.; Liesen, H.; Rost, R. (Ed.), *Sport: Leistung und Gesundheit*. (pp. 139- 143). Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- SJÖDIN, B., Y JACOBS, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running perfor-mance. *International Journal of Sports Medicine*, 2, 23-26.
- SJÖDIN, B., JACOBS, I., Y SVEDENHAG, J. (1981). Onset of blood lactate accumulation and enzyme activities in m. vastus lateralis in man. *International Journal of Sports Medicine*, 2, 166-170.
- SJÖDIN, B., JACOBS, I., Y SVEDENHAG, J. (1982). Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *European Journal of Applied Physiology*, 49, 223-230.
- SMITH, H. K., MONTPETIR, R. R., Y PERRAULT, H. (1988). The aerobic demand of backstroke swim-ming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *European Journal of Applied Physiology*, 65, 2506-2512.
- STAINSBY, W. N. (1986). Biomechanical and physiological bases for lactate production. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18 (3), 341-343.
- STEGEMAN, J., ULMER, H. V., Y HEINRICH, K. W. (1968). Die beziehung zwischen kraft un kraf-tempfinden als ursache für die wahl energetisch ungünstiger trittfrequenzen beim radspport. *Internationale Zeitschrift für angewandtte Physiologie und einschließBlich Arbeitsphysiologie*, 25, 224-234.
- STEGMANN, H., Y KINDERMAN, W. (1982). Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4 mmol/l lactate. *International Journal of Sports Medicine*, 3, 105-110.
- STEGMANN, H., KINDERMANN, W., Y SCHNABEL, A. (1981). Lactate Kinetic and individual anaero-bic threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 2 (3), 160-165.
- STEINACKER, J. M. (1993). Physiological aspects of training in rowing. *International Journal of Sports Medicine*, 14 (Suppl. 1), S3-S10.
- SWAIN, D., Y WILCOX, J. P. (1992). Effect of cadence on the economy of uphill cycling. *Medice and Science in Sports and Exercise*, 24 (10), 1123-1127.
- SWAINE, I., Y REILLY, T. (1983). Th freely-chosen swimming stroke rate in a maximal swim and on a biokinetic swim bench. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15 (5), 370-375.
- TANAKA, K., Y MATSUURA, Y. (1984). Marathon performance, anaerobica threshold and onset of blood lactate accumulation. *Journal of Applied Physiology*, 57, 640-643.

- TANAKA, K., MATSUURA, Y., MATSUZAKA, A., HIRAKOBA, K., KUMAGAI, S., SUN, S. O., Y ASANO, K. (1984). A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance-running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 16, 278-282.
- TERRADOS, N. (1991). Utilización de tests de campo para la valoración de la transición aerobia-anaerobia. En J. L. Chicharro y J. C. L. Arce (Eds.), *Umbral anaerobio* (pp. 91-114). Madrid: Intera-Americana-McGraw Hill.
- TOUSSAINT, H. M. (1988). *Mechanics and energetics of swimming*. Amsterdam: Rodopi.
- TOUSSAINT, H. M. (1992). Performance determining factors in front crawl swimming. En T. R. y. A. L. D. MacLaren (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming - Swimming Science VI* (pp. 13-32). London: E y FN Spon.
- TOUSSAINT, H. M., Y BEEK, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13, 8-24.
- TREFFENE, R. J., CRAVEN, C., HOBBS, K., Y WADE, C. (1979). Differences in sprint and endurance swimmers' plasma lactate and heart rate responses in controlled swims. *Swimming Technique*, 16, 34-36.
- TROUP, J. (ED.). (1991). *World championship video analysis of competitive swimming*. Colorado Spring.
- UNGERECHT, B. (1980). Ueber den Wert der Zugzahlermittlung im Schwimmsport. *Theorie und Praxis des Leistungssport*, 18 (4), 130-136.
- UTKIN, V. L. (1989). *Aspectos biomecánicos de la táctica deportiva*. Moscú: Vneshtorgizdat.
- VILLANUEVA, L. (1994). El control del entrenamiento. Teoría y práctica. *Comunicaciones Técnicas* (6), 7-27.
- WAKAYOSHI, K. (1988,). *Swimming technique of Japanese elite swimmers*. Artículo presentado en el 1988 Seoul Olympic Scientific Congress, Abstracts.
- WAKAYOSHI, K., D'ACQUISTO, J. D., CAPPAERT, J. M., Y TROUP, J. P. (1995). Relationship between oxygen uptake, stroke rate and swimming velocity in competitive swimming. *International Journal of Sports Medicine*, 16 (1), 19-23.
- WAKAYOSHI, K., NOMURA, T., TAKAHASHI, G., MUTOH, Y., Y MIYASHITO, M. (Eds.). (1992). *Analysis of swimming races in the 1989 Pan Pacific Championships and 1988 Japanese Olympic Trials*. London: E y FN Spon.
- WAKAYOSHI, K., YOSHIDA, T., IKUTA, Y., MUTOH, Y., Y MIYASHITA, M. (1993). Adaptations to six months of aerobic swim training. *International Journal of Sports Medicine*, 14 (7), 368-372.
- WAKAYOSHI, K., YOSHIDA, T., UDO, M., HARADA, T., MORITANI, T., MUTOH, Y., Y MIYASHITA, M. (1993). Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state? *European Journal of Applied Physiology*, 66 (1), 90-95.
- WASSERMAN, K., BEAVER, W. L., DAVIS, J. A., PU, J. Z., HEBE, D., Y WHIPP, B. J. (1985). Lactate, pyruvate, and lactate to pyruvate rat during exercise and recovery. *Journal of Applied Physiology*, 59, 935-940.
- WASSERMAN, K., BEAVER, W. L., Y WHIPP, B. J. (1986). Mechanisms and patterns of blood lactate increase during exercise in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18 (3), 344-352.
- WASSERMAN, K., Y MCILROY, M. B. (1967). Interaction of physiological mechanisms during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 22, 71-85.
- WASSERMAN, K., WHIPP, B. J., KOYAL, S., Y BEAVE, W. L. (1973). Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 35, 236-243.
- WEIL, M. H., LEAVY, J. A., RACKOW, E. C., HALFMAN, C. J., Y BRUNO, C. J. (1986). Validation of a semi-automated technique for measuring lactate in whole blood. *Clinical Chemistry*, 32, 2175-2177.
- WEISS, M., REISCHLE, K., BOUWS, N., SIMON, G., Y WEICKER, H. (1988). Relationship of blood lactate accumulation to stroke rate and distance per stroke in top female swimmers. En K. W. B.E. Ungerecht, K. Reischle (Ed.), *Swimming Science V* (pp. 295-303). Champaign, Ill.: Human Kinetics.
- WELTMAN, A. (1995). *The blood lactate response to exerciser*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- WELTMAN, A., SNEAD, D., STEIN, P., SEIP, R., SCHURRER, R., RUTT, R., Y WELTMAN, J. (1990). Reliability and validity of a continuous incremental treadmill protocol for the determination of

- lactate threshold, fixed blood lactate concentrations, and VO_2max . *International Journal of Applied Physiology*, 1, 26-33.
- WILKE, K. (1991,). *Análisis de la natación de velocidad: 50 metros libres*. Artículo presentado en el Congreso Técnico de Natación, Granada.
- WILKINSON, D. M. (1994). The effect of using two different whole blood lactate analysers on the results obtained from a graded exercise test. *Journal of Sports Sciences*, 12 (2), 155.
- WILLIAMS, J. R., AMSTRONG, N., Y KIRBY, B. J. (1992). The influence of the site of sampling and assay medium upon the measurement and interpretation of blood lactate responses to exercise. *Journal of Sports Science*, 10, 95-107.
- WIRTZ, W., WILKE, K., Y ZIMMERMANN, F. (1992). Velocity, distance per stroke and stroke frequency of highly skilled swimmers in 50 m freestyle sprint in a 50 and 25 m pool. En T. R. D. MacLaren, y A. Lees (Ed.), *Biomechanics and Medicine in Swimming - Swimming Science VI* (pp. 131-134). London: E y FN Spon.
- YOSHIDA, T. (1984). Effect of dietary modifications on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 53, 200-205.
- YOSHIDA, T., TAKEUCHI, M., Y SUDA, Y. (1982). Arterial versus venous blood lactate increase in the forearm during incremental bicycle exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 50, 87-93.

APLICACIÓN Y SEGUIMIENTO MEDIANTE ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA EXPLOSIVA

Navarro, E.¹
Pablos, C.²
Ortiz, V.²
Chillaron, E.²
Cervera, I.²
Ferro, A.³
Giner, A.²
Martí, J.²

Dirección para correspondencia:

¹Instituto Nacional de Educación Física
Tel. (91) 589 40 00/02/03 - Fax (91) 544 13 31 - 589 40 32
C/ Martín Fierro, s/n - 28040 Madrid

²Instituto Valenciano de Educación Física
Complejo Educativo - Carretera Valencia-Cheste
Tel. (96) 251 14 11 - Fax (96) 251 24 03
96380 Cheste, Valencia

³Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte
C/ del Greco, s/n - 28040 Madrid
Tel. (91) 589 05 50 - Fax (91) 544 81 22
e-mail: amelia.ferro@csd.mec.es



Enrique Navarro, Licenciado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por el INEF de Madrid. Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Madrid. Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte por la Universidad Politécnica de Valencia (programa de doctorado "Biomecánica del aparato locomotor" del Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales). Profesor de Biomecánica del INEF de Madrid desde el año 1984. En el período entre 1990-95 trabajó en el IBV como investigador y fue profesor de Biomecánica del IVEF.

Resumen. Este proyecto se basa en un trabajo de investigación aplicada con el que se pretende dar un servicio de apoyo directo al deportista. En deportes de equipo como el baloncesto y el voleibol, la fuerza explosiva (potencia) es una de las cualidades físicas más importantes ya que a partir de ella se realizan muchos de los movimientos ejecutados por los deportistas (saltos, arrancadas, frenadas, desplazamientos, etc.). El objetivo principal de este proyecto es apoyar el proceso de entrenamiento de la fuerza explosiva en equipos de baloncesto y voleibol de la Comunidad a través de la aplicación y control (mediante análisis biomecánico) de diferentes sistemas de entrenamiento.

En primer lugar y en colaboración con los entrenadores, se diseñaron los dos sistemas de entrenamiento basados en el método de contraste; mientras que uno utilizaba el ejercicio de squat en combinación con pliométricos —sistema clásico de contraste— el otro utilizaba, además de los pliométricos —un ejercicio olímpico de halterofilia— la cargada de fuerza-. A continuación se inició la fase experimental consistente en la aplicación de dichos sistemas de entrenamiento a los cuatro grupos de deportistas (dos de baloncesto y dos de voleibol) que componen la muestra experimental de esta investigación. El seguimiento y control de la evolución de la fuerza explosiva de los jugadores se realizó mediante la aplicación periódica (cada seis semanas) de una batería de tests. Se aplicaron tests de campo (detán vertical y squat paralelo) y tests de laboratorio ejecutados sobre una plataforma de fuerza (distintos tipos de saltos verticales). Con los datos de los tests se elaboraron las variables del estudio.

El análisis de la varianza llevado a cabo para comprobar la existencia de diferencias significativas entre los resultados de los tests a lo largo de los tres controles realizados, permite asegurar que tanto los jugadores de baloncesto mejoraron su detán vertical (7-8 cm el grupo de baloncesto y 6 el de voleibol). Al comparar los resultados entre los dos sistemas de entrenamiento, no se han encontrado diferencias significativas entre ambos lo que a priori descarta la hipótesis inicial según la cual se esperaba que los jugadores que utilizaban el sistema basado en ejercicios olímpicos de halterofilia tendrían mayores mejoras en su fuerza explosiva. Sin embargo, consideramos que esta falta de significación puede haberse debido al número reducido de muestra; en efecto, se ha constatado que la aplicación rigurosa de sistemas de entrenamiento para la mejora de la condición física en deportes de equipo es difícil de llevar a cabo debido a las características propias de estos deportes.

Palabras clave: Fuerza explosiva\salto vertical\Teoría del entrenamiento\valoración de la condición física\biomecánica deportiva\plataforma dinamométrica.

Abstract: In collective sports -basketball and volleyball-, the explosive force -power- is one of the most important physical aptitudes because a lot of movements are performed by mean this human capacity -jumps, starts, stops, displacement- The main objective of this work is to help in the training process of the explosive force in basketball and volleyball teams by mean the application and control of differents training systems,

In the first place, two training systems were designed in collaboration with the coaches. These systems were based on the "contrast method"; in the first one, squat and plyometric exercices were used while, in the second one, olympic weithglifting and plyometric exerqices were applied. The subjects were 24 (basket 15 and volley 9). Four groups were made in a way of that the two proposed methods of training were applied in both basket and volley teams. The following and control of the explosive force was carry out by mean the application -each six weeks-of physical aptitude tests. The vertical jump and squat exercise were the field tests and the squat jump, counter movement jump and vertical jump were the tests registered through a force platform.

Significant differences were found among the results of the tests throughout the three controls. These differences allow us to affirm that both basket and volley players improved the vertical jump (7-8 cm the basket team and 6 de volley team). To compare rhe results between the training systems no significant diffreences were found. Therefore, the inical supposition, in according which a bigger increases should be found in the groups applying the method based on the olimpic exercices of weightlifting, must be rejected. However, we consider that this lack of results in that sense may be due to the little number of subjects. In fact, a last conclusion is the huge difficulty of appied training methods for improving the the physical capacities in collective sports during a competive period.

Keywords: Explosive force\vertical jump\Sport Training\Physical aptitude tests\biomechanics\force platform.

I. INTRODUCCIÓN

I.1. ORIGEN DEL TRABAJO

El Centro Nacional de Investigación y Ciencias del deporte desarrolla anualmente un **programa de ayudas y subvenciones a universidades para la investigación en el ámbito de las ciencias del deporte**. Este programa promueve principalmente la realización de trabajos de investigación que tengan una repercusión directa en la mejora del rendimiento de los deportistas españoles. Este objetivo del CNICD ha sido precisamente lo que ha motivado el planteamiento del presente trabajo.

Consideramos que uno de los retos más importantes que tienen las ciencias del deporte actualmente es dar un servicio apoyo al deportista. Es evidente que la investigación básica es el primer escalón en el desarrollo del conocimiento pero también es cierto que si el conocimiento creado no se aplica en la realidad, la investigación básica deja de ser útil. Además, creemos que es importante que este apoyo, servido por la aplicación de las ciencias del deporte en el ámbito del entrenamiento, se realice de la manera más interdisciplinar posible.

Con el objetivo de llevar a cabo las ideas mencionadas anteriormente, se formó el equipo investigador que ha desarrollado este trabajo; está compuesto por especialistas en: teoría del entrenamiento (profesor IVEF y profesores de bachillerato), biomecánica (profesor INEF e investigador del CNICD) y preparadores físicos de los equipos de baloncesto y voleibol con los que se realizó el trabajo.

I.2. CAPACIDADES FÍSICAS DETERMINANTES DEL SALTO.

Las capacidades físicas determinantes del rendimiento técnico de un salto se pueden deducir en primera instancia mediante un análisis cualitativo (Hay, 1988) de un salto vertical (Figura I.1).

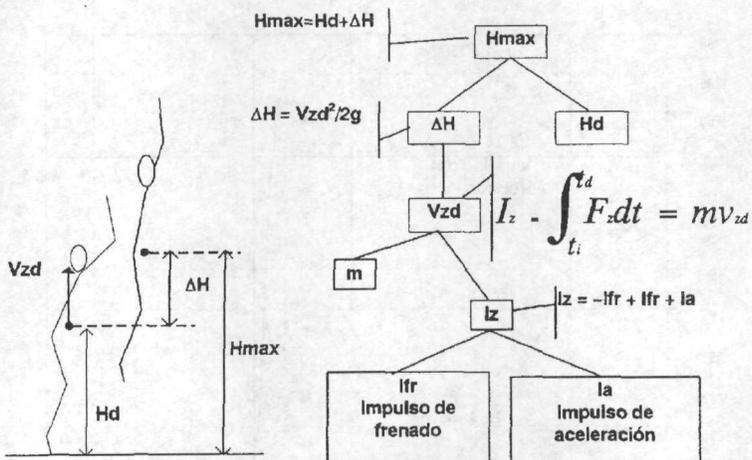


Figura I.1. Análisis Cualitativo del salto vertical.

El análisis cualitativo comienza por la definición del criterio de eficacia. En el caso del salto vertical, el criterio de eficacia es: Alcanzar la máxima altura del centro de gravedad o de otro punto del cuerpo (normalmente las manos).

Desde el punto de vista biomecánico la máxima altura se alcanza cuando el Impulso mecánico de aceleración (área -integral- entre la curva $F_v(t)$ y el eje de tiempos entre el instante de máxima flexión y el despegue) es máximo (Figura I.2). Esto sucede cuando se dan los siguientes fenómenos:

1. **Se produce un impulso mecánico de frenado óptimo.** El Impulso mecánico de frenado se define como el área entre la curva de $F_v(t)$ y el eje de tiempos entre el instante en el que la velocidad de descenso del CDG se hace máxima (la curva corta el eje de tiempos) y el instante de máxima flexión. Este impulso positivo (Fuerza de reacción mayor que el peso) permite frenar la caída del CDG durante el movimiento de flexión. Si esta velocidad de descenso es muy grande (lo que correspondería a un impulso negativo entre el tiempo inicial y el instante de máxima velocidad de descenso) el impulso de frenado tendría que ser mayor (igual en módulo al impulso negativo). En principio, si el impulso de frenado es mayor la fuerza inicial (Figura I.2) con la que comienza el sujeto la extensión sería mayor y cabría pensar que el impulso de aceleración posterior sería mayor. Ha sido demostrado experimentalmente (Hochmouth, 1973) que si el impulso de frenado es muy grande, es decir si se produce una excesiva flexión de rodillas, el impulso mecánico de aceleración decrece y por tanto la efectividad del salto disminuye. Hochmouth (1973) estimó que el salto se produce óptimamente cuando el impulso de frenado está cercano al 30% del impulso de aceleración.

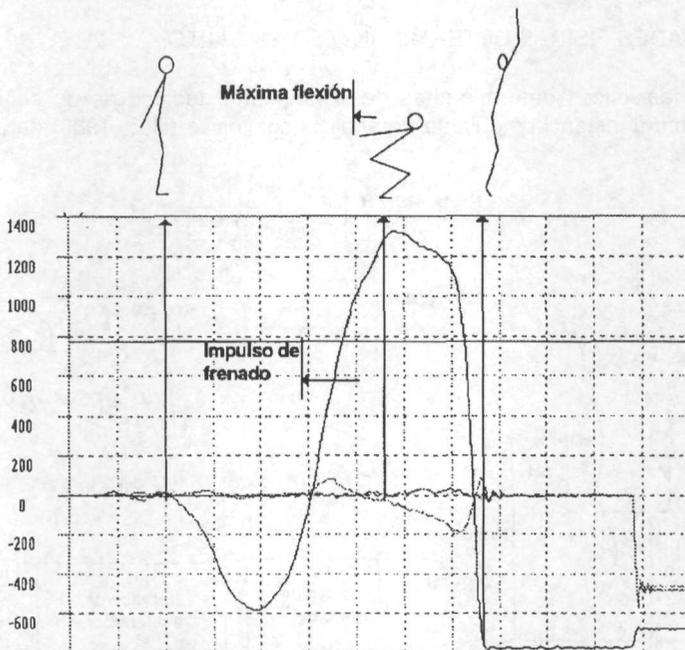


Figura I.2. Curva Fuerza vertical externa (suma fuerzas vertical externas) en función del tiempo de un salto vertical.

2. **El paso de flexión a extensión se realiza lo más instantáneamente posible** (Figuras 11, 12). En efecto cuando un sujeto ejecuta un salto realizando flexo-extensión de rodillas, la cadena biodinámica humana actúa como un sistema elástico (muelle) que acumula la energía durante la flexión (contracción excéntrica de los extensores de la rodilla) y lo devuelve durante la extensión (contracción concéntrica de los extensores de la rodilla). Esto permite que la fuerza vertical externa resultante sea mayor que cero cuando el sujeto inicia la extensión (lo que no ocurriría si el sujeto realizara el salto partiendo de flexión-squat jump-). Por distintas razones de índole biomecánico y fisiológico relacionadas con el mecanismo de contracción muscular, el ciclo estiramiento-acortamiento se produce óptimamente (permitiendo que el miembro inferior -principalmente- se comporte como un sistema elástico) cuando el paso de flexión a extensión se realiza lo más instantáneamente posible (coordinación intermuscular, control de movimientos , velocidad de reacción).
3. **Se desarrolla la máxima fuerza vertical en el mínimo tiempo.** Es decir cuando el gradiente de fuerza (dFv/dt) es lo más grande posible (Donskoi, 1988).

Por consiguiente, se puede concluir que el patrón de movimientos que determina que la técnica de salto produzca el máximo rendimiento demuestra claramente que las cualidades físicas que se ven implicadas durante un salto vertical son:

- Coordinación de movimientos.
- Fuerza explosiva

1.3. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL ENTRENAMIENTO DE LOS SALTOS

Es evidente que la coordinación de movimientos siempre es la cualidad física más determinante en la ejecución técnica del gesto. Es decir, es la capacidad física que a priori está más directamente relacionada con el aprendizaje y con el entrenamiento de la técnica deportiva. En muchas ocasiones el entrenamiento de la técnica se desarrolla teniendo en cuenta solamente esta cualidad -coordinación, control de movimientos, coordinación intermuscular-. Sin embargo -como ha quedado claramente demostrado en el análisis biomecánico del salto realizado anteriormente- existen otras cualidades que van íntimamente relacionadas con la ejecución técnica. En este caso la otra cualidad a tener en cuenta es la fuerza explosiva del miembro inferior.

Estas dos cualidades a su vez son interdependientes. Es decir las dos están al servicio de la técnica de salto y a su vez son complementarias. Sin embargo, es muy difícil llegar a establecer cuál de las dos está primero en la dependencia. En efecto:

1. Para que el músculo sea capaz de dar la mayor fuerza muscular en el menor tiempo (fuerza explosiva) posible durante su acortamiento, debe elongarse previamente a máxima velocidad y alcanzar una longitud muscular determinada —óptima—. Esto exige una coordinación intermuscular apropiada que permita realizar una flexión de rodillas óptima -a una determinada angulación de flexión- y un paso de flexión a extensión rápido.
2. Simultáneamente, para que se pueda producir una coordinación óptima sobre todo entre el movimiento del miembro inferior y el miembro superior, es necesario tener una

buena capacidad de fuerza explosiva del miembro inferior que permita que la velocidad de flexo-extensión sea lo más rápida posible. Hay que pensar que el miembro superior desarrolla mayores velocidades de movimiento articular y, por tanto, estos segmentos deben adaptar su velocidad en función del movimiento del tren inferior.

Por consiguiente a la hora de plantear el entrenamiento de cada cualidad física por separado -coordinación y fuerza explosiva- se tendrá en cuenta el efecto cruzado -interdependencia-. que estas dos capacidades tienen sobre el resultado final -ejecución-. En este sentido hay que tener muy en consideración algunas teorías sobre los requisitos biomecánicos que deben al aplicar ejercicios específicos para el desarrollo de la fuerza (Donskoi, 1988):

1. **Principio de correspondencia dinámica** (Verjoshansky, 1990). Consiste en la aplicación de ejercicios de fuerza en los que las sollicitaciones biomecánicas (amplitud articular, magnitud de las fuerzas musculares actuantes, velocidad articular, régimen de trabajo muscular -isométrico, concéntrico, excéntrico) de los movimientos realizados se corresponden con las sollicitaciones presentes durante la ejecución de la destreza que estamos entrenando —pliométricos—.
2. **Método de influencia conjugada**. Consiste en la ejecución del movimiento con cargas externas -saltos con fijación de lastres en los tobillos-.

En definitiva, el plan general de entrenamiento de los saltos se compone de dos elementos:

1. **Entrenamiento específico de la técnica de ejecución del salto**. Este entrenamiento tendrá como objetivo el desarrollo de la coordinación de movimientos de cara a la mejora de la técnica del salto. Los ejercicios de aplicación utilizados dependerán en cada caso del gesto técnico que se desee mejorar. En deportes de equipo como el baloncesto y voleibol la gama de gestos técnicos es muy variada (rebotes, entrada a canasta, tiro en suspensión, remates en voleibol, bloqueos etc.). En concreto, el entrenamiento se basará en la utilización de ejercicios de aplicación, ejercicios de fuerza específica en los que el sujeto ejecuta el propio gesto o ejercicios de aplicación con cargas bajas (método de influencia conjugada).
2. **Entrenamiento de la fuerza explosiva**. Se puede afirmar que, en el caso que nos ocupa, el entrenamiento de la fuerza explosiva juega un papel más preponderante que el entrenamiento de la técnica. Esto se justifica en razón de la complejidad de los gestos deportivos en relación a la coordinación de movimientos que éstos conllevan. En efecto, se puede decir que el nivel de exigencia, en cuanto a control de movimientos —coordinación intermuscular—, de gestos como el tiro en suspensión, el rebote o incluso el remate en voleibol es relativamente pequeño si lo comparamos con otros gestos deportivos como el salto de altura o el lanzamiento de jabalina. Esto justifica que el entrenamiento para la mejora de los saltos en deportes de equipo en muchas ocasiones se considere exclusivamente como entrenamiento de la fuerza explosiva del tren inferior.

En definitiva, el entrenamiento se basa en la utilización de ejercicios para el desarrollo de la fuerza explosiva en combinación con ejercicios específicos de fuerza para la mejora de la coordinación intermuscular (principio de correspondencia dinámica).

I.4. CONSIDERACIONES SOBRE EL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA EXPLOSIVA DEL TREN INFERIOR

Existen numerosos factores determinantes en el desarrollo de la fuerza explosiva desde un punto de vista fisiológico y biomecánico. Estos factores se pueden agrupar de la siguiente manera:

1. **Factores relativos al desarrollo de la fuerza máxima** (Stone, 1993): Son muchos los factores de los que depende el desarrollo de la fuerza máxima, de todos ellos, los que más influyen en la obtención de la fuerza explosiva son aquellos que tienen que ver con la velocidad de contracción muscular.

En concreto:

- Sincronización o coordinación intramuscular de las unidades motrices; está determinada por el número y frecuencia óptima de reclutamiento fibrilar.
- Velocidad de reclutamiento fibrilar. Este factor tiene en cuenta la capacidad para generar el máximo número de unidades motrices reclutadas, la máxima frecuencia de reclutamiento y el reclutamiento selectivo de ciertas subpoblaciones de unidades motoras de los músculos agonistas. Tanto la sincronización intramuscular como la velocidad de reclutamiento fibrilar se desarrollan mediante la utilización de cargas pesadas (Warren, 1993) mediante ejercicios como el squat, el press de banca, o ejercicios olímpicos de Halterofilia (Warren, 1993) y también mediante el entrenamiento pliométrico (Allerheiligen, 1993).

2. **Factores relacionados con la capacidad para producir mucha fuerza en un corto periodo de tiempo:**

- Ciclo estiramiento-acortamiento. Posiblemente el factor más determinante de la fuerza explosiva sea la utilización apropiada del ciclo estiramiento-acortamiento. En efecto, cuando se pretende obtener un gran aumento de fuerza muscular en un corto periodo de tiempo, es decir, un elevado gradiente de fuerza (dF/dt) durante una contracción concéntrica —extensión de rodillas— dicha contracción debe ir precedida de una contracción excéntrica del mismo músculo —extensores de la rodilla—. Esta contracción excéntrica debe cumplir dos requisitos principalmente: que la velocidad de contracción sea lo más elevada posible y que la longitud alcanzada por el músculo durante la elongación no exceda de determinados límites críticos. Este mecanismo se puede mejorar con la utilización de ejercicios olímpicos, y sus variantes, con cargas que fluctúan del 30 al 80/5% de 1 RM (Garhammer y Gregor, 1992) o también aplicando cargas ligeras mediante ejercicios pliométricos y ejercicios olímpicos (Chu, 1984; Komi, 1992 y Garhammer, 1993).
- Coordinación intermuscular. La coordinación intermuscular es una capacidad física al servicio de los anteriores factores (velocidad de contracción, ciclo estiramiento-acortamiento). Es decir es una cualidad en sí misma y como tal puede ser entrenada independientemente —entrenamiento específico de la técnica de salto— o dentro de las sesiones preparatorias de la fuerza explosiva. En el segundo caso —que es el

que nos ocupa ahora- se utilizan ejercicios que, desde un punto de vista biomecánico, se asemejen lo más posible al gesto técnico que deseamos mejorar.

I.5. METODOLOGÍA DEL ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA EXPLOSIVA

Las mejoras en la capacidad de salto, debido a la influencia del entrenamiento en los factores mencionados en el apartado anterior, fueron demostradas con la aplicación del entrenamiento con ejercicios pliométricos (Chu, 1984; Vitassalo, 1988) y del entrenamiento con el método de contraste clásico usando pesas en ejercicios olímpicos y derivados con cargas alternas: ejercicios con cargas entre el 30 y 50% de 1 RM y ejercicios con cargas entre el 85 y 100% de 1 RM (Palmieri, 1987; Wathen, 1993) que producen una mejora significativa en la fuerza explosiva del tren inferior. Otros métodos utilizados son: el de esfuerzos dinámicos, el concéntrico puro y el excéntrico-concéntrico explosivo.

I.5.1. Método de contraste

Recientemente se han ido variando más los métodos de contraste del estímulo. Estas variables combinan cargas pesadas con diferentes tipos de contracción muscular (concéntrica, excéntrica o isométrica) y cargas ligeras, con ejercicios pliométricos en la misma serie de ejecución. De esta manera se varía el carácter de la tensión muscular en la serie, evitando la acomodación del sistema nervioso al tipo de entrenamiento (Cometti, 1989), y produciendo una mayor incitación en los factores neuronales de los que depende la fuerza explosiva; principalmente sobre aquellos que influyen decisivamente sobre la velocidad de reclutamiento (Cometti, 1989; Verjoshansky, 1986). En definitiva, es un método que actúa simultáneamente sobre la coordinación intramuscular, sobre el mecanismo de inhibición neuromuscular, sobre el funcionamiento del ciclo estiramiento-acortamiento y sobre la coordinación intermuscular —mediante los ejercicios pliométricos—, siempre que los ejercicios utilizados se asemejen lo más posible al gesto técnico. Es importante recalcar que el primer grupo de ejercicios —realizado con cargas pesadas— de este método no cumple el principio de correspondencia dinámica (Verjoshanski, 1990).

Ha sido demostrado que la aplicación del método de contraste en el entrenamiento de la capacidad de salto produce mejoras en cortos periodos de tiempo (Newton y Kraemer, 1994). En opinión de la mayoría de los autores consultados, el método de contraste es el más efectivo para el entrenamiento de la fuerza explosiva pero solamente debe ser aplicado en atletas adultos de nivel medio o avanzado (Adams, K. 1992; Baner, T, G. 1990; Blakey, J.B., D. 1987; Cometti, 1989; Dutch, D, 1993). En los métodos de contraste, la acción contrastante y el efecto positivo viene determinado por los parámetros de intensidad, volumen y recuperación y por el orden de los ejercicios puesto que el primer ejercicio (ejercicio con carga pesada) va a facilitar los efectos del segundo (ejercicio con carga ligera o pliométrico).

El método de contraste o búlgaro, actúa sobre los factores fisiológicos y biomecánicos de los que depende la fuerza explosiva siendo uno de los métodos más efectivos en la activación de las unidades motoras rápidas (Garhammer, J. 1993).

La producción más efectiva de la potencia mecánica, se da aproximadamente al 80% de 1 RM (Garhammer, 1987), sin embargo, casi todos los métodos de contraste utilizan cargas al 90% de 1RM o superior no incidiendo adecuadamente sobre este factor pero si en mayor medida sobre la fuerza muscular absoluta si lo comparamos con el método olímpico explosivo. El ejercicio más utilizado dentro del primer grupo -con cargas pesadas-, es el ejercicio de squat paralelo (media sentadilla); los autores también proponen la utilización de ejercicios de halterofilia como la cargada de fuerza.

Es de destacar que la variación de las cargas en los métodos de contraste es una de las formas más adecuadas para reducir el riesgo de sobreentrenamiento. Verjoshansky (1990) en la planificación del desarrollo de la fuerza por el sistema de bloques, plantea la aplicación del método de contraste concéntrico combinado con el excéntrico en el periodo preparatorio y el método combinado con el trabajo isométrico en el periodo de competición. Este autor habla de diferentes combinaciones siempre y cuando se cumplan los objetivos del mesociclo de planificación. Este sistema lo propone exclusivamente para deportistas de alto nivel.

1.6. VALORACIÓN DE LA FUERZA EXPLOSIVA DEL MIEMBRO INFERIOR

El entrenamiento deportivo al igual que la educación física puede analizarse como un proceso de dirección. La complejidad de la dirección del entrenamiento deportivo se debe a la imposibilidad de influir directamente en la variación de los resultados deportivos. Realmente, el entrenador dirige las acciones del deportista -conducta- planteándole un programa de entrenamiento determinado con el que intenta mejorar rendimiento deportivo. Aquellos cambios que suceden en el organismo, después de la ejecución inmediata de los ejercicios físicos a los que se somete el deportista durante el entrenamiento, se denominan efectos inmediatos del entrenamiento. Los cambios en el estado físico y técnico que tienen lugar como resultado de la suma de los efectos del proceso de preparación a largo plazo, se denominan efecto acumulativo del entrenamiento. Cuando el proceso de entrenamiento se estructura correctamente, este efecto se manifiesta por el incremento en la capacidad de trabajo y de los resultados deportivos. Un elemento importante en cualquier proceso de dirección, es la recopilación periódica de información sobre el estado del sujeto que recibe el entrenamiento. Es lo que se denomina normalmente **control del entrenamiento deportivo**. Si nos limitamos solamente a los enlaces inversos (los enlaces directos son los que van del entrenador al deportista) que va hacia el entrenador, se pueden destacar cuatro tipos diferentes de enlaces (Zatsiorski, 1989):

- Informaciones sobre el estado anímico del deportista.
- Información sobre la conducta (cumplimiento de tareas, aptitud, etc).
- Datos sobre el efecto inmediato del entrenamiento.
- Información sobre el efecto acumulativo del entrenamiento.

Para que el entrenamiento se convierta en un proceso realmente dirigido, es necesario que el entrenador tome sus decisiones teniendo en cuenta resultados de mediciones realizadas objetivamente. Estas mediciones se basan en datos tomados durante la ejecución del gesto deportivo o de determinados ejercicios especiales —**tests de valoración del rendimiento deportivo**—.

1.7. CONTROL DE LA FUERZA

La capacidad de fuerza se controla generalmente mediante tres indicadores:

1. Indicadores básicos:

- Valores instantáneos de la fuerza en cualquier instante del movimiento tales como la fuerza máxima.
- La fuerza promedio

Indicadores integrales:

- Impulso mecánico.
- Indicadores diferenciales: gradiente de fuerza (df/dt).

Teniendo en cuenta los medios empleados en la toma de los datos, se distinguen dos tipos de tests:

1. **Tests de campo.** Son aquellos en los que los datos se registran mediante instrumentos de fácil instalación y manejo —cronómetro, cinta métrica, pesas—. Estos son los tests que de forma más generalizada se utilizan en el entrenamiento deportivo —squat, detán vertical, etc—.
2. **Tests de laboratorio.** Son aquellos en los que se emplean instrumentos electrónicos o mecánicos que requieren una instalación determinada y cuyo manejo requiere de una preparación previa. Nos referimos a equipos tales como plataformas de fuerza o dinamómetros.

1.8. CONCLUSIONES

Como punto final de esta introducción se realizan a continuación las siguientes consideraciones:

1. **La fuerza explosiva es una cualidad física determinante en el rendimiento de los deportes de equipo.** En efecto, durante el ejercicio de deportes como el baloncesto y el voleibol, se ponen en juego destrezas como los saltos verticales y en longitud, arrancadas, paradas o desplazamientos cortos a gran velocidad que requieren de esta capacidad.
2. **Por la bibliografía consultada, se deduce que el entrenamiento de la fuerza explosiva ha sido considerado por los investigadores en ciencias del deporte como uno de los elementos importantes a estudiar dentro de la teoría del entrenamiento deportivo.** La documentación en este sentido es muy amplia existiendo mucha información sobre sistemas de entrenamiento y control de la fuerza explosiva. A pesar de todo, y como ha podido ser demostrado en esta introducción, existen todavía puertas abiertas a la investigación de nuevas metodologías en el entrenamiento de la fuerza explosiva, sobre todo, si nos referimos a su aplicación dentro de los deportes de equipo.

3. Por las enormes particularidades de los deportes de equipo frente a deportes individuales, se sabe que la importancia otorgada por los entrenadores al desarrollo de las cualidades físicas es menor que la dispensada para otros elementos como la técnica o la táctica.
4. El Consejo Superior de Deportes a través del Centro Nacional de Investigación y ciencias del deporte, viene promocionando, mediante programas de ayuda a la universidad, trabajos de investigación en los que premie el carácter de apoyo y seguimiento del rendimiento de los deportistas españoles.

Todo lo expuesto anteriormente ha motivado la realización del presente trabajo de investigación. Con este proyecto se ha pretendido **dar apoyo científico al proceso de entrenamiento de la fuerza explosiva en equipos de baloncesto y voleibol de la comunidad valenciana durante la temporada 1994/95.**

1.9. OBJETIVOS DEL PROYECTO

✓ **Generales:**

1. Mejorar el rendimiento deportivo en equipos de baloncesto y voleibol mediante el apoyo del proceso de entrenamiento de la fuerza explosiva.
2. Desarrollar una metodología de trabajo que en el futuro pueda ser utilizada por los entrenadores.

✓ **Específicos**

3. Aplicar un método de entrenamiento de fuerza explosiva para el tren inferior, dentro de los métodos combinados, basándose en el uso de ejercicios olímpicos de halterofilia.
4. Comparar los resultados del método combinado, que usa los ejercicios olímpicos de halterofilia y los saltos pliométricos, con un entrenamiento clásico de contraste (Squat más pliométricos) y ver los efectos producidos sobre la fuerza explosiva del tren inferior con ambos métodos.
5. Utilizar y comprobar la eficacia de estos métodos en deportes de equipo. Las limitaciones de tiempo para su preparación física, hace que se busquen sistemas de entrenamiento que produzcan grandes beneficios en cortas sesiones de entrenamiento y que sus efectos perduren durante la larga temporada competitiva.
6. Realizar un seguimiento objetivo y preciso de la evolución de la fuerza explosiva de los deportistas a lo largo de una temporada competitiva.
7. Asesorar a los entrenadores en el establecimiento y posterior aplicación de planes de entrenamiento de la fuerza explosiva.
8. Avanzar en el conocimiento de la metodología más idónea para la mejora de la fuerza explosiva del tren inferior mediante la combinación de varios métodos de entrenamiento.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

II.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

Este trabajo de investigación se enmarca dentro de una línea de actuación que podríamos definir como servicio de apoyo de las ciencias del deporte al proceso de entrenamiento deportivo. Es decir, es un proyecto de investigación aplicada donde la metodología de trabajo se pone al servicio de los intereses de los deportistas y entrenadores.

La metodología se apoya en la utilización de dos tipos de procedimientos:

1. Procedimientos basados en la teoría del entrenamiento deportivo. Consisten en la elaboración de planes de entrenamiento de la fuerza explosiva y su aplicación en equipos de baloncesto y voleibol teniendo en cuenta que las sesiones se incluyen dentro del plan general de entrenamiento del equipo. Se propone la realización de dos sistemas de entrenamiento:

- Sistema 1 (GS). Basado principalmente en la ejecución del ejercicio denominado **Squat paralelo** y en la realización posterior de ejercicios **pliométricos**.
- Sistema 2 (GOE). Se basa en la realización de ejercicios olímpicos de halterofilia (en concreto la **cargada de fuerza**) con cargas pesadas, así como en la ejecución de **pliométricos con cargas ligeras y sin sobrecarga**.

2. Procedimientos basados en la teoría del control del entrenamiento deportivo. Las adaptaciones producidas en un individuo sometido a un plan de entrenamiento de la fuerza explosiva se pueden controlar mediante la utilización de tests para la valoración de la condición física. Se han utilizado dos tipos de tests:

- Tests de campo. Para la evaluación de la fuerza máxima: el test de Squat y para la fuerza explosiva: el test de Detán.
- Test de laboratorio. La valoración objetiva de la fuerza explosiva del miembro inferior se puede realizar de una manera más objetiva mediante el análisis biomecánico del salto vertical. Este análisis se fundamenta en el estudio de la evolución temporal de la fuerza de reacción (registrada con una plataforma dinamométrica) durante la realización de distintos tipos de saltos verticales.

II.2. PLAN DE TRABAJO

Los pasos que componen el plan general de trabajo han sido esquematizados en forma de cronograma en la figura 3. Son los siguientes:

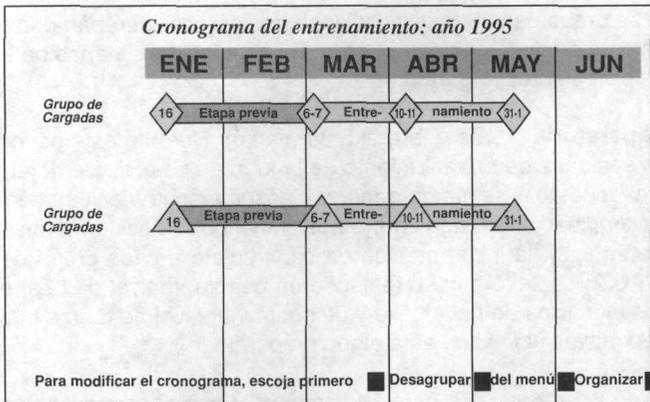


Figura II.1. Cronografía de la etapa previa y de la fase experimental para ambos grupos.

1. **Fase previa.** Consistente en la convocatoria de reuniones con los directivos y el cuadro técnico (entrenadores y preparadores físicos) de cada uno de los equipos implicados. En ellas se les puso al corriente de los objetivos del proyecto y los requisitos necesarios para su realización; también se definieron los planes de entrenamiento y el seguimiento de los deportistas (controles). Una vez que los clubes aceptaron que sus jugadores participaran en la investigación, se visitaron las instalaciones deportivas donde entrenaban habitualmente, para comprobar la disponibilidad de material para llevar a cabo los entrenamientos de fuerza explosiva del tren inferior. Todos los equipos contaban con salas de musculación dotadas con el material necesario para hacer viables los entrenamientos objeto del estudio experimental. Posteriormente, en reunión con los preparadores físicos y los entrenadores de los diferentes equipos, se acordaron los días de la semana en que cada equipo entrenaría. Para ello siempre se consideraron prioritarios los intereses deportivos de cada equipo, su programación anual y su calendario de competiciones para evitar así interferir en sus esquemas de trabajo. Con el objeto de controlar mejor el proceso experimental, se estableció un compromiso entre los preparadores físicos e investigadores colaboradores del proyecto para llevar la supervisión y el control semanal de las sesiones de entrenamiento. Como culminación de la fase previa, antes de comenzar el entrenamiento de la etapa preparatoria, se efectuaron seis sesiones de adiestramiento (repartidas a razón de tres sesiones en dos semanas consecutivas), en las que los preparadores físicos de los equipos aprendieron y/o perfeccionaron la ejecución de los ejercicios de enseñanza de la técnica de la cargada de fuerza, del squat paralelo y de los ejercicios pliométricos con sobrecarga y sin ella. Estas sesiones estuvieron dirigidas por un colaborador especialista en halterofilia, encargado de la enseñanza y demostración de la técnica más correcta de ejecución de los movimientos, de las medidas de seguridad a contemplar y de la detección de aciertos-errores en la práctica de las fases de enseñanza de la cargada de fuerza, del squat paralelo y de los ejercicios pliométricos.

2. **Fase experimental.** Consistió en la aplicación en cada grupo (dos por cada equipo) del plan de entrenamiento y en la realización de tres controles a lo largo de toda la temporada (Figura II.1). Después de cada control se informó al cuadro técnico de cada equipo de la evolución observada en la fuerza explosiva de cada uno de los sujetos analizados.

En su caso, se proponían las modificaciones que se consideraban oportunas en el plan de entrenamiento previamente establecido. En concreto, las etapas de esta fase experimental son las siguientes (Figura II.1).

- **Etapla preparatoria** (16 de enero al 5 de marzo). Durante este periodo de tiempo se realizaron sesiones de entrenamiento de la fuerza con el fin de dotar a los jugadores de un nivel aceptable de fuerza general y enseñarles la técnica de los ejercicios que se iban a emplear en la siguiente etapa. Finalmente, se formaron los grupos (dos para cada equipo); la incorporación de cada sujeto a cada grupo de entrenamiento (sistema 1 o 2) se llevó a cabo teniendo en cuenta el nivel de destreza en la ejecución de los ejercicios de halterofilia y de squat y el nivel de fuerza máxima alcanzada por los deportistas al final de esta etapa preparatoria.
 - **Control 1** (6 y 7 de marzo). Antes de comenzar con el periodo de entrenamiento de la fuerza explosiva, se sometió a los jugadores a un control que determinó el estado inicial de cada sujeto en cuanto a la capacidad de fuerza explosiva se refiere.
 - **Primera etapa de entrenamiento de la fuerza explosiva** (8 marzo-9 abril). Como ya ha sido comentado, se formaron dos grupos en cada equipo de manera que el grupo denominado GS aplicó el sistema 1 (basado en el ejercicio squat) y el grupo GOE el sistema 2 (basado en el ejercicio de cargada).
 - **Control 2** (10 y 11 de abril). Se sometió a los jugadores a una batería de tests -la misma que la del control 1- con los que se evaluó el nivel de fuerza explosiva alcanzada por los jugadores después de la primera etapa. Los datos resultantes de dicho control fueron entregados a los entrenadores de cada equipo. Así mismo, los resultados permitieron replantear en cada caso -sujeto- los valores de las cargas, la intensidad y el volumen de cara a la siguiente etapa de entrenamiento.
 - **Segunda etapa de entrenamiento de la fuerza explosiva** (11 de abril al 30 de mayo). Se continuó con el entrenamiento de la fuerza explosiva manteniendo cada sujeto en el grupo de trabajo original.
 - **Control 3** (31 mayo 1 junio). Se repitió la misma batería utilizada en los anteriores controles. Se informó a los entrenadores de los resultados obtenidos por cada jugador.
- 3. Fase final.** Se Obtuvieron las conclusiones finales del proyecto y se remitieron (mediante la presente memoria) al Instituto de Ciencias del Deporte, a las federaciones y a los clubes participantes en esta investigación.

II.3. SUJETOS

La muestra estaba formada inicialmente por 35 de baloncesto (**Club Baloncesto Jovens Arroz Dacsá de Almássera y Club Baloncesto L'Horta-Sonitas de Godella**) y voleibol (**Club de Voleibol Conqueridor de Valencia**) de nivel regional de los cuales 11 tuvieron que ser descartados como sujetos del estudio debido a que no asistieron regularmente a

los entrenamientos, dejaron de entrenar definitivamente en un momento dado (por lesión normalmente) o bien no participaron en todos los controles de entrenamiento que se realizaron a lo largo de todo el proceso experimental. Por consiguiente, la muestra finalmente estuvo formada por 24 sujetos (15 de baloncesto y 9 de voleibol) con edades comprendidas entre los 17 y 25 años.

De cara al análisis final de todos los datos, se formaron (después de la etapa preparatoria) dos grupos experimentales para cada deporte. El grupo denominado GS, que realizaban el sistema 1 (squat), y el grupo GOE que aplicaban el sistema 2 (cargadas de fuerza). La distribución según equipos es la siguiente:

- **GRUPO DE SQUAT (GS)** (squat paralelo + pliométricos): 12 sujetos (4 del Club Baloncesto Jovens Arroz Dacsa de Almássera, 4 del Club Baloncesto L'Horta-Sonitas de Godella y 4 del Club de Voleibol Conqueridor de Valencia).
- **GRUPO OLÍMPICO EXPLOSIVO (GOE)** (cargadas de fuerza + pliométricos con carga + pliométricos sin carga): 12 sujetos (3 del Club Baloncesto Jovens Arroz Dacsa de Almássera, 4 del Club Baloncesto L'Horta-Sonitas de Godella y 5 del Club de Voleibol Conqueridor de Valencia).

II.4. TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Las técnicas experimentales utilizadas fueron de tres tipos:

1. **Técnicas basadas en la teoría y práctica del entrenamiento deportivo.** Nos referimos a los procedimientos empleados por los entrenadores dentro de la sala de musculación para el desarrollo de los planes de entrenamiento previstos. Estos procedimientos se encuentran descritos en el apartado II.5 (Sistemas de entrenamiento) dentro de los protocolos de entrenamiento.
2. **Técnicas basadas en la valoración de las cualidades físicas.** Los procedimientos experimentales utilizados para la valoración del estado físico del deportista en cuanto a la fuerza explosiva se refiere, se encuentran descritos dentro de los protocolos de los controles (apartado II.6).
3. **Técnica experimental para la utilización de una plataforma dinamométrica.** La plataforma utilizada para la realización de los tests de salto vertical era de la marca DINASCAN-IBV. Una plataforma dinamométrica es un equipo electrónico que permite el registro de las fuerzas de reacción ejercidas por el individuo sobre el apoyo durante la ejecución de un gesto determinado. La plataforma dinamométrica incorpora cuatro transductores de fuerza del tipo extensométricos sobre los que apoya una placa con una elevada relación rigidez/peso que define la superficie sobre la que se ejercen las fuerzas que se desean analizar. Esta técnica experimental consta de dos etapas:
 - **Registro de datos.** En esta primera etapa el sujeto realiza el movimiento analizado (en este caso el salto vertical) procurando que los apoyos se realicen dentro de la superficie definida por la plataforma. La señal recogida por los cuatro transductores

extensométricos es enviada a la unidad electrónica encargada del acondicionamiento de la señal. A continuación las señales son registradas por una tarjeta de adquisición de datos instalada en un ordenador cuya función consiste en digitalizar las señales analógicas de forma que puedan ser leídas y almacenadas en la memoria del ordenador para su posterior procesamiento. La calibración de la plataforma debe haberse realizado previamente por personal responsable de la empresa distribuidora (en este caso DINASCAN-IBV). Los coeficientes de calibración se encuentran almacenados en un fichero de configuración que acompaña al software. Para garantizar el funcionamiento correcto es necesario asegurarse que durante el registro de datos no se producen movimientos o vibraciones en la plataforma, para ello es aconsejable fijarla rígidamente al suelo.

- **Procesamiento de los datos y salida de resultados.** Se realiza mediante un programa informático de fácil manejo. Primeramente, el ordenador procesa los datos de partida (8 por muestra) y obtiene los resultados iniciales, es decir, las tres componentes de la fuerza, el momento torsor y las coordenadas del centro de presiones. Posteriormente se pasa a la salida de resultados (representación gráfica de las tres componentes de la fuerza en función del tiempo, Impulso mecánico, etc).

II.5. SISTEMAS DE ENTRENAMIENTO

A continuación se describen los sistemas de entrenamiento aplicados a los jugadores durante la fase experimental. Estos sistemas fueron desarrollados por los investigadores del proyecto en colaboración con los preparadores físicos de los equipos durante la fase inicial del mismo. Durante su desarrollo se tuvieron en cuenta: el plan de entrenamiento general del equipo y el plan de entrenamiento de la técnica individual. En relación al primero se consideró que el criterio principal a la hora de planificar las sesiones de entrenamiento sería la no interferencia en el normal transcurso de dicho plan general. Así mismo, en ningún caso se sometieron los sujetos al riesgo de sufrir alguna lesión durante el transcurso del entrenamiento de la fuerza explosiva. En cuanto al entrenamiento de técnica se intentaron eliminar del mismo, en la medida de lo posible y siempre que ello no fuese en perjuicio de la preparación técnica, aquellos ejercicios que pudieran suponer un entrenamiento de la fuerza explosiva de manera indirecta. De esta forma, se eliminaba la posible contaminación de los resultados debido a un sobreentrenamiento de la fuerza explosiva.

Se han desarrollado dos sistemas de entrenamiento basados en el método de contraste. El denominado Sistema Squat, es un sistema clásico de contraste en el que se combinan ejercicios de squat (Figura II.2) y pliométricos. El segundo sistema aplicado o sistema Olímpico Explosivo supone un método nuevo propuesto por este equipo de investigación basado en los métodos combinados pero introduciendo una variante de ejercicios olímpicos de Halterofilia en concreto la cargada de fuerza (Figura II.3) con diferentes cargas en la misma serie, seguida de saltos pliométricos. Este método, a la vez que actúa sobre la sincronización intramuscular, favoreciendo el reclutamiento del máximo número de unidades motrices y una gran frecuencia de reclutamiento, también actúa sobre la coordinación intermuscular al haber mayor número de grupos musculares implicados, y también sobre el ciclo acortamiento-estiramiento en la primera parte de las cargadas y en los ejercicios pliométricos realizados. Nuestro método propone el denominado método olímpico explosivo el cual combi-

na la cargada de fuerza a 3 repeticiones máximas seguida de saltos (5 repeticiones) ejecutados de manera el sujeto parte de la posición de semiflexión de rodillas con la barra apoyada por encima de las rodillas (pose 3, Figura II.4) para posteriormente realizar una extensión de rodillas (movimiento de tirón de cargada colgante) y finalmente 6 saltos pliométricos en la misma serie.

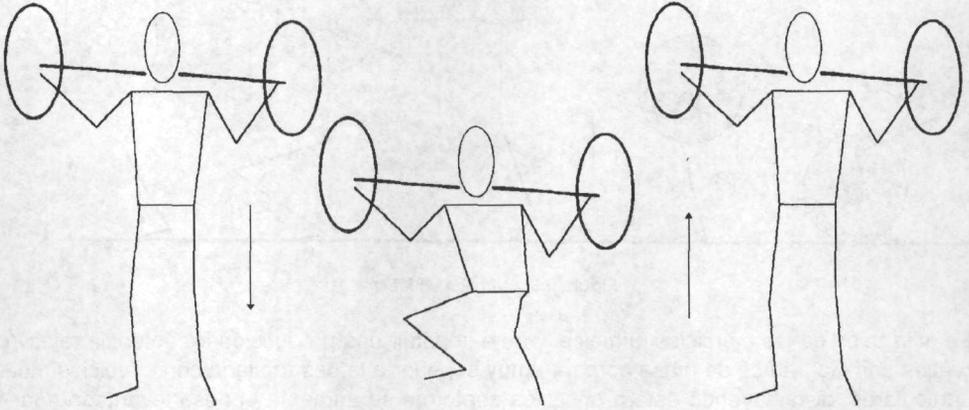


Figura II.2. Ejercicio de squat paralelo.

La justificación de la utilización de la cargada de fuerza como ejercicio olímpico y como método de entrenamiento combinado, busca aprovechar las aportaciones a nivel neurofisiológico y biomecánico que los ejercicios olímpicos y sus derivados conllevan. Garhammer y colaboradores (1992) hablan sobre el aumento gradual de la velocidad de la barra durante el primer tirón del ejercicio olímpico (Figura II.3, 1-3), la cual podría mantenerse o disminuir ligeramente durante unos instantes en la fase de transición al segundo tirón (Figura II.3, 3-4). Durante esta fase de transición, la ligera flexión de piernas produce un pequeño decrecimiento en la tensión del cuádriceps permitiendo una rápida contracción excéntrica a la vez que disminuye la aceleración de la barra. Esto produce un almacenamiento de la energía elástica que es transferida o retomada rápidamente durante la extensión de rodillas (contracción concéntrica del cuádriceps) en el segundo tirón o salto con la barra (Figura I.3, 4-5). El rápido alargamiento del cuádriceps durante el primer tirón facilita la actuación del reflejo miotático y por tanto aumenta la fuerza de contracción concéntrica durante el segundo tirón. Esto implica la actuación sobre el ciclo acortamiento-estiramiento, que es uno de los factores más importantes en el desarrollo de la fuerza explosiva (Cavagna, G.A. 1977), a la vez que se genera un gran aumento en la fuerza de aceleración muscular, transferida en el levantamiento de la barra. Tras la transición al segundo tirón, se produce un gran aumento en la fuerza de aceleración que se le imprime a la barra. Este movimiento explosivo es similar al de un salto vertical (principio de correlación dinámica de Verjoshansky). De hecho las fuerzas generadas contra el suelo son muy similares a las generadas en un salto vertical (Garhammer, J y R.J. Gregor. 1979).

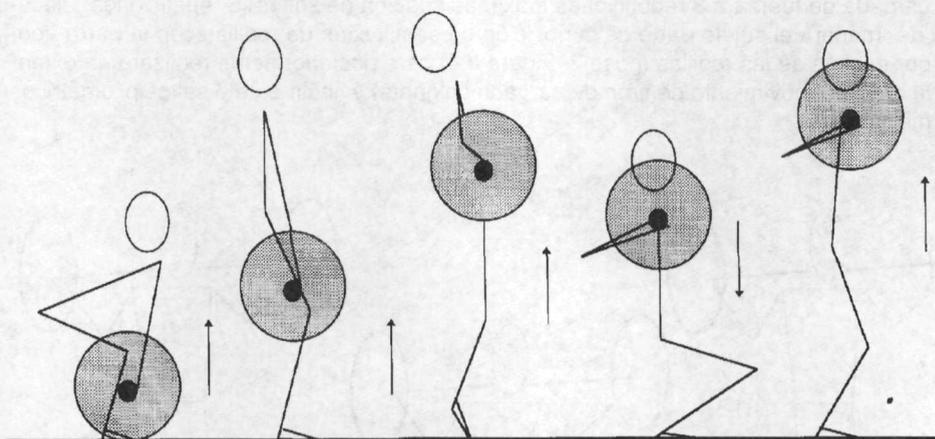


Figura II.3. Cargada de fuerza.

La utilización de los ejercicios olímpicos van a imprimir una producción de potencia relativa (vatios por kilogramos de masa corporal) muy superior a la desarrollada con ejercicios multiarticulares, disminuyendo esta producción conforme se aumenta el peso levantado (Garhammer y Gregor, 1992). Existen indicios de que los esfuerzos alrededor de un 80% de 1 RM (3-4 repeticiones máximas en ejercicios olímpicos) podrían estar cerca de la máxima producción de potencia o fuerza explosiva. En consecuencia los atletas que requieren mejorar su habilidad en el salto, pueden beneficiarse de la utilización de los movimientos olímpicos de Halterofilia como parte de su entrenamiento de fuerza en su programación, debido a que los mecanismos de salto son similares a la propulsión de fuerza que utilizan los atletas. Los fundamentos sobre la eficacia y utilización de estos ejercicios sobre la mejora de la potencia, están demostrados por otros autores (Lukachev, A., 1972; Podlivaev, B., 1975; Gue, N. 1991).

A continuación se describirán los sistemas de entrenamiento aplicados durante las distintas etapas de la fase experimental.

II.5.1. Etapa preparatoria

Por motivos de carácter metodológico se decidió que todos los sujetos realizaran el mismo tipo de ejercicios respetando en la medida de lo posible idénticos criterios de volumen e intensidad de esfuerzo para cada sujeto. Los preparadores físicos se encargaron de individualizar las cargas de entrenamiento en función de las capacidades particulares de cada deportista, tratando de llevar a cabo, sin embargo, la misma estructura de trabajo y técnica de ejecución de tales ejercicios.

Los objetivos de esta etapa preparatoria fueron los siguientes:

1. Desarrollar un nivel de fuerza general (el mínimo necesario) para la prevención de lesiones y facilitar el entrenamiento posterior de la fuerza explosiva. Se trata de una fase de

adaptación en la que los factores de hipertrofia son los predominantes en el entrenamiento de fuerza máxima, siendo menos importantes los factores de carácter neuronal, tanto en fuerza máxima como en fuerza explosiva.

2. Enseñar a todos y cada uno de los deportistas que intervinieron en el estudio la técnica correcta de ejecución de la cargada de fuerza, del squat paralelo y de los ejercicios pliométricos con sobrecarga ligera y sin sobrecarga.
3. Distribuir a los sujetos en los dos grupos de trabajo (GS y GOE).

Las sesiones de esta etapa fueron estructuradas en dos bloques:

- Bloque 1: Para la enseñanza-aprendizaje de la técnica de los ejercicios olímpicos. Los ejercicios se distribuyeron en una progresión metodológica que abarcaba cuatro grupos de movimientos.
- Bloque 2: consistía en un trabajo con sobrecarga, cuyos contenidos fueron variando a lo largo de la etapa.

La distribución de las sesiones durante toda esta etapa fue de la siguiente forma:

- Primeras ocho sesiones:

Cuyo primer bloque, de una duración aproximada de 20 minutos, estaba formado por el calentamiento y la enseñanza-aprendizaje de los ejercicios olímpicos (cargada de fuerza y squat paralelo). La metodología de este bloque consistía en la enseñanza de los dos primeros grupos de movimientos en progresión de dificultad; el fin último era el aprendizaje de la cargada de fuerza (Figura 1.4). Debido al carácter pedagógico de los ejercicios, los sujetos aprendían también las nociones técnicas del squat paralelo y de los ejercicios pliométricos a emplear en posteriores fases de entrenamiento.

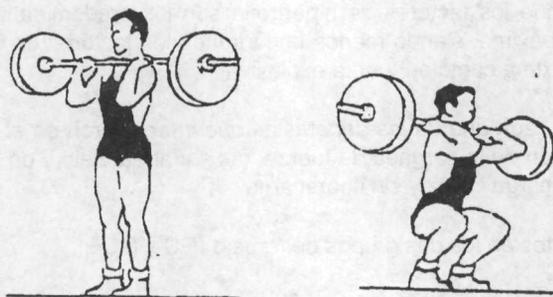
El segundo bloque, de una duración aproximada de 40 minutos, consistía en un circuito de fuerza general, en base a ejercicios multiarticulares y uniarticulares. Su aprendizaje por parte de los deportistas fue rápido, dado que se trataba de ejercicios con una técnica de movimiento sencilla y conocida de antemano por la mayor parte de los mismos.

- Las últimas seis sesiones:

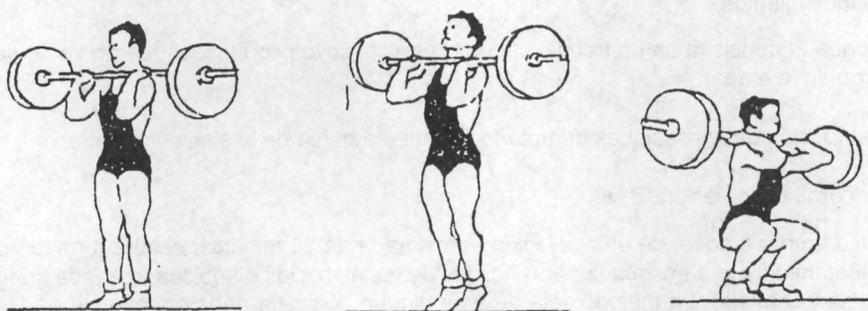
Mantén los bloques 1 y 2, pero cambiando su metodología y contenidos. El primer bloque estaba basado en un calentamiento general y en la enseñanza de la técnica del tercer y cuarto grupo de la progresión metodológica de la cargada de fuerza (Figura 1.5). El bloque segundo, se centraba en la realización del squat con cargas medianas, ejercicios pliométricos (con y sin carga) y cargadas de fuerza con pesos livianos y máxima corrección técnica.

II.5.2. Entrenamiento de la fuerza explosiva

Para este periodo de la fase experimental se emplearon 13 semanas (desde el 6-3-95 hasta el 4-6-95). En total se efectuaron 24 sesiones de entrenamiento. El proceso se dividió



Primer grupo. Desde posición de pié con los brazos flexionados y la barra colocada sobre los hombros y las clavículas en agarre de dos tiempos (pose 1) pasar a flexión de rodillas en media sentadilla con los muslos paralelos al suelo (pose 2)



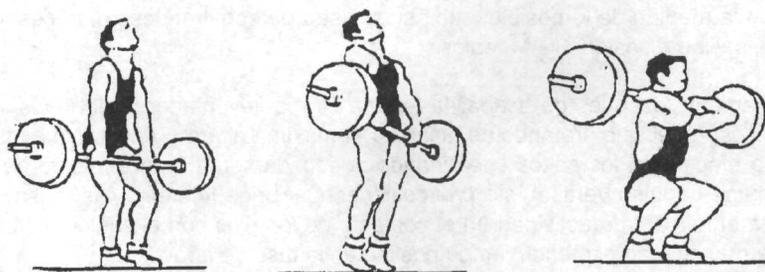
Segundo grupo. Desde posición de pié con los brazos flexionados y la barra colocada sobre los hombros y las clavículas en agarre de dos tiempos (pose 1) realizar un salto vertical para pasar a flexión de rodillas en media sentadilla con los muslos paralelos al suelo (pose 2).

Figura II.4. Progresión de ejercicios para el aprendizaje de la cargada de fuerza (adaptado de Badillo, 1991).

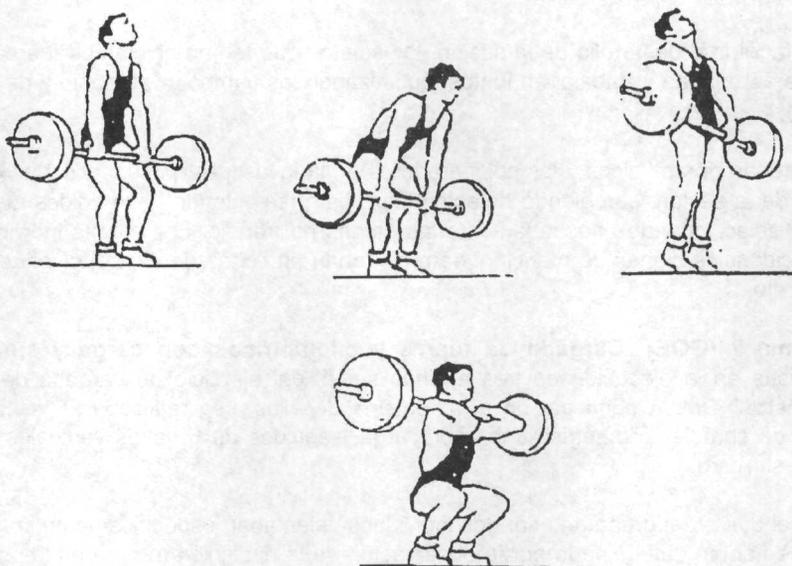
en dos etapas (apartado II.2); al inicio se realizó el control 1 después una primera etapa de 10 sesiones, a continuación el control 2 seguido de una segunda etapa de 14 sesiones al término de la cual se realizó el control 3.

El entrenamiento consistió en la combinación de series de ejercicios para el desarrollo de la fuerza máxima (velocidad de reclutamiento), del ciclo de contracción excéntrica-concéntrica y de la coordinación intermuscular. Lo aconsejable era que las series tuvieran una duración estimada entre 10 y 30 segundos con un tiempo aproximado de recuperación entre series de 4 minutos. También se recomendó que todos los movimientos fueran ejecutados a la máxima velocidad posible. Se realizaron dos entrenamientos semanales con una recuperación de 48 horas entre cada uno.

1. **Sistema 1 (GS): Squat paralelo y pliométricos sin cargas.** Básicamente consistió en la realización por parte de los sujetos de tres a cinco series, del ejercicio de squat paralelo con una carga que les permitía efectuar hasta 3 RM por serie. Tras cada una de ellas, se efectuaban 11 saltos verticales en el sitio (pliométricos), buscando la mayor reactividad y altura posible.



Tercer grupo. Ejercicio de cargada colgante a la posición de sentadilla. Partiendo de la posición de la barra ligeramente por encima del nivel de las rodillas (pose 3), se ejecuta un salto vertical para pasar rápidamente a la pose 2 y después extender las rodillas para llegar a la pose 1.



Cuarto grupo. Desde la posición en la cual la barra se encuentra ligeramente por encima de las rodillas (pose 3), bajar lentamente la barra unos 5-10 cm por debajo de las rodillas mediante una disminución del ángulo de la cadera (pose 4), vuelta a la pose 3 y salto vertical hasta colocarse rápidamente en la pose 2 y después a la pose 1.

Figura II.5. Progresión de ejercicios para el aprendizaje de la cargada de fuerza (adaptado de Badillo, 1991).

En cada serie, el sujeto realizaba las 3 RM ayudado por, al menos, dos compañeros más. Éstos se situaban a ambos lados para facilitarle la carga y descarga de la barra de discos sobre los hombros, así como para advertirle de posibles desequilibrios, ayudándole en caso de fallo muscular. El preparador físico supervisaba que los sujetos bajasen hasta tocar con la parte posterior de sus muslos una cinta elástica, situada como referencia de la flexión máxima en el squat paralelo. Con la ayuda de los compañeros y preparadores, el deportista tenía la confianza suficiente como para saber que no estaba sólo en su esfuerzo y debía emplearse al máximo de su capacidad sobre 3 RM. En sesiones posteriores, cada jugador sería consciente de cuál era su tope semanal, tra-

tando, en la medida de lo posible, subir su registro personal en los kg. necesarios para efectuar, sesión a sesión, 3 RM reales.

Inmediatamente después de acabar la tercera RM, el levantador iniciaba los 11 saltos pliométricos, en el sitio, tratando de alcanzar la máxima altura. Se instruyó a los sujetos para que efectuaran los saltos coordinando adecuadamente el movimiento de los brazos al darse impulso vertical, sin provocar desequilibrios laterales. Así mismo, se les enseñó a enfatizar la reactividad en el contacto de los pies con el suelo, buscando que éstos permanecieran el menor tiempo posible en la fase de apoyo.

La primera sesión de este entrenamiento se utilizó para obtener los datos sobre las cargas individuales para trabajar en el régimen de 3 RM en cada uno de los sistemas aplicados. Normalmente, en las dos primeras series se conseguía determinar la carga necesaria para cada individuo.

Para facilitar el desarrollo de la sesión, los sujetos que tenían niveles de fuerza similares se agrupaban y trabajaban juntos, optimizando los tiempos de trabajo y de recuperación.

Los preparadores físicos y los colaboradores en la investigación supervisaban el desarrollo de la sesión, corrigiendo defectos técnicos, manteniendo las medidas de seguridad y seleccionando adecuadamente las cargas de trabajo. Las cargas individuales y las incidencias dignas de mención, se registraban en fichas de control diseñadas para tal efecto.

2. Sistema 2 (GOE): Cargada de fuerza y pliométricos con carga y sin carga.

Consistía en la ejecución de tres a cinco series del ejercicio de cargada de fuerza, de hasta 3 RM. A continuación de cada una de ellas, se realizaban 5 saltos verticales de carácter pliométrico con sobrecarga, seguidos de 6 saltos verticales pliométricos sin carga.

Al igual que en el grupo anterior, los individuos calentaban específicamente con cargas que se habían determinado por la observación de la evolución técnica en las sesiones finales de la etapa preparatoria. Las sensaciones de los sujetos, así como las anotaciones de los preparadores físicos y de los investigadores que supervisaban el trabajo, eran elementos de juicio suficientes para establecer el rango de cargas de trabajo idóneo en cada jugador. Además, en la primera sesión de trabajo se emplearon las dos primeras series para concretar cuál era el peso correspondiente a 3 RM para cada individuo. En esta primera sesión se hizo necesario emplear un tiempo extra adicional, para determinar el peso a 1 RM que los sujetos eran capaces de levantar en el ejercicio de tirón de cargada colgante por encima de las rodillas. Este ejercicio se hizo tras el calentamiento específico, debido a la cantidad tan elevada de kg. que los sujetos debían mover. Para tal fin se habilitaron soportes especiales, de modo que la posición de partida se hiciera con la barra por encima de las rodillas.

Durante la ejecución de las cargadas de fuerza, los sujetos eran ayudados a descargar el peso por dos compañeros situados a ambos lados del ejecutante, que simultáneamente bajaban las pesas al suelo al completarse la cargada de fuerza. Si el levantador

tenía suficiente soltura, dejaba caer la barra de discos sobre el entarimado, e inmediatamente se colocaba en posición de inicio de una nueva repetición. Una vez completada la tercera RM, el levantador acudía a una barra de discos situada a una altura sobre el suelo superior a sus rodillas, colocada sobre unos soportes especiales. Allí ejecutaba 5 saltos pliométricos, en forma de tirones de cargada colgante con un peso del 30% de 1 RM. Se insistió en la máxima velocidad de ejecución, máxima altura de los saltos y mínimo desequilibrio en los apoyos. Nada más finalizar los saltos pliométricos, los sujetos dejaban la barra y se empleaban a fondo en 6 saltos pliométricos verticales consecutivos. Los brazos se podían utilizar para ayudarse en el impulso vertical y en el equilibrio, insistiéndose mucho en la reactividad de los apoyos y la explosividad de los movimientos. De este modo, los jugadores completaban una serie de trabajo. Transcurridos unos 3-4 minutos comenzaban una nueva serie, hasta completar las series de la sesión.

II.5.3. Seguimiento y control de las sesiones de entrenamientos

Con el fin de llevar un registro exhaustivo del trabajo de cada uno de los jugadores se elaboraron unas planillas de control y evaluación de los entrenamientos. Esto permitió ir variando las cargas empleadas de manera individualizada durante todo el periodo de entrenamiento (etapa preparatoria y de entrenamiento de la fuerza explosiva). A través de estas planillas los preparadores anotaban:

- La carga empleada por todos los sujetos en cada uno de los ejercicios, sesión por sesión.
- La evolución de la técnica de ejecución de los ejercicios conforme aumentaban las cargas de trabajo, así como los incidentes relacionados con enfermedad o lesión.
- Las posibles ausencias de jugadores a un entrenamiento y su causa, con el fin de recuperar las sesiones perdidas en horarios habilitados para tal fin.

II.6. CONTROLES DE ENTRENAMIENTO

Con el objeto de valorar el estado inicial de la fuerza explosiva de los deportistas (después de la etapa preparatoria) y la evolución seguida por los mismos después de las dos etapas de entrenamiento, se realizaron tres controles distribuidos a lo largo de toda la fase experimental (Figura II.1). Los controles consistieron en la aplicación de dos baterías de tests; una consistente en la utilización de tests de campo y la otra basada en el empleo de una plataforma dinamométrica.

II.6.1. Tests de campo

1. **Detán vertical (DV).** El objetivo del test es valorar la fuerza explosiva del tren inferior.
 - **Posición inicial.** El sujeto se sitúa de pie pegado lateralmente a una pared y con el miembro superior (derecho o izquierdo) abducido 180° hasta apoyar la mano sobre

dicha pared (Figura II.6). Previamente, el individuo debe manchar sus manos con magnesia de manera que al apoyar su mano sobre la pared deje una marca lo más nítida posible.

- **Posición de partida.** El sujeto se encuentra de pie y pegado lateralmente a la pared con los brazos en posición normal. La distancia a la pared debe ser igual a la que tenía el sujeto en la posición inicial. Para ello se recomienda, que una vez que el sujeto haya marcado la pared con su mano, se prepare para la posición de partida sin modificar la posición de sus pies.

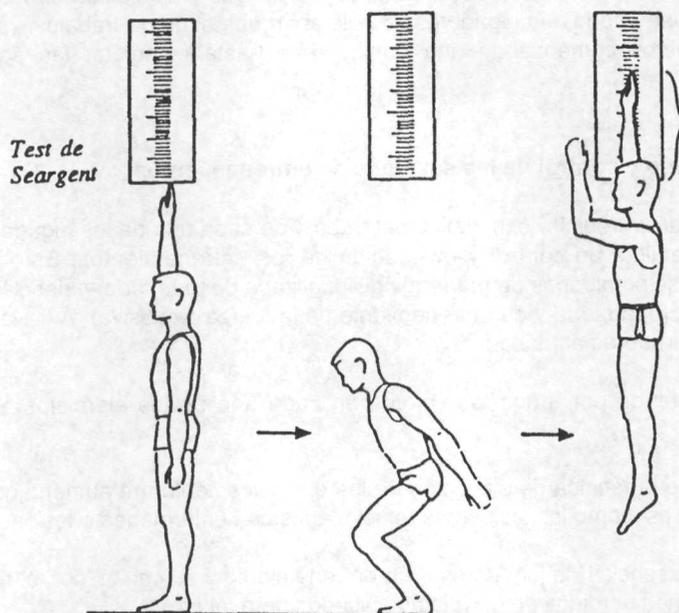


Figura II.6. Test de detán vertical (adaptado de Bosco, 1989).

- **Ejecución del movimiento.** El sujeto realiza un salto vertical con movimiento de flexión previa intentando tocar la pared con su mano en el punto más alto. La marca dejada por el ejecutante debe ser lo más nítida posible.
 - **Medida del detán.** Se efectuará midiendo con un metro la distancia vertical entre las dos manchas.
1. **Squat paralelo (SP).** El objetivo del test es valorar la fuerza máxima dinámica del tren inferior (Figura II.2):
- **Calentamiento y aprendizaje del ejercicio.** El ejercicio squat paralelo consiste básicamente en la realización -con sobrecarga- de una flexión seguida de una extensión de rodillas; normalmente se emplean pesas libres (soportes, barras, discos) que el sujeto coloca sobre sus hombros sujetándolas con sus brazos (Figura II.2). Previa-

mente a la realización del test, los sujetos calientan adecuadamente realizando dos series de 6 a 8 repeticiones con cargas ligeras y reproduciendo la técnica de ejecución del test.

- **Posición de partida.** Se coloca la barra sobre los hombros del sujeto. Los pies están separados a la anchura de los hombros, con las puntas abiertas ligeramente hacia fuera. En cada momento tres compañeros ayudan en la carga y descarga de la barra.
- **Ejecución.** Desde la posición de partida se flexionan las rodillas hasta que los muslos se encuentren paralelos al suelo. Alcanzado ese grado de flexión, el sujeto es avisado para que inicie la extensión completa de las piernas -sin despegar los talones de los pies del suelo. Se realizan series con cargas que permitan la ejecución de un máximo de 10 repeticiones (RM). Las flexiones se repiten de forma continua (sin brusquedad, controlando la subida y la bajada) hasta que el sujeto sea incapaz de levantar la carga (fallo muscular). Si el sujeto supera las 10 repeticiones, se tendrá que aumentar la carga y repetir la serie -después de haber descansado-. Este proceso se repite hasta llegar a una serie en la que el número de repeticiones máximas no exceda de 10.
- **Resultado del test.** Se anota el número de repeticiones máximas y la carga correspondiente.

II.6.2. Tests de laboratorio

Los tests que hemos denominado de laboratorio, son aquellos consistentes en la realización de distintos tipos de saltos verticales ejecutados sobre una plataforma dinamométrica. Son tests que tienen por objeto valorar la fuerza explosiva del tren inferior a partir del registro de la fuerza vertical ejercida por el sujeto sobre la plataforma durante la ejecución del salto. Los tests fueron los siguientes:

1. Salto vertical sin contramovimiento (Squat Jump, SJ) (Figura II.6).

- **Pesaje del sujeto.** El sujeto se coloca de pie encima de la plataforma permaneciendo inmóvil durante el tiempo en que el aparato registra al peso (2 s). El disparo de la plataforma se realiza por teclado (al pulsar el botón izquierdo del ratón).
- **Posición de partida.** El sujeto se coloca sobre la plataforma adoptando una flexión de rodillas y apoyando sus manos sobre las caderas. El sujeto flexiona sus rodillas en la angulación que estime oportuna para alcanzar la máxima altura en el salto.
- **Ejecución.** El sujeto espera la voz de aviso de la persona encargado del manejo de la plataforma. Este investigador pone en funcionamiento el equipo a la vez que da la voz de inicio. En ese momento, el sujeto que realiza el test debe ejecutar (sin realizar ningún descenso previo del centro de gravedad) el salto lo más rápidamente posible e intentando realizar un salto vertical a la máxima intensidad.

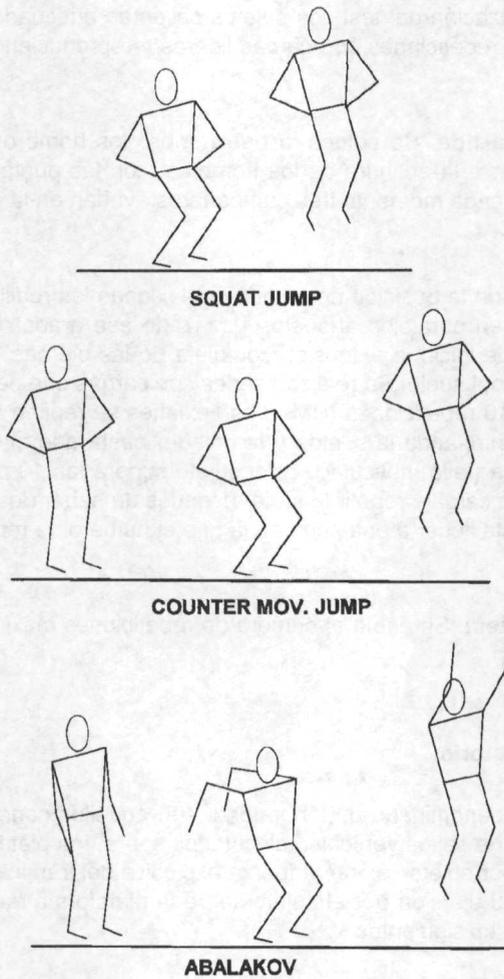


Figura II.7. Tests de salto vertical sobre plataforma.

- **Registro de los datos.** La fuerza vertical se registra a una frecuencia de 200 Hz siendo los valores almacenados en un fichero.
2. **Salto vertical con contramovimiento (counter movement jump, CMJ)** (Figura II.7). El protocolo de este test es idéntico al del caso anterior salvo que la posición inicial el sujeto se encuentra de pie con las manos en las caderas y la ejecución consiste en un salto vertical con movimiento de flexión previa.
 3. **Salto vertical con contramovimiento e impulso de brazos -test de abalakov- (CMJ_WA).** Es similar al test anterior pero realizando movimiento de brazos durante la ejecución (Figura II.7).

II.6.3. Protocolos de los controles

Los tres controles fueron realizados en el pabellón deportivo del IVEF en Cheste. Para cada control se utilizaron dos días sucesivos debido al elevado número de sujetos a valorar.

El desarrollo de cada sesión consistía en:

1. **Calentamiento:** Realizado por el preparador físico de cada equipo. Constaba de las siguientes partes: a) Calentamiento general y estiramientos (15 min. Aproximadamente) y b) Calentamiento específico y explicación de la técnica correcta de los tests a realizar (15 min. aproximadamente).
2. **Tests de salto vertical con la plataforma (tests de laboratorio).** Fueron supervisados y controlados por dos miembros del equipo investigador. Uno de ellos manejaba el ordenador conectado a la plataforma y el otro anotaba en una planilla, en la que figuraban los nombres de los jugadores, los nombres de los ficheros de cada salto. Los test fueron realizados en el siguiente orden:
 - Squat-Jump (SJ)
 - Counter Movement Jump (CMJ)
 - Salto vertical con contramovimiento e impulso de brazos (CMJ_WA)

Los sujetos realizaban dos intentos válidos de la mencionada secuencia de saltos, con el suficiente descanso para evitar la fatiga.

3. **Detán vertical.** Un miembro del equipo investigador controlaba la aplicación del test y anotaba los resultados del mismo en una planilla en la que los nombres de los sujetos figuraban escritos en forma de columna. Se realizaban dos intentos y se anotaba el mejor resultado.
4. **Test de squat paralelo (SP).** Concluidos los tests de salto vertical, los sujetos pasaban a la sala de musculación en donde se procedía a la ejecución de la prueba de fuerza máxima dinámica del tren inferior (SP). Dos investigadores controlaron la realización del test y registraron los resultados en una planilla similar a la utilizada en los casos anteriores.

II.7. TRATAMIENTO DE DATOS

El tratamiento de datos ha consistido en dos tipos de procesos:

- Obtención de las variables.
- Tratamiento estadístico.

II.7.1. Obtención de las variables

A partir de la información recogida con los tests aplicados en los controles del entrenamiento, se determinaron las variables del estudio. El tratamiento de datos efectuado para cada test, ha sido el siguiente:

1. **Test de Detán.** En este caso, los datos recogidos no necesitaron ningún tipo de tratamiento. Por consiguiente fueron introducidos directamente, desde la planilla utilizada

para anotar los resultados, en un ordenador a través de una hoja de cálculo. En definitiva, con los resultados correspondientes al test de detan se definieron las siguientes variables:

- **DV.** Es una columna en la que cada celda es el resultado del mejor intento (de los dos realizados) del test detán de cada sujeto expresado en centímetros.
- $\Delta DV = DV (\text{control } 3) - DV (\text{control } 1)$.

2. Test de squat paralelo. A partir de los resultados registrados (carga y número de repeticiones) se calculó la fuerza máxima (1 RM) apartir de la siguiente fórmula (Brzycki, 1993):

$$Fm (1RM) = CL / (1.0278 - 0.0278 * RM)$$

donde,

CL: carga levantada

RM: número de repeticiones realizadas con dicha carga.

Los datos de fuerza máxima fueron introducidos en un ordenador definiéndose de esta manera las siguientes variables:

- **SP.** Es una columna en la que cada celda es la fuerza máxima (1RM) de cada sujeto expresada en Kilos.
- $\Delta SP = SP (\text{control } 3) - SP (\text{control } 1)$.

3. Tests de salto vertical con plataforma. En cada uno de los 6 saltos registrados para cada sujeto (dos repeticiones de cada uno de los tres tests), se aplicó el tratamiento necesario para calcular el desplazamiento vertical del centro de gravedad (detán verdadero) -diferencia entre la altura máxima alcanzada por el CDG y la altura del mismo punto en el instante del despegue-.El proceso estaba compuesto por los siguientes pasos:

- a) Cálculo del impulso mecánico de la función fuerza de reacción vertical entre el instante de inicio del movimiento y el instante de despegue. Esto se hizo mediante el software de salida de resultados de la plataforma.
- b) Cálculo del impulso mecánico vertical total (impulso mecánico de la fuerza de reacción menos el impulso mecánico del peso).
- c) Cálculo de la velocidad de despegue:
- d) $Vd = (\text{Impulso mecánico vertical total}) / (\text{masa del sujeto})$
- e) Cálculo del desplazamiento del centro de gravedad (detán verdadero) mediante la fórmula:

$$\text{Detan} = (Vd)^2 / 2g$$

Los datos se introdujeron en un ordenador y se definieron las siguientes variables:

- **SJ.** Es una columna en la que cada celda expresa el valor del detán (desplazamiento vertical del CDG) en centímetros correspondiente al salto vertical desde flexión y manos en las caderas de cada sujeto.
- $\Delta SJ = SJ (\text{control } 3) - SJ (\text{control } 1)$.
- **CMJ.** Es una columna en la que cada celda expresa el valor del detán (desplazamiento vertical del CDG) en centímetros correspondiente al salto vertical con movimiento de flexión (contramovimiento) y manos en las caderas de cada sujeto.
- $\Delta CMJ = CMJ (\text{control } 3) - CMJ (\text{control } 1)$.
- **CMJ_WA.** Es una columna en la que cada celda expresa el valor del detán (desplazamiento vertical del CDG) en centímetros correspondiente al salto vertical con movimiento de flexión e impulso de brazos.
- $\Delta CMJ_WA = CMJ_WA (\text{control } 3) - CMJ_WA (\text{control } 1)$.

II.7.2. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico llevado a cabo con las variables del estudio se realizó con el paquete estadístico **Statgraphics**. Ha consistido en lo siguiente:

1. Análisis descriptivo de los datos.
2. Análisis de la varianza de las variables DV, SP, SJ, CMJ y CMJ_WA en función del factor control (tres niveles: control 1, control 2 y control 3).
3. Análisis de la varianza de las variables de incremento entre el control 1 y 3 frente al factor sistema de entrenamiento (dos niveles: sistema GS y GOE).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

III.1. BALONCESTO

III.1.1. Estadística descriptiva

En las tablas III.1, III.2 y III.3 se presentan los resultados de todos los test correspondientes a los tres controles. El número de sujetos pasó de 14 en el primer control a 12 en el segundo y ocho en el tercero. Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los esperado confirmando que los deportistas analizados son de un nivel que podemos catalogar de alto rendimiento. En efecto, se puede reseñar: un valor promedio —de los resultados de los tres controles del test detán de 61.4 cm ($\sigma = 3.5$, $n = 3$), del test de squat de 116.s K ($= 11.9$, $n = 3$) y del squat jump de 34.8 cm ($\sigma = 2.4$, $n = 3$).

CONTROL 1

BALONCESTO

6 DE MARZO DE 1995

nombre	DV (cm)	SP (k)	SJ (cm)	CMJ (cm)	CMJ_WA (cm)	club	sistema
CIRUGEDA	56,0	99,3	27,8	36,0	53,3	L'HORTA	GOE
AYORA	57,0	98,7	32,0	35,8	42,0	L'HORTA	GOE
SABAL	57,0	102,0	32,6	37,8	40,4	L'HORTA	GOE
GARCIA	61,0	95,3	30,4	31,2	42,2	L'HORTA	GOE
IGLESIAS	66,0	148,8	34,7	42,6	49,1	ALMACERA	GOE
BELDA	63,0	92,7	33,3	39,4	48,9	ALMACERA	GOE
BENAVENT	62,0	101,3	33,7	36,0	46,4	ALMACERA	GOE
RUIZ	56,0	112,5	30,6	34,7	38,2	L'HORTA	GS
MATAIX	52,0	72,0	26,5	29,3	33,3	L'HORTA	GS
CAMPO	63,0	117,7	35,7	37,9	47,1	L'HORTA	GS
CALATAYUD	59,0	112,5	31,8	31,5	41,4	ALMACERA	GS
MARTINEZ	52,0	101,3	32,7	34,8	40,1	ALMACERA	GS
LEGASPI	55,0	100,0	34,2	34,8	41,3	ALMACERA	GS
ARNAL	52,0	87,1	32,2	33,8	38,0	ALMACERA	GS
media	57,9	102,9	32,0	35,4	43,0		
desv. típica	4,5	17,4	2,5	3,4	5,3		

Tabla III.1. Resultados del control 1.

CONTROL 2

BALONCESTO

11 DE ABRIL DE 1995

nombre	DV (cm)	SP (k)	SJ (cm)	CMJ (cm)	CMJ_WA (cm)	club	sistema
CIRUGEDA	57,0	116,1	40,0	36,0	46,4	L'HORTA	GOE
AYORA	63,0	113,2	38,5	42,6	48,6	L'HORTA	GOE
SABAL	65,0	105,9	31,2	41,2	45,5	L'HORTA	GOE
GARCIA	61,0	85	*	*	*	L'HORTA	GOE
IGLESIAS	70,0	142,8	36,4	46,6	48,2	ALMACERA	GOE
BELDA	65,0	120	44,8	48,1	50,9	ALMACERA	GOE
BENAVENT	67,0	116,1	34,6	46,8	50,6	ALMACERA	GOE
RUIZ	62,0	146,7	36,9	42,5	50,1	L'HORTA	GS
MATAIX	51,0	*	34,7	37,2	41,2	L'HORTA	GS
CAMPO	65,0	133,6	42,5	47,2	60,9	L'HORTA	GS
CALATAYUD	61,0	142,8	34,1	36,8	54,4	ALMACERA	GS
MARTINEZ	49,0	116,1	32,6	35,5	38,1	ALMACERA	GS
LEGASPI	62,0	105,9	33,9	42,3	50,2	ALMACERA	GS
ARNAL	58,0	112,5	31,0	37,0	43,9	ALMACERA	GS
media	61,1	119,7	36,2	41,5	48,4		
desv. típica	5,8	17,6	4,2	4,7	5,8		

Tabla III.2. Resultados de los tests del control 2.

CONTROL 1

BALONCESTO

6 DE MARZO DE 1995

nombre	DV (cm)	SP (k)	SJ (cm)	CMJ (cm)	CMJ_WA (cm)	club	sistema
CIRUGEDA	59,0	118,3	32,4	37,8	48,4	L'HORTA	GOE
AYORA	62,0	118,3	31,8	39,2	46,1	L'HORTA	GOE
SABAL	64,0	111,2	34,2	35,9	44,3	L'HORTA	GOE
GARCIA	68,0	95,3	40,3	42,4	55,1	L'HORTA	GOE
IGLESIAS	75,0	148,2	40,0	49,4	60,5	ALMACERA	GOE
BELDA	*	*	*	*	*	ALMACERA	GOE
BENAVENT	*	*	*	*	*	ALMACERA	GOE
RUIZ	*	*	*	*	*	L'HORTA	GS
MATAIX	*	*	*	*	*	L'HORTA	GS
CAMPO	70,0	142,9	39,8	49,6	61,8	L'HORTA	GS
CALATAYUD	*	*	*	*	*	ALMACERA	GS
MARTINEZ	*	*	*	*	*	ALMACERA	GS
LEGASPI	63,0	130,9	39,2	42,6	53,3	ALMACERA	GS
ARNAL	59,0	142,9	32,1	33,2	39,4	ALMACERA	GS
media	65,0	126,0	36,2	41,3	51,1		
desv. típica	5,6	18,4	3,9	6,0	7,9		

Tabla III.3. Resultados de los tests del control 3.

A continuación se presentan las gráficas de los tests de detán, squat y salto vertical con contramovimiento y manos en las caderas (Figuras III.1, III.2, III.3, III.4, III.5 y III.6). En estos diagramas de barras pueden observarse los resultados obtenidos por cada individuo en cada uno de los dos equipos de baloncesto analizados. Esta forma de presentación de resultados puede ayudar a los entrenadores a evaluar el nivel de fuerza explosiva de cada individuo y a su vez a compararlo con el resto de los miembros del equipo. No debemos olvidar que, desde un punto de vista práctico, los resultados individuales son más importantes —para el entrenador— que los resultados globales expresados mediante datos estadísticos; para un equipo es más importante que cada sujeto mejore, aunque sea poco, que las conclusiones estadísticas que puedan ser extraídas de la investigación. Por ejemplo, al analizar los resultados del test de detán en los dos equipos, se comprueba que en ambos casos, salvo un jugador por cada equipo, todos los jugadores mejoraron del control 1 al control 2 (figuras III.1 y III.2). En squat paralelo, sólo tres jugadores entre los dos equipos no mejoraron sus registros de un control a otro (Figuras III.3 y III.4). En el test CMJ (sobre la plataforma) todos los jugadores (de los dos clubes) salvo uno mejoran sus registros del control 1 al 2 o del control 1 al 3 (Figuras III.5 y III.6).

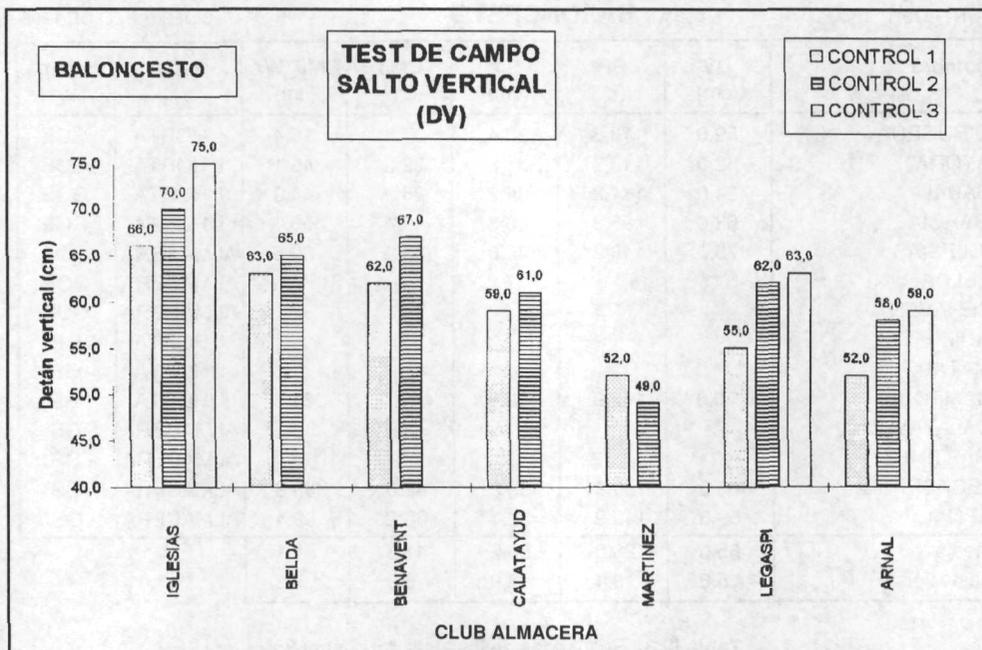


Figura III.1. Resultados del detán del club Almacera.

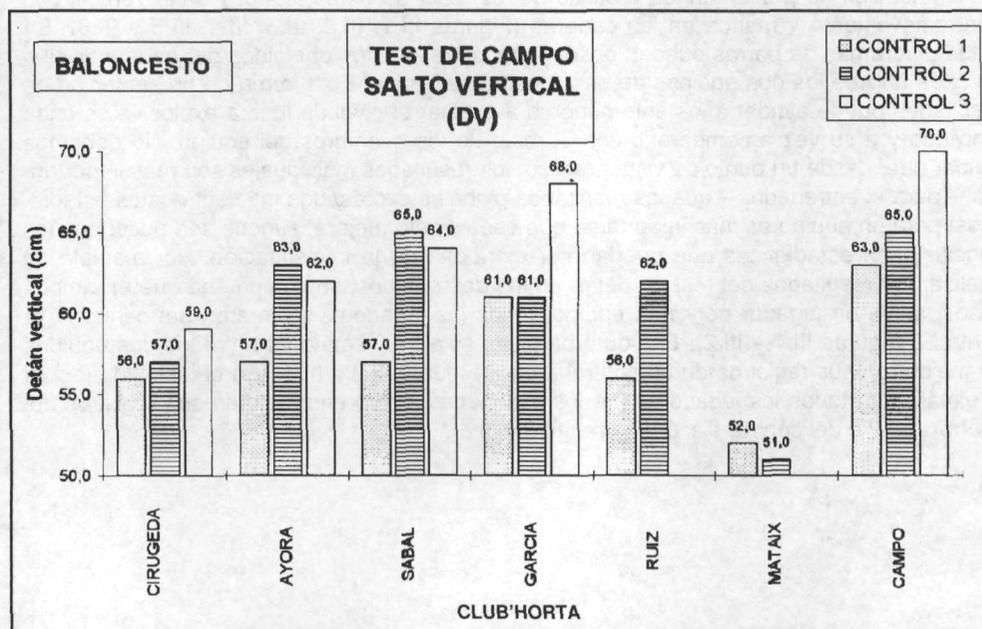


Figura III.2. Resultados del test detán del club L'Horta.

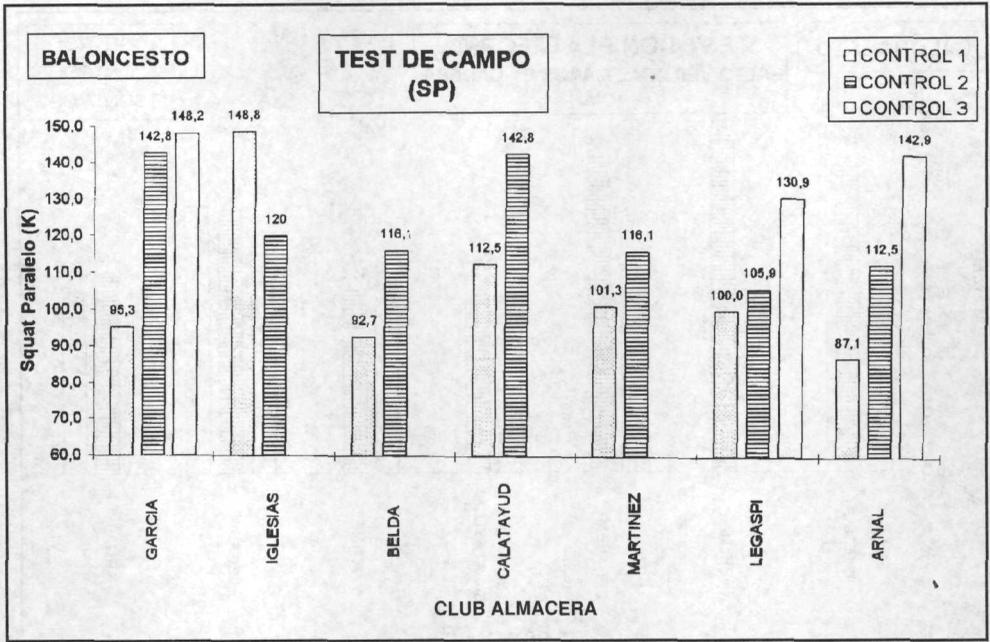


Figura III.3. Resultados del test squat paralelo del club Almacera.

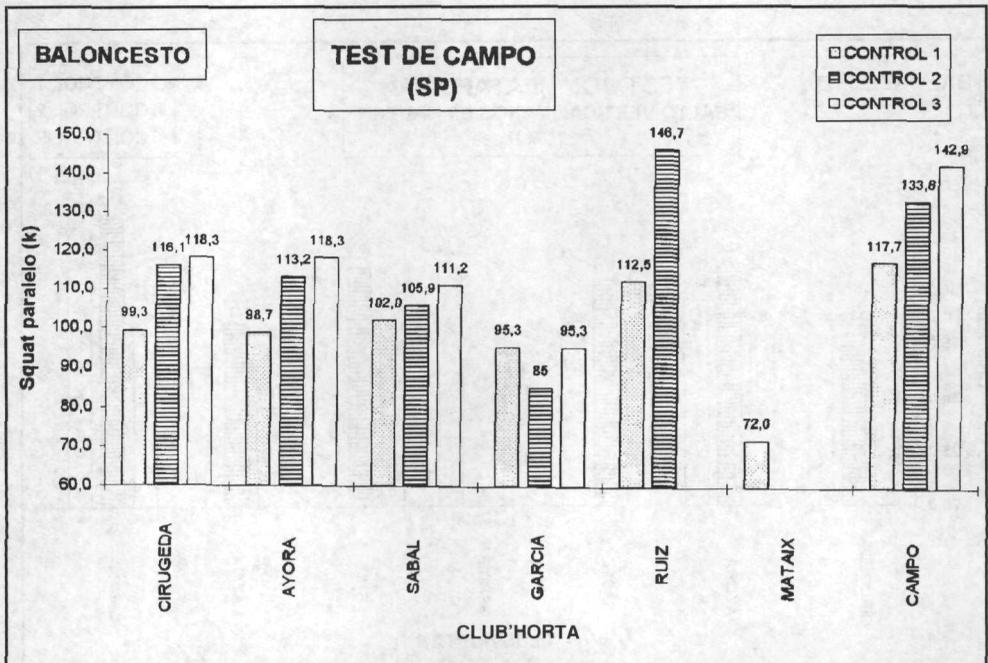


Figura III.4. Resultados del test squat paralelo del club L'Horta.

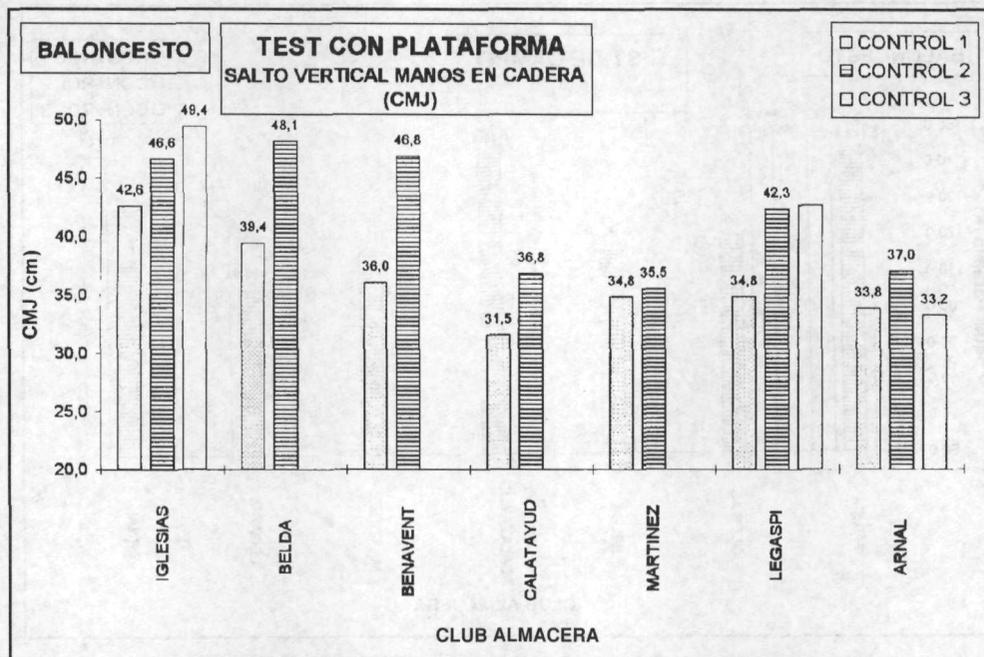


Figura III.5. Resultado del test CMJ del club Almacera.

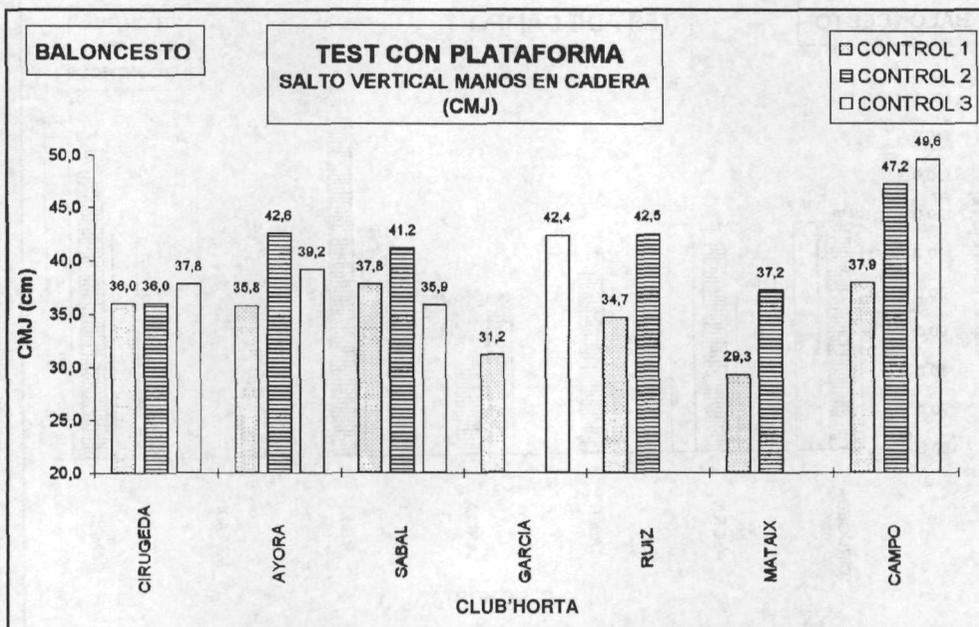


Figura III.6. Resultados del test CMJ del club L'Horta.

III.1.2. Comparación de resultados entre controles

En primer lugar se presentan en la tabla III.4 los datos correspondientes al Análisis de la Varianza de las variables a lo largo de los tres controles realizados. En este caso las variables se refieren al grupo completo, es decir, Grupo de Squat y Grupo Olímpico.

	CONTROL 1	CONTROL 2	CONTROL 3	p	p<0,05
SJ (cm)	32,0	35,0	36,2	0,0079	*
CMJ (cm)	35,4	41,5	41,3	0,0023	*
CMJ WA (cm)	42,9	48,4	51,1	0,0119	*
DV (cm)	57,9	61,1	65,0	0,0173	*
SP (k)	102,9	119,7	126,0	0,0106	*

Tabla III.4. ANOVA de las variables (factor control) en el grupo de baloncesto (n = 14)

Se observa un incremento significativo ($p < 0,05$) de todas las variables a lo largo de los controles. En concreto, como puede verse en la figura III.7, los sujetos obtienen una mejora (en promedio) de 7.1 cm en la prueba de detén vertical, entre el primer control y el tercero. Este aumento se corrobora al observar que los sujetos aumentan: 4,2 cm. en el desplazamiento vertical del CDG en el test de salto vertical desde la posición de flexión de piernas (SJ) con manos en la cadera (Figura III.8); 5,9 cm. en la prueba de salto en contramovimiento (CMJ) (Figura III.9) y 8.2 cm en el test de salto vertical sobre plataforma (CMJ_WA) (Figura III.10). También la fuerza máxima del tren inferior ha experimentado una mejoría de 23,1 kg. entre los controles 1 y 3 (Figura III.11). Los anteriores datos parecen confirmar que los sujetos han aumentado su capacidad de fuerza explosiva del tren inferior como consecuencia del entrenamiento aplicado.

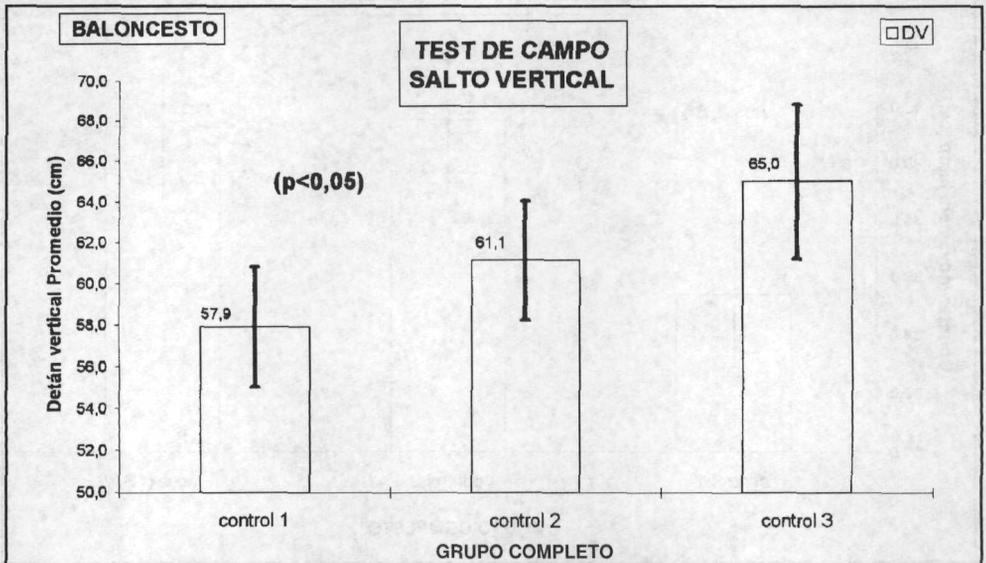


Figura III.7. Comparación de medias del test detén.

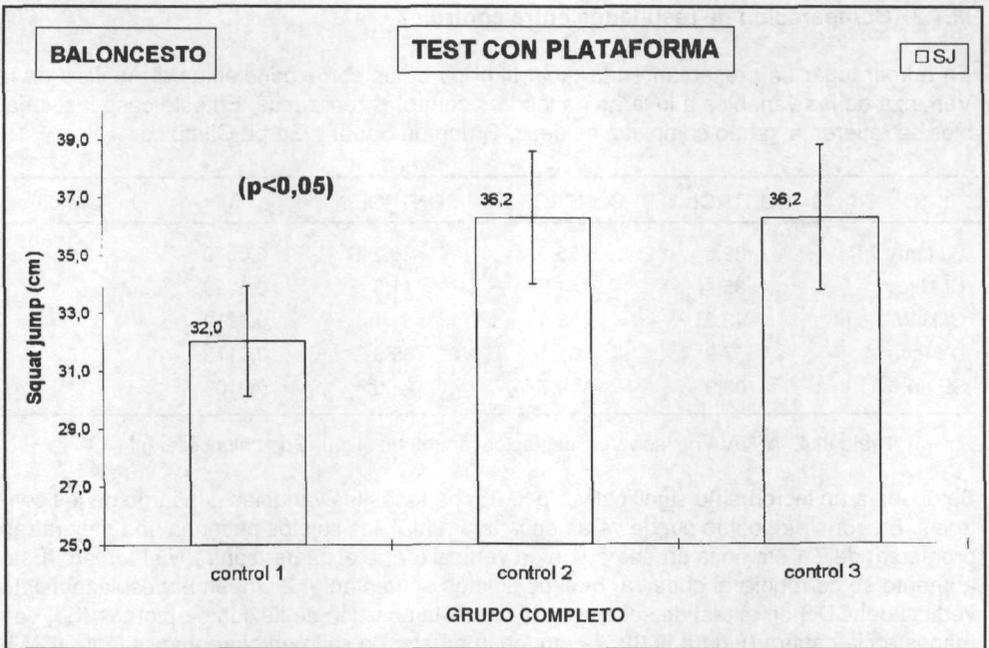


Figura III.8. Comparación de medias del test salto vertical desde flexión.

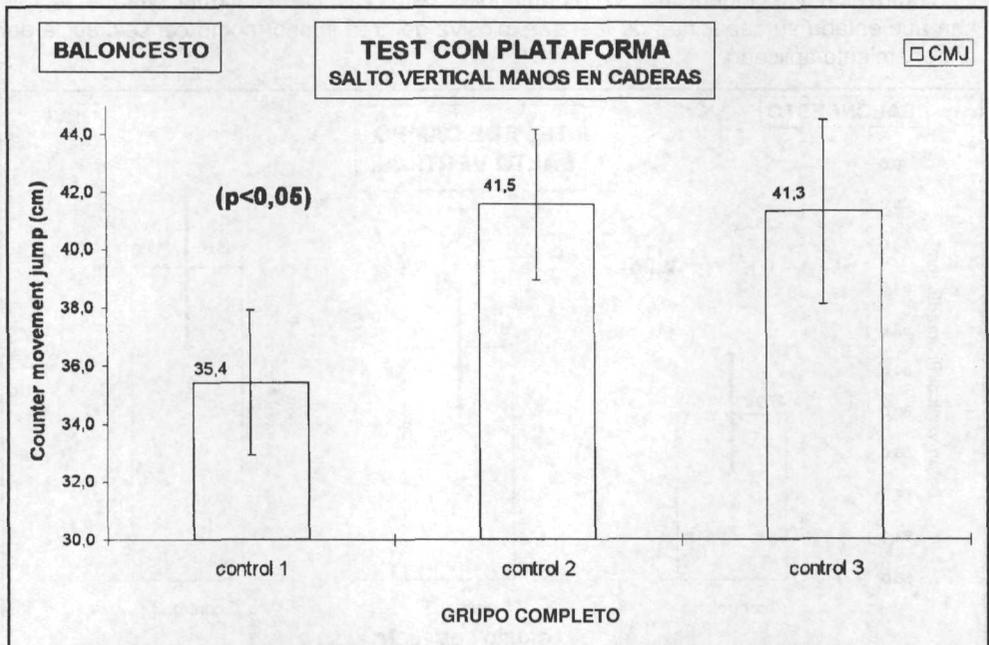


Figura III.9. Comparación de medias del test salto vertical con manos en las caderas (CMJ).

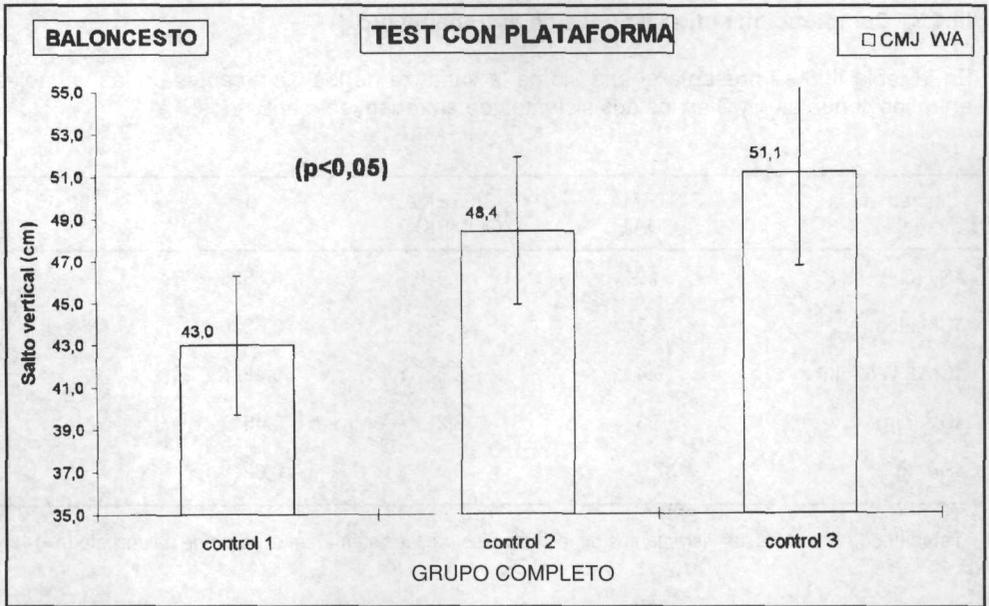


Figura III.10. Comparación de medias del test salto vertical con movimiento de brazos (CMJ_WA).

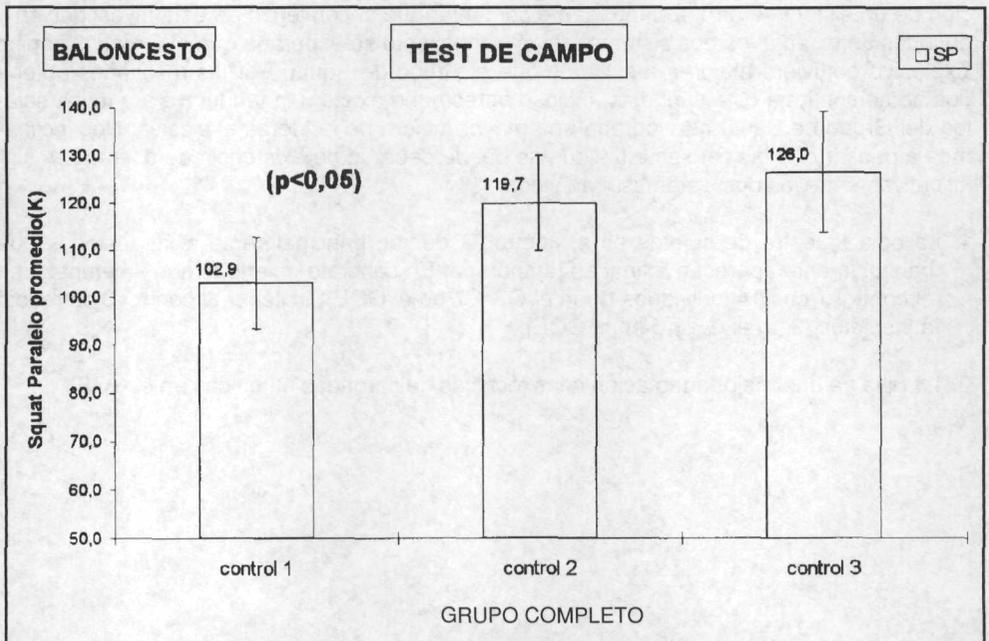


Figura III.11. Comparación de medidas del test de fuerza máxima (SP).

III.1.3. Comparación entre sistemas de entrenamiento

En la tabla III.5 se presenta el análisis de la varianza de los incrementos de las variables entre los controles 1 y 3 en los dos sistemas de entrenamiento aplicados.

Incrementos variables 1-3	SISTEMA SQUAT	SISTEMA OLÍMPICO	p	p<0,05
ΔSJ (cm)	3,0	4,2	0,6525	
ΔCMJ (cm)	6,3	4,2	0,6320	
ΔCMJ_WA (cm)	9,4	5,5	0,4886	
ΔDV (cm)	7,3	6,2	0,4517	
ΔSP (k)	37,3	9,4	0,0214	*

Tabla III.5. ANOVA de los incrementos de las variables (factor sistema) en el grupo de baloncesto (n=14)

Se constata que la única diferencia significativa encontrada entre ambos sistemas de entrenamiento, correspondiente a la mejora producida entre los controles 1 y 3, se debe, al aumento en la fuerza máxima medida por el test de squat ($p < 0,05$). Por consiguiente, de los datos anteriores se puede asegurar que no hay diferencias significativas entre la aplicación de un sistema u otro. Es importante comentar que al comienzo de esta investigación y después de diseñar los dos sistemas de entrenamiento se esperaba que el Grupo Olímpico Explosivo obtuviera mejores resultados que el Grupo de Squat. Por los resultados obtenidos no se confirma este supuesto, incluso parece que existe una tendencia a que los sujetos del Grupo de Squat han logrado una mayor mejora de la fuerza explosiva. Nos inclinamos a pensar que las causas a las que se puede deber la no existencia de diferencias significativas entre los dos sistemas, han sido:

1. La baja muestra de sujetos en el control 3, debido principalmente a las lesiones que habitualmente aparecen a final de temporada. En concreto, mientras que se empezó en el control 1 con 14 individuos (7 en el GS y 7 en el GOE), al llegar al control 3 se redujo a 8 sujetos (3 en el GS y 5 en el GOE).
2. La falta de una mejor adaptación a las técnicas de cargadas olímpicas en el GOE.

III.2. VOLEIBOL

En la tabla III.6, III.7 y III.8 se detallan los resultados correspondientes a los tres controles realizados. Se observa que el número de sujetos pasó de 10 en el primer y segundo control a ocho en el control tres. Se presentan los siguientes promedios; 65 cm ($\sigma = 2,9$, $n = 3$) para el test detán, 122,9 K ($\sigma = 9,1$, $n = 3$) en el squat paralelo y 38,8 cm ($\sigma = 0,9$, $n = 3$) en salto vertical sin contramovimiento. Estos datos demuestran que el nivel de rendimiento de los jugadores analizados, es elevado.

CONTROL 1

VOLEIBOL

7 DE MARZO DE 1995

nombre	DV (cm)	SP (k)	SJ (cm)	CMJ (cm)	CMJ_WA (cm)	club	sistema
MORENO	62,0	95,3	34,2	39,4	38,0	CONQUERIDOR	GOE
SIMO	67,0	112,5	40,9	45,8	51,8	CONQUERIDOR	GOE
LA PAZ	62,0	101,3	39,2	43,8	52,5	CONQUERIDOR	GOE
CERVERA	62,0	121,9	34,7	38,6	48,6	CONQUERIDOR	GOE
PIRO	61,0	95,3	36,9	33,9	47,6	CONQUERIDOR	GOE
SANCHEZ	60,0	124,1	36,2	44,9	49,4	CONQUERIDOR	GS
F. PIRO	60,0	116,5	37,9	39,5	50,0	CONQUERIDOR	GS
PÉREZ	57,0	126,0	32,8	36,0	52,4	CONQUERIDOR	GS
ORTÍ	66,0	130,4	50,2	54,2	59,4	CONQUERIDOR	GS
CASTILLO	68,0	114,0	36,2	44,9	49,4	CONQUERIDOR	GS
media	62,5	113,7	37,9	42,1	50,9		
desv. típica	3,5	12,7	4,9	5,9	3,5		

Tabla III.5. Resultados de los tests del primer control.

CONTROL 2

VOLEIBOL

11 DE ABRIL DE 1995

nombre	DV (cm)	SP (k)	SJ (cm)	CMJ (cm)	CMJ_WA (cm)	club	sistema
MORENO	64,0	104,5	36,8	43,2	45,5	CONQUERIDOR	GOE
SIMO	72,0	130,9	41,0	43,7	56,6	CONQUERIDOR	GOE
LA PAZ	68,0	95,3	49,6	45,0	55,3	CONQUERIDOR	GOE
CERVERA	67,0	121,8	42,7	42,2	52,3	CONQUERIDOR	GOE
PIRO	62,0	120,1	34,0	38,0	49,3	CONQUERIDOR	GOE
SANCHEZ	60,0	131,0	39,2	46,4	50,2	CONQUERIDOR	GS
F. PIRO	63,0	116,5	38,4	44,3	49,1	CONQUERIDOR	GS
PÉREZ	55,0	156,0	35,3	38,1	46,7	CONQUERIDOR	GS
ORTÍ	70,0	127,1	42,0	52,2	60,4	CONQUERIDOR	GS
CASTILLO	70,0	127,8	39,0	49,0	59,7	CONQUERIDOR	GS
media	65,1	123,1	39,8	44,2	52,5		
desv. típica	5,3	16,4	4,4	4,4	5,3		

Tabla III.7. Resultados de los tests del segundo control.

nombre	DV (cm)	SP (k)	SJ (cm)	CMJ (cm)	CMJ_WA (cm)	club	sistema
MORENO	64,0	120,0	38,6	40,5	54,2	CONQUERIDOR	GOE
SIMO	74,0	130,9	42,9	52,8	60,6	CONQUERIDOR	GOE
LA PAZ	69,0	110,3	42,9	44,3	50,0	CONQUERIDOR	GOE
CERVERA	65,0	123,4	36,4	40,4	45,6	CONQUERIDOR	GOE
PIRO	64,0	105,0	31,2	35,3	46,2	CONQUERIDOR	GOE
SANCHEZ	*	*	*	*	*	CONQUERIDOR	GS
F. PIRO	*	*	*	*	*	CONQUERIDOR	GS
PÉREZ	66,0	163,6	35,8	43,2	49,2	CONQUERIDOR	GS
ORTÍ	72,0	158,8	44,8	56,8	63,8	CONQUERIDOR	GS
CASTILLO	72,0	144,0	37,2	45,4	49,4	CONQUERIDOR	GS
media	68,3	132,0	38,7	44,8	52,4		
desv. típica	4,0	21,6	4,5	7,0	6,7		

Tabla III.8. Resultados de los tests del tercer control.

A continuación se presentan las gráficas de los tests de detán, squat y salto vertical con contramovimiento y manos en las caderas (Figuras III.12, III.13, III.14). En estos diagramas de barras pueden observarse los resultados obtenidos por cada individuo a lo largo de todo el proceso experimental. Desde el punto de vista de los resultados individuales se puede decir que la mayoría de los sujetos mejoraron sus resultados del primer al tercer control. Por ejemplo, en los tests de campo (detán y squat paralelo) más del 70% de los jugadores presentaron una mejoría del control 1 al 3 (Figuras III.12 y III.13); en test de salto vertical con manos en las caderas ejecutado sobre la plataforma (Figura III.14) el 80% mejoraron sus registros del control 1 al 3. Sin embargo, hay que destacar que se dieron bastantes casos (más que en baloncesto) en los que los jugadores tuvieron una bajada de su rendimiento del segundo al tercer control lo que puede atribuirse a una realización incorrecta del entrenamiento o a las faltas de asistencia a los mismos.

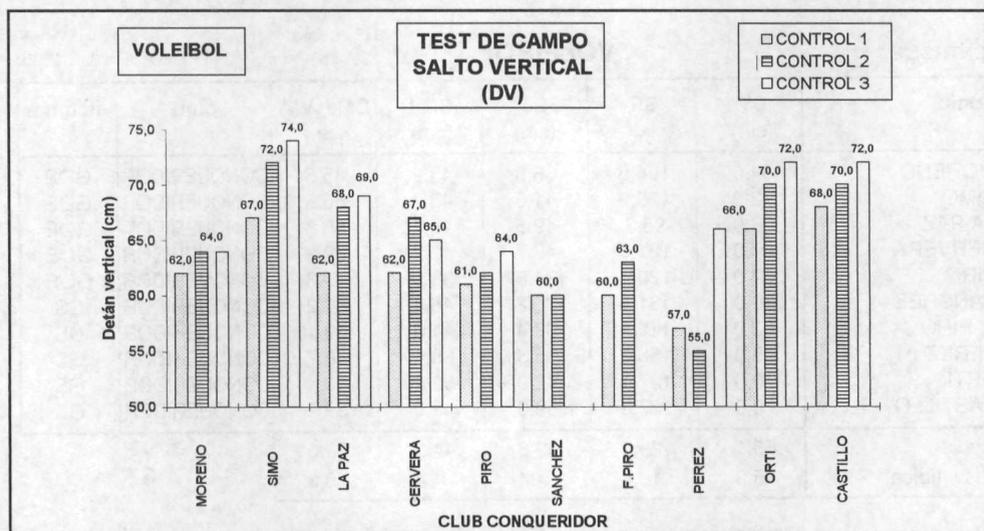


Figura III.12. Resultados del test de detán.

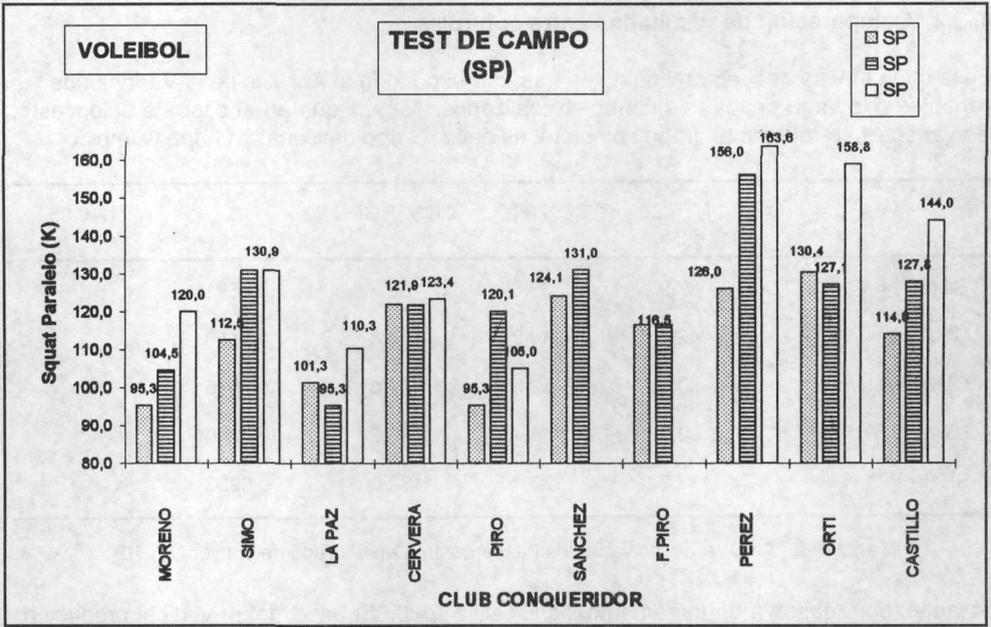


Figura III.13. Resultado del test de squat.

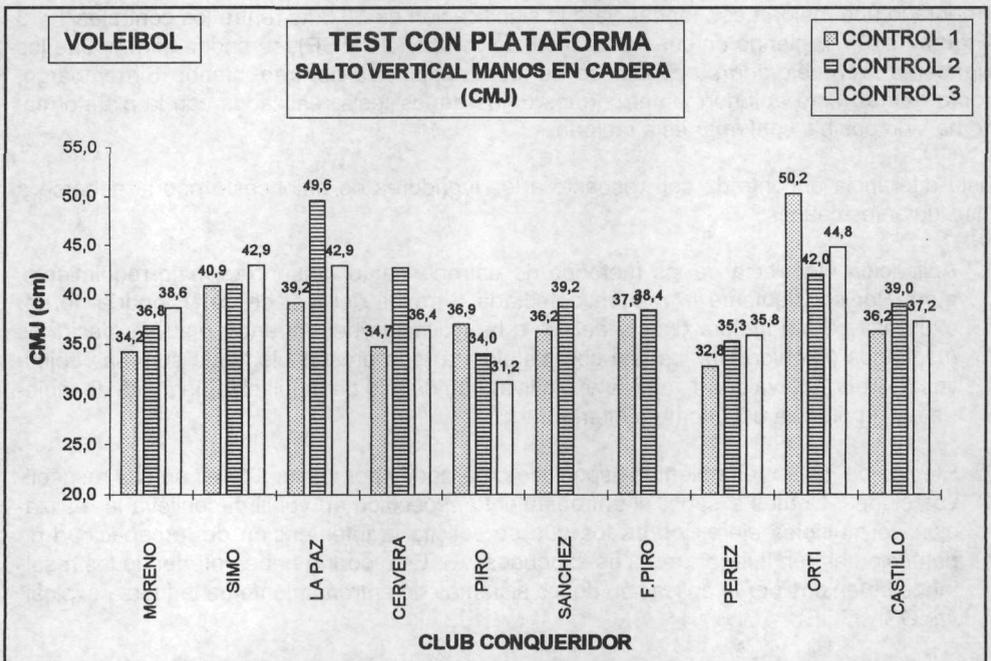


Figura III.14. Resultados del test de salto vertical en plataforma.

III.2.2. Comparación de resultados entre controles

En la tabla III.9 se encuentran los datos que corresponden al Análisis de la Varianza de las variables a lo largo de los tres controles realizados. Al igual que en el caso de baloncesto, las variables se refieren al grupo completo, es decir, Grupo de Squat y Grupo Olímpico.

	CONTROL 1	CONTROL 2	CONTROL 3	p	p<0,05
SJ (cm)	37,9	39,8	38,7	0,6671	
CMJ (cm)	42,1	44,2	44,8	0,5653	
CMJ_WA (cm)	50,9	52,5	52,3	0,7526	
DV (cm)	62,5	65,1	68,3	0,0340	*
SP (k)	113,7	123,1	132,0	0,0932	

Tabla III.9. ANOVA de las variables (factor control) en el grupo de voleibol (n=10)

Solamente se observa un incremento significativo ($p < 0,05$) en el detán vertical produciéndose un incremento de las medidas entre los controles 1 y 3, de 5,8 cm (Figura III.15). En todos los datos valorados con la plataforma de saltos, los sujetos no experimentan una mejora significativa (Figura III.16, III.17 y III.18). La fuerza máxima del tren inferior ha experimentado una mejora con tendencia a la significación de 18.3 kg. entre los controles 1 y 3 (Figura III.19). Teniendo en cuenta los tests de campo (DV y SP), se podría afirmar que los jugadores han mejorado su capacidad de fuerza explosiva del tren inferior. Sin embargo, como hemos visto anteriormente, con los datos de los tests realizados con la plataforma, no ha sido posible confirmar esta mejora.

Esta diferencia encontrada con respecto a los jugadores de baloncesto podría deberse a las siguientes causas:

1. Aplicación incorrecta de los métodos de entrenamiento (ausencias, bajo rendimiento, etc.). Por consiguiente la mejora detectada a través del test de detán podría no ser explicativa de la mejora directa debida a la aplicación del entrenamiento, es decir, los resultados obtenidos de los test con plataforma (que presumiblemente son más objetivos a la hora de valorar la fuerza explosiva) han dejado de manifiesto una falta de mejora en la potencia del miembro inferior.
2. Efectos de los entrenamientos específicos realizados por los jugadores en sus respectivos clubes. Como se sabe, el entrenamiento específico en voleibol conlleva la realización de múltiples ejercicios en los que se solicita la intervención de la capacidad de potencia del tren inferior (remates, bloqueos, ...). Esto podría haber interferido los resultados obtenidos por la aplicación de los sistemas de entrenamiento de la fuerza explosiva (GS y GOE).
3. Reducido número de sujetos. N = 10, (10 en el control 1, 2 y 8 en el control 3).

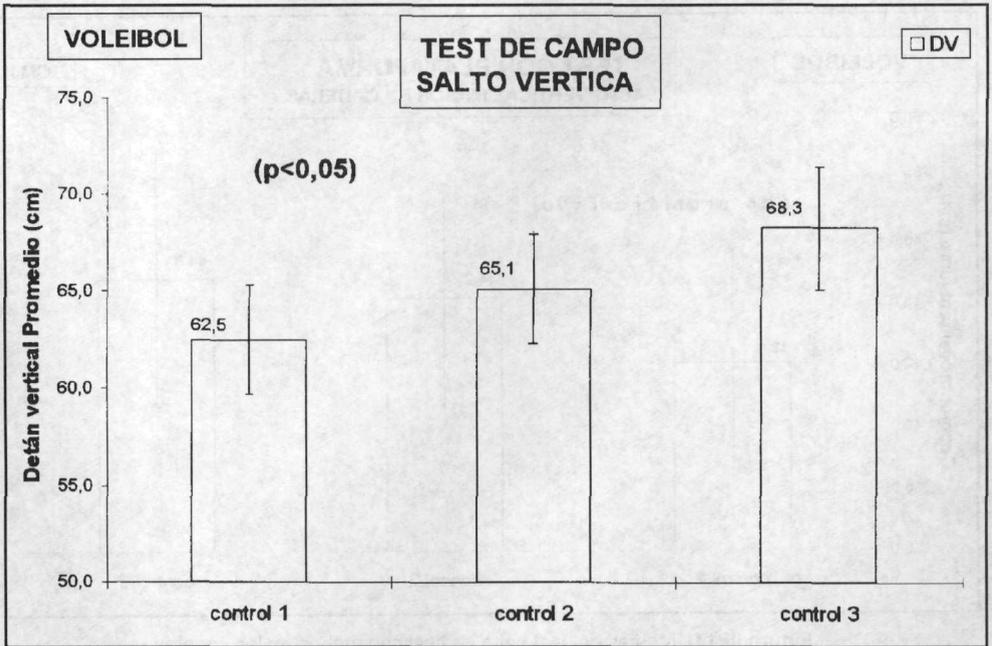


Figura III.15. Medias del test detán.

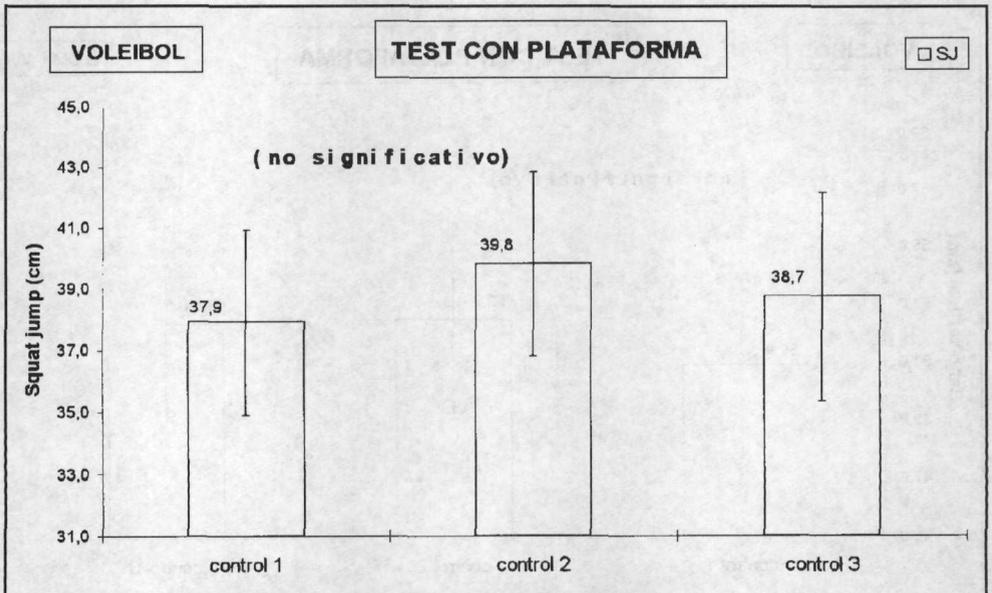


Figura III.16. Medias del test squat jump.

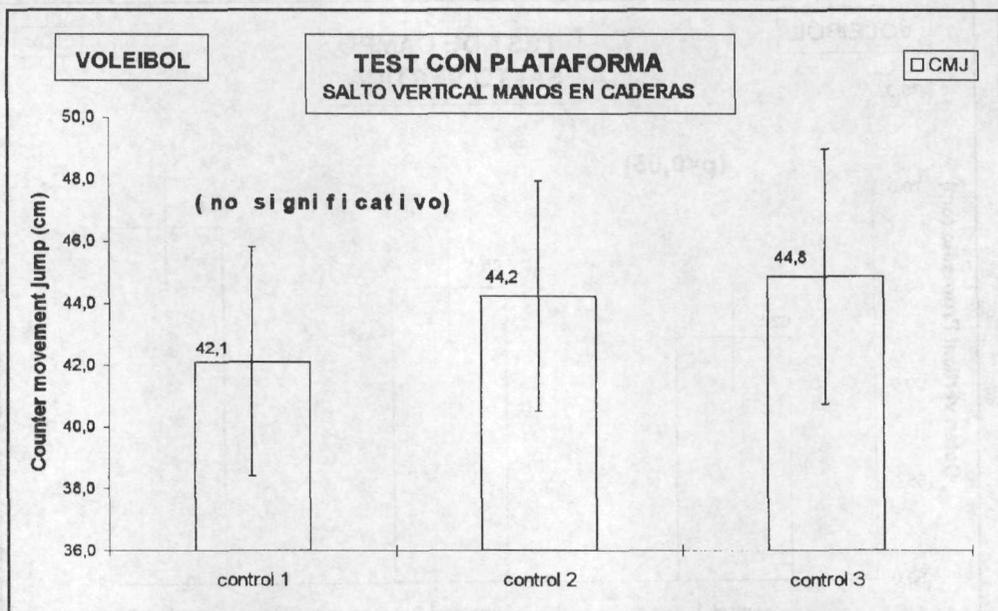


Figura III.17. Medias del test salto vertical con manos en las caderas.

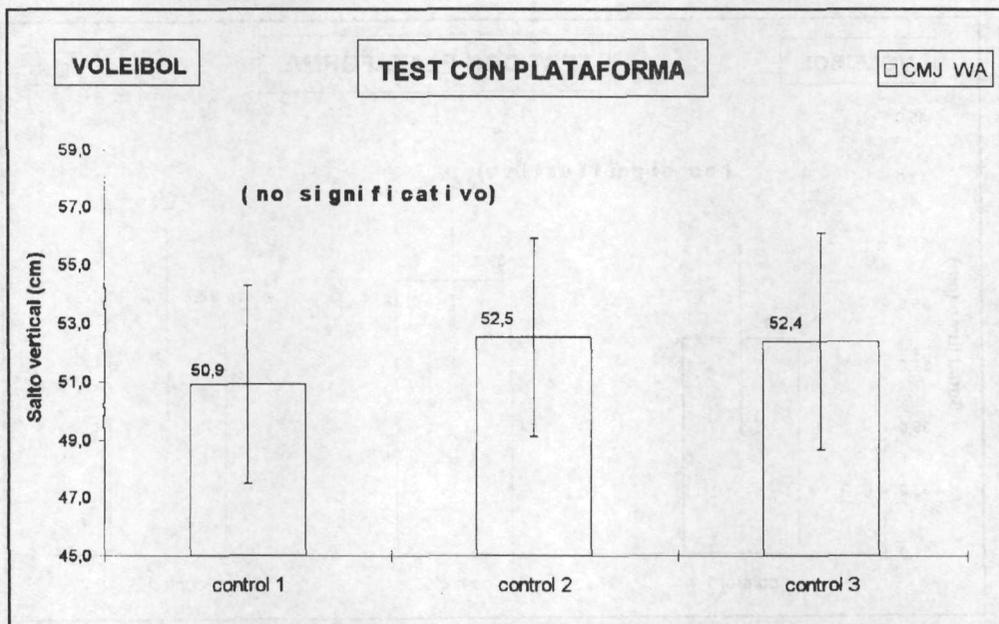


Figura III.18. Medias del test salto vertical con movimiento de brazos.

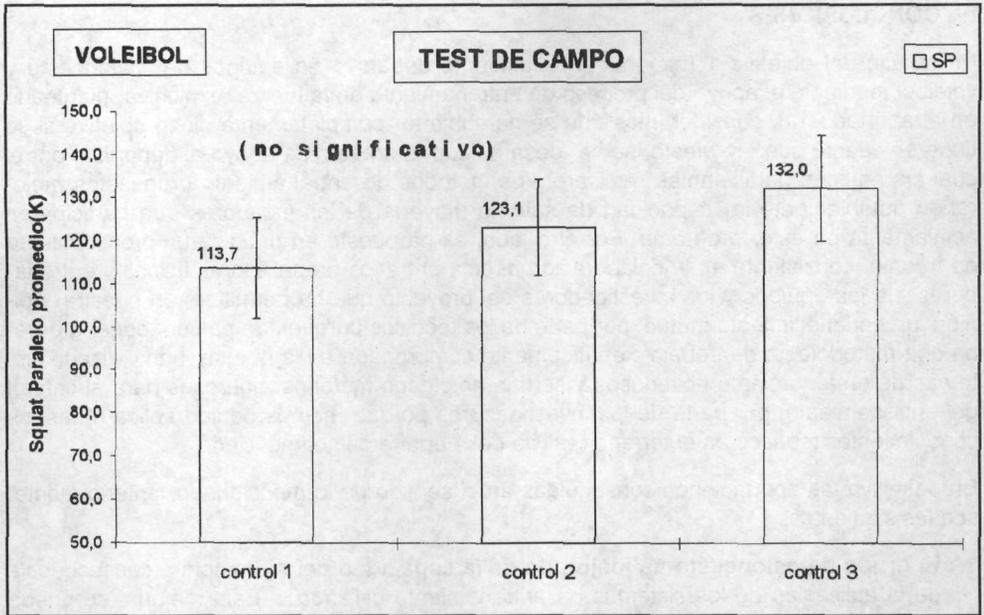


Figura III.19. Medias del test de fuerza máxima.

III.2.3. Comparación de los sistemas de entrenamiento

En la tabla III.10 se presenta el análisis de la varianza de los incrementos de las variables entre los controles 1 y 3 en los dos sistemas de entrenamiento aplicados.

Incrementos variables 1-3	SISTEMA SQUAT	SISTEMA OLÍMPICO	p	p<0,05
Δ SJ (cm)	-0,5	1,2	0,6040	
Δ CMJ (cm)	3,4	2,4	0,6398	
Δ CMJ_WA (cm)	0,4	1,6	0,7524	
Δ DV (cm)	6,3	4,4	0,3205	
Δ SP (k)	32,0	12,7	0,0152	*

Tabla III.10. ANOVA de los incrementos de las variables (según el factor sistema) en el grupo de voleibol (n=10)

Al igual que en los jugadores de baloncesto, se constata que la única diferencia significativa encontrada entre ambos sistemas de entrenamiento, correspondiente a la mejora producida entre los controles 1 y 3, se debe, al aumento en la fuerza máxima medida por el test de squat ($p < 0,05$). Por consiguiente, de los datos anteriores se puede asegurar que no hay diferencias significativas entre la aplicación de un sistema u otro. Únicamente, en el caso de los tests de campo parece observarse una tendencia a un mayor incremento en los sujetos a los que se les aplicó el sistema de squat.

IV. CONCLUSIONES

En relación al objetivo 1 (mejorar el rendimiento deportivo en equipos de baloncesto y voleibol mediante el apoyo del proceso de entrenamiento de la fuerza explosiva) planteado en el apartado 1.8, consideramos que se ha cubierto completamente dicho objetivo si se tiene en cuenta que, en efecto, se ha desarrollado un trabajo de apoyo al deportista por el cual los equipos participantes aplicaron los métodos de entrenamiento propuestos mejorando notablemente la capacidad de salto la mayoría de los jugadores que participaron activamente en este programa. Por otro lado, se ha puesto en práctica un procedimiento de trabajo consistente en la colaboración directa entre los preparadores físicos y entrenadores de los equipos y los investigadores del proyecto que ha permitido, en nuestra opinión, un enriquecimiento mutuo; por parte de los técnicos porque han podido poner a prueba una metodología de trabajo científicamente comprobada en la que se han utilizado sistemas de entrenamiento novedosos y se han empleado métodos rigurosos para el control del entrenamiento; por parte de los investigadores porque hemos podido aplicar nuestros conocimientos teóricos en el terreno realista del deporte de competición.

En definitiva las aportaciones conseguidas en el sentido de lo mencionado anteriormente, son las siguientes:

1. **El grupo de baloncesto ha mejorado de la capacidad del salto** como consecuencia de la aplicación de los sistemas de entrenamiento utilizados. Esta mejoría, se puede estimar entre 7 y 8 cm. cuando el salto se realiza con movimiento de brazos.
2. Si bien es cierto que el grupo de voleibol ha manifestado, a través de los resultados del test de detán, una mejoría de la capacidad de salto que se puede estimar próximo a los 6 cm, debe recalcar el hecho de que esta mejora no se haya manifestado también a través de los tests con plataforma. Esto podría suponer que los deportistas no se han adaptado bien a la ejecución de saltos sobre la plataforma, sin embargo, nos inclinamos más a pensar todo lo contrario, es decir, que los tests con plataforma han valorado muy objetivamente el nivel de entrenamiento de los sujetos siendo en realidad poco fiable la mejora (debida a la aplicación de los sistemas de entrenamiento utilizados) detectada.
3. **Se han aplicado sistemas de entrenamiento específicos de la fuerza explosiva en deportes de equipo durante un período competitivo.** Es sabido que los deportes de equipo desarrollan un período competitivo muy largo (más de nueve meses) en el que los jugadores entran a prueba todas las semanas e incluso en algunas ocasiones dos veces. Esto restringe en muchas ocasiones el tiempo que los entrenadores dedican a la preparación física siendo ésta, en muchas ocasiones, relegada a un segundo puesto en relación al entrenamiento de la técnica y de la táctica. Si por un lado, el haber puesto en práctica sistemas de entrenamiento basados en el uso de pesas en deportes como el baloncesto y el voleibol, puede considerarse un determinado éxito, por otro lado, ha supuesto poner en evidencia la realidad que nos rodea ya que en muchas ocasiones fue realmente difícil conseguir que todo los miembros de los equipos o al menos un porcentaje elevado pusieran en práctica de forma rigurosa todo el plan de entrenamiento previsto. Esto ha motivado que la muestra final haya sido muy reducida ya que para empezar el número inicial (después del primer control) de sujetos fue muy bajo (solo 35 de tres equipos) y la mortandad experimental también fue elevada (11 sujetos).

4. **Se ha realizado un trabajo de asesoramiento** mediante el cual los técnicos de los equipos (preparadores físicos y entrenadores) han puesto a prueba una metodología de trabajo contrastada científicamente.

En relación a los objetivos encaminados a la obtención de resultados y conclusiones de carácter propiamente científico, se concluye a modo de resumen que los métodos empleados han funcionado bien dado que han producido mejora en los sujetos, sin embargo, no se han encontrado diferencias entre ambos métodos a pesar de que inicialmente los investigadores de este proyecto consideraron a priori que el sistema basado en la utilización de la cargada de fuerza iba a producir mayores mejoras que el sistema clásico (basado en el ejercicio squat). En resumen se concluye lo siguiente:

1. Se ha desarrollado una metodología para el desarrollo de la fuerza explosiva del tren inferior en deportes de equipo que contiene: dos sistemas de entrenamiento con sus protocolos correspondientes; un protocolo específico para la realización de una etapa preparatoria -con especial incidencia en el aprendizaje de los ejercicios de squat y de la cargada de fuerza- cuya misión principal es hacer que el posterior proceso de entrenamiento se desarrolle con eficacia y con seguridad -evitando las lesiones de los sujetos-; y un protocolo para el control periódico del entrenamiento consistente en la aplicación de una batería de tests de campo y de laboratorio.
2. Los sistemas empleados han producido mejoras en el nivel de la fuerza explosiva y por consiguiente cualquiera de ellos podría ser utilizado en un futuro.
3. No se han encontrado diferencias significativas entre los métodos de entrenamiento (GS y GOE) utilizados. Sin embargo, dado que la muestra en cada grupo ha sido muy reducida consideramos que el sistema de entrenamiento basado en la utilización de ejercicios halterofilia como la cargada de fuerza no debe ser descartado como un posible sistema de entrenamiento en deportes de equipo.
4. La realización de proyectos de investigación aplicados al seguimiento del entrenamiento en deportes de equipo vienen dificultadas, entre otras cosas, por el escaso número de sujetos que permanecen activos durante todo el proceso de investigación.
5. Se ha desarrollado un protocolo para el control objetivo del entrenamiento que ha puesto de manifiesto la utilidad, en general, del análisis biomecánico para la valoración de la condición física y, en particular, del uso de las plataformas dinamométricas.
6. Sería necesario realizar nuevos estudios en los que el período de adaptación al entrenamiento basado en ejercicios de cargadas olímpicas, fuera de mayor duración.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte del Consejo Superior de Deportes por la subvención recibida y su estimable colaboración, a las federaciones valencianas de baloncesto y voleibol por su apoyo y en especial a los clubes de baloncesto: Jovens Arroz de Almácer, L'Horta-sonitas de Godella y al club de voleibol Conqueridor de Valencia sin los cuales este proyecto no habría podido realizarse.

VI. BIBLIOGRAFIA

- ALLERHEILLEN, B., EDGERTON, R.V., HAYMAN, B., KUC, J., LAMBERT, M., MCDUGALL, J.D., O'BRYANT, H., PEDEMONTE, J., SALE, P., TOSET, P., VERMEIL, A., WESCOTT, W.. (1993). *Determining factors of Strength*. NSCA Journal. Vol 15, nº 1, pp. 9-23.
- ADAMS, K., J.P. O'SHEA, K.L. O'SHEA Y M. CLIMSTEIN. (1992). *The effect of six weeks of squat, pliometric and squat-pliometric on power production*. Journal of Applied Sports Science Research. Vol 6, pág . 36-41.
- BADILLO, J.J. (1991). *Halterofilia*. COE, Madrid.
- BANER, T., R.E. THAYER Y G. BARAS. (1990). *Comparison of training modalities for power development in the lower extremity*. Journal of Applied Sport Science Research. Vol 4, pág.115-121.
- BLAKEY, J.B. Y D. SOUTHARD . (1987) . *The combined effects of weight training and pliometrics on dynamic leg strength and leg power*. Journal of Applied Sports Science Research. Vol 1, pág. 14-16.
- BOSCO, C. (1989). *La valoración de la fuerza en el test de Bosco*. Paidotribo, Barcelona.
- BRZYCKI, M. (1993). *Strength testing: Predicting a one-rep. max. from reps to fatigue*. JOHPERD, Vol 64, pp. 88-90.
- CAVAGNA, G.A., (1977). *Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. Exercise and Sport Science, Review*. Vol. 5 (R. Hutton de.) Santa Barbara, CA: Journal Publishing Affiliates. pp: 89-129
- CHU, D. (1984). *The lenguaje of pliometrics*. National Strength and Conditioning Association Journal. Vol 6, nº 4, pp. 30-31.
- COMETTI, G. (1988). *La Pliometrie*. Universite de Bourgogne.
- COMETTI, G. (1989). *Les methodes modernes de musculation*. Tome 1, Donnes theoriques et Tome II, Donnes pratiques. Universite de Bourgogne.
- DONSKOI, D. Y ZATSIORSTI, V. (1988). *Biomecánica de los ejercicios físicos*. Pueblo y educación, La Habana.
- DUTCH, D., WILTON, M., MCGOWN, C. Y BRYCE, G.R. (1983). *The effect of depth jumps and weighth training on leg strength and vertical jump*. Research Quarterly Review, 54:5-10.
- GARHAMMER, J. (1987). *Weightlifting and training*. In: Biomechanics of sports, CL. Vaughan, ed. Boca Raton, FL: CRC Publ. pp. 169-211.
- GARHAMMER, J & GREGOR, R. (1992). *Propulsion forces as a function of intensity for weightlifting and Vertical Jumping*. Journal of Applied Sport Science Research. Vol. 6, nº 3.
- GARHAMMER, J & GREGOR, R. (1979) *Force place evaluations of Weightlming and vertical jumping*. Medicine and Science in Sports. Vol. XI, nº1 pp.106
- GARHAMMER, J.(1993). *A review of power output studies of Olympic and Powerlifting: Methodology, Performance prediction and Evaluation tests*. Journal of Strength and Conditioning Research. Vol 7, nº 2, pp. 76-90.
- GARHAMMER, J & T. MC LAUGHLIN (1980). *Power output as a function of load variation in Olympic Weightlifting and Powerligting*. J. Biomechanics. Vol. 3, pp: 198
- GARHAMMER, J Y B. TAKANO (1992). *Training for Weightlming*. In: *Strengt and Power in Sport*, P.V. Komi, de. The Encyclopedia of Sports Medicine. Vol. 3. Oxford U.K.: Blackwell Scientific. pp. 357-369

- GUE, N. (1991). *Metodica obuchenia tejnike tiazheloatleticheskij uprazhneny*. (Metódica de enseñanza de la técnica de los ejercicios de halterofilia). Tesis de licenciatura. Ciencias Pedagógicas, Moscú.
- HAY, G.J. Y REID, J.G. (1988). *Anatomy, mechanics and human motion*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, New Jersey.
- HOCHMUTH, G. (1973). *Biomecánica de los movimientos deportivos*. Doncel, Madrid.
- KOMI, P. (1992). *Strength and Power*. Blackwell Scientific Publications. pág. 381 -394.
- LUKACHEV, A., (1972) *Analiz tejniki vypolnenia ryvka tiazheloatletami vysokoy kvalifikacii*. (Análisis de la técnica de ejecución de arrancada por los Halterófilos de alta competición). Tesis de Licenciatura. Ciencias Pedagógicas. Moscú.
- NEWTON, U.R. Y W.J. KRAEMER. (1994). *Developing Explosive Muscular Power: implications for a mixed methods training strategy*. Vol. 16, nº 5, pág. 20-31.
- PALMIERI, G. (1987). *Weight training and repetition speed*. Journal of Applied Sports Science Research. 1 (2): 36-38.
- PODLIVAEV, B. (1975). *Issledovania struktury biomejanograficheskoy parametrov v specialnij divigatelnij zadaniy v cviazi s soversherchenstvovaniem metodov controlia za tejnicheskoy podgotovienostiyu tiazheloatletov*. (Estudio de la estructura de los parámetros biomecánicos en las tareas especiales motrices- relacionado con el perfeccionamiento de los métodos de control de la técnica de la preparación técnica de los halterófilos) Tesis de Licenciatura. Ciencias Pedagógicas. Moscú.
- RODIN, S.H. Y R.T. FOLK (1982). *Physics for Scientists and Engineers*. Englewood (tiffs,N): Prentice Hall. Cap.13-14.
- STONE, M. Y O'BRYANT, H. (1987). *Weight Training*. A. Scientific Approach. Mineapolis: Burgess. Chaps 5-7
- STONE, M. (1993). Literature Review: *Explosive exercises and Training*. NSCA Journal, Vol 15, nº 3, pp. 7-16.
- VERKHOSHANSKY, Y. (1986). *Speed-strength preparation and development of strength endurance of athletes in various specializations*. Soviet Sports Review. Vol. 21, pág.120-124.
- VERKHOSHANSKY, Y. (1990). *Entrenamiento deportivo*. Ed. Martinez Roca S.A. Barcelona. pp.86-88.
- VITASSALO, J.T. (1988). *Evaluation of explosive strength for young and adult athletes*. Research Quarterly for Exercise and Sport, 59 (1),9-13.
- WARRER YOUNG. (1993). *Resistance training for Speed/Strength: Heavy vs light loads*. NSCA Journal. Vol 15, nº5, pp. 34-42.
- WATHEN, D. (1993). Literature Review: *Explosive / Pliometric Exercises*. NSCA Journal, Vol 15, nº 3,pp.17-20.

LA ELECTROMIOGRAFÍA (EMG) COMO MÉTODO PARA DETERMINAR LA INTERVENCIÓN MUSCULAR EN LOS DEPORTES DE PRECISIÓN

*Gianikellis, K.
Maynar Mariño, M.
Arribas Fernández, F.*

Dirección para correspondencia:

Facultad de Ciencias de la Actividad
Física y Deportes de Extremadura
Avda. de la Universidad, s/n
10071 Cáceres
Tel. (927) 21 39 40/23 - Fax (927) 21 39 22



Konstantinos Gianikellis, Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad Politécnica de Valencia, profesor de la Biomecánica del Movimiento Humano en la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Extremadura, ha estado vinculado durante más de seis años con el instituto de Biomecánica de Valencia como investigador del grupo de Biomecánica Deportiva y fue profesor de Biomecánica aplicada al Alto Rendimiento Deportivo en el Instituto Valenciano de Educación Física.



Marcos Maynar Mariño, Doctor en Medicina y Cirugía por la Universidad de Extremadura., Profesor de bases de Anatomía y Fisiología de la actividad física y el Deporte en la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Extremadura. Responsable de los Servicios Médicos de la Real Federación Española de Ciclismo.

Fernando Arribas Fernández, Licenciado en Medicina y Cirugía por la Universidad de Extremadura, Médico Residente en el Hospital de Cáceres y colaborador externo en el laboratorio de Fisiología del Deporte de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Extremadura.

Resumen: La estabilidad postural que caracteriza la técnica deportiva en los deportes de precisión se determina por los efectos de la gravedad, la intervención muscular, las propiedades mecánicas de las estructuras pasivas del aparato locomotor y los complejos procesos cibernéticos que tienen lugar en la práctica de sus distintas modalidades. La electromiografía (EMG) como metodología ofrece la única posibilidad para que los especialistas en el campo de Biomecánica estudien la intervención muscular en diferentes movimientos y posturas objetivamente, al conocer cuando un músculo está activo y analizar los cambios de la actividad muscular durante el aprendizaje de la técnica como consecuencia del entrenamiento. Además permite cuantificar el orden de la activación de los músculos, monitorizar fenómenos como el solapamiento de la actividad de los músculos agonistas y antagonistas que se relaciona con el nivel de maestría que posee el deportista. Por último la EMG resulta ser el único método para validar hipótesis simplificadoras en el desarrollo de modelos dinámicos del aparato locomotor. Sin embargo hoy en día existe mucha confusión respecto a la EMG debido a la deficiente comprensión de los principios físicos que rigen esta metodología, la naturaleza de la señal registrada y el procesamiento de los datos. El objetivo de este trabajo ha sido presentar, en primer lugar, los fundamentos teóricos de la EMG puesto que la señal electromiográfica registrada no depende solo de la intensidad de la acción muscular, sino también de la calidad de la instrumentación utilizada y el tratamiento adecuado del EMG, y a continuación dar a conocer las aplicaciones de la EMG en el estudio de la técnica deportiva en las diferentes modalidades de los deportes de precisión.

Palabras clave: Biomecánica, Bioinstrumentación, Electromiografía, Electromiografía kinesiográfica, Deportes de Precisión, Tiro con arco, Tiro Olímpico, Análisis espectral, fatiga local.

1. INTRODUCCIÓN

Los patrones motores que caracterizan la técnica deportiva durante la práctica de las distintas modalidades de los deportes de precisión tienen lugar como consecuencia de la intervención muscular bajo la dirección del sistema nervioso central (SNC). Sin embargo, la actividad de los distintos grupos musculares que se registra y se analiza a través de la *Electromiografía (EMG)* no tiene exactamente las mismas características en el tiro olímpico y en el tiro con arco.

Las distintas modalidades de *tiro olímpico* (excepto el tiro al plato y el tiro de velocidad) se caracterizan por la capacidad del tirador para mantener el nivel óptimo de actividad neuromuscular, durante varias horas que puede durar la competición, hecho que refleja un elevado nivel de control para adoptar y reproducir con precisión una postura eficaz, mantener la estabilidad del arma durante la puntería y apretar el gatillo progresivamente y con la máxima precisión. La postura que adopta el tirador durante la puntería es propia de este deporte y se caracteriza por una hiperextensión de la parte superior del tronco acompañada por una flexión lateral y una rotación hacia la dirección de la diana respecto a su eje longitudinal. El mantenimiento de esta postura exige estabilizar el tronco y la pelvis recurriendo a la intervención muscular y aprovechando las características mecánicas de los ligamentos de la columna vertebral y del ligamento iliofemoral. Los músculos abdominales, el dorsal largo, el sacrolumbar, el cuadrado lumbar y el psoas iliaco estabilizan el tronco en flexión lateral. Los músculos abductores y aductores de la cadera y los flexores y extensores de la cadera estabilizan la pelvis, mientras que, la activación de los gemelos, el sóleo y el tibial anterior es importante para estabilizar la articulación del tobillo. El apoyo del codo izquierdo (para diestros) sobre la cadera izquierda reduce considerablemente la carga que soportan los músculos del hombro, de manera que, el rifle se estabiliza con un esfuerzo relativamente pequeño por parte de los músculos flexores del brazo, hecho que se facilita todavía más por el pequeño ángulo que forman el brazo con el antebrazo. El brazo derecho (para diestros) se mantiene en abducción con la activación del deltoides, mientras que el gatillo se aprieta activando el músculo flexor común superficial de los dedos (Weineck, 1990).

La intervención muscular en el *tiro con arco* determina, por un lado, la estabilidad postural exigida para realizar el tiro en condiciones de equilibrio postural, y por otro lado, la eficacia de la *fase tracción - repulsión*. La mayoría de los tiradores de alto nivel se posicionan con los pies abiertos y con el eje de las caderas oblicuo respecto a la dirección de la diana. Para mantener esta postura estable y evitar rotaciones indeseables del tronco respecto a la cadera, se activan simultáneamente los músculos estabilizadores, trapecio, dorsal ancho, oblicuo mayor del abdomen, recto anterior del abdomen, iliocostal y el psoas iliaco, junto con los músculos elevadores y estabilizadores del brazo, extensores y estabilizadores del antebrazo, extensores y estabilizadores de la mano que sostiene el arco, aductores y extensores del brazo, flexores y extensores del antebrazo, flexores y extensores del antebrazo de la mano que tensa la cuerda, dorsal ancho, trapecio, romboides, supraespinoso, infraespinoso, subescapular, redondo mayor, redondo menor, deltoides, pectoral mayor, serrato mayor del tronco, tríceps braquial, bíceps braquial, supinador largo, radial largo, flexor común superficial de los dedos y extensor común de los dedos de la mano que permiten la realización del gesto en el tiro con arco. El nivel de activación de los músculos debe garantizar la estabilidad del arco y la repetibilidad de las acciones motoras durante la tensión de la cuerda, la puntería y el disparo al activarse el músculo extensor común de los dedos de la mano.

Para evitar la fatiga y mantener estable la posición del arco se requiere por parte del tirador, fuerza y resistencia en contracciones musculares isométricas prolongadas, dado que, durante el transcurso de una competición internacional la fuerza total desarrollada y sostenida por un tirador supera los 15000 N dependiendo del "peso del arco". En este sentido, la fuerza de los músculos *abductores del brazo* puede ser un factor importante para el rendimiento, puesto que, el uso de un arco con "peso" elevado da cierta ventaja al tirador. El "*peso del arco*" indica la fuerza necesaria para tensarlo. Un arco más rígido, aunque requiere mayor fuerza muscular para tensarlo asegura la trayectoria de la flecha frente a la resistencia del aire las vibraciones de la cuerda después del disparo.

2. FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS EMG

Hoy en día la EMG permite registrar y analizar la actividad de los distintos grupos musculares que intervienen en la práctica de los deportes de precisión. Francesco Redi (1666), ha sido el primer científico que ha detectado la actividad eléctrica de los músculos, fenómeno que han observado más tarde otros fisiólogos (Duverney, 1700; Jallabert, 1750; Galvani, 1786, 1791, 1792). Durante las dos últimas décadas, ha sido posible cuantificar el nivel de la actividad eléctrica asociado a la intervención muscular en la ejecución de los movimientos dinámicos o cuasi - estáticos. Esto ha sido posible gracias a los avances metodológicos y tecnológicos en la detección y registro de los potenciales eléctricos que acompañan la actividad muscular, el uso de los ordenadores y la evolución de la teoría de procesamiento digital de señales. El análisis del electromiograma (EMG) en el dominio del tiempo y de la frecuencia permite múltiples aplicaciones de la EMG en los campos de la Bioingeniería, la Neurofisiología, la Ergonomía, la Fisioterapia, las Ciencias del Deporte, la Medicina Deportiva, la Zoología etc., puesto que, se puede estudiar, incluso en tiempo real, la secuencia de activación de determinados músculos o grupos musculares, así como la evolución de la fatiga muscular.

La *Electromiografía (EMG)* es una metodología ampliamente utilizada en el campo de la Biomecánica y consiste en *registrar las variaciones en el potencial eléctrico generado por un músculo cuando éste se activa a causa de una secuencia de impulsos eléctricos originados en los centros de control del sistema nervioso central y transmitidos por las vías eferentes de las motoneuronas hasta las placas motoras terminales de las unidades motoras*. Puesto que, no se puede medir directamente la fuerza desarrollada durante la contracción muscular (se ha conseguido en un caso aislado), se recurre a la EMG, registrando y analizando las señales eléctricas que se transmiten a través de los músculos y los tejidos blandos para obtener una *estimación indirecta* del nivel de funcionamiento de los músculos.

En definitiva, el EMG representa las manifestaciones eléctricas de la actividad muscular que pueden registrarse con electrodos de superficie o con electrodos de contacto. Puesto que, se trata de una señal compleja que puede verse afectada por factores anatómicos y/o fisiológicos, se procura utilizar una metodología estandarizada para el registro, el tratamiento y el análisis de la señal EMG que permita interpretar correctamente la información que contiene. La posibilidad de obtener una relación causa - efecto entre la tensión muscular y el EMG registrado es todavía lejana, aunque la estandarización de los procedimientos de la EMG deja alguna ventana abierta (Hof, 1984).

Entre el gran número de factores intrínsecos de la técnica, que pueden influir introduciendo "ruido" sobre el EMG y su espectro en frecuencia, destaca: - i) los *factores fisiológicos*, es decir, el ritmo de estimulación de las unidades motoras, el tipo de fibras musculares, la velocidad de conducción de las fibras musculares y las características del medio de transmisión de la actividad eléctrica de las unidades motoras (forma, conductividad, tejidos) y - ii) los *factores anatómicos*, es decir, el tamaño de las fibras musculares, la posición relativa de las fibras de la misma unidad motora y la distancia de los electrodos a la superficie de la membrana celular (De Luca and Knaflitz, 1990). En todo caso, la EMG es el único vehículo de que se dispone de momento para llegar a conocer, aunque con limitaciones, algunos aspectos de la intervención muscular en el desarrollo de los patrones del movimiento humano, así como validar hipótesis que se asumen en los modelos de la dinámica del aparato locomotor.

La EMG aplicada al campo de la biomecánica deportiva permite conocer las variaciones de los patrones de la actividad muscular como consecuencia del aprendizaje de la técnica deportiva que se atribuyen al orden, el período y la intensidad de activación de los músculos que intervienen. Los fenómenos como el solapamiento de la activación de los músculos agonistas y antagonistas o el reclutamiento de los antagonistas en las fases finales del movimiento están relacionados con el nivel de la técnica deportiva (Lagasse, 1987). Por último, es importante destacar, dentro del amplio campo de la EMG, la *EMG kinesiológica* (Jonsson, 1973) como método de investigación que permite estudiar el funcionamiento normal de los músculos en determinados movimientos y posturas empleando EMG con *electrodos de superficie* junto con otras técnicas de análisis del movimiento humano. Concretamente la *EMG kinesiológica* permite estudiar el desarrollo de los complejos patrones motores que tienen lugar en los distintos deportes, la interacción del hombre con el puesto de trabajo a través de estudios ergonómicos y los procesos de rehabilitación, analizar la contracción muscular isométrica y la relación que mantienen el EMG y la tensión muscular desarrollada, valorar la actividad funcional de los músculos y el nivel de la coordinación motora, valorar la especificidad y la eficacia de los métodos de entrenamiento, así como, estudiar el fenómeno de la fatiga.

Los conocimientos necesarios para realizar estudios relacionados con los temas antes expuestos utilizando EMG kinesiológica, tienen que ver con los *aspectos fisiológicos de la actividad neuromuscular, la cadena de medida y el tratamiento de la señal EMG registrada*.

2.1. ASPECTOS FISIOLÓGICOS DE LA ACTIVIDAD NEUROMUSCULAR

El hombre dispone de unos 600 músculos de diferente forma, función, composición y tipo de fibras que representan el 40% de su masa corpórea (Solomon et al., 1990). El mecanismo de la contracción muscular está bien documentado (Basmajian and De Luca, 1985) y consiste en la transformación de la energía química del músculo (ATP) en energía mecánica en las *unidades motoras* que son las unidades funcionales de la contracción muscular. El número de fibras musculares, aleatoriamente dispersas en el músculo, que inerva una *motoneurona en una unidad motora depende de su función*. El *potencial de acción motora (MAP)* es la onda que se produce como consecuencia de la despolarización de la membrana y se propaga en las dos direcciones de la fibra antes de ser seguida por la onda de repolarización. La suma de los (MAPs) de las fibras de la misma unidad motora se llama

potencial de acción de la unidad motora (MUAP) y la secuencia de (MUAPs) que tiene lugar a causa de repetida estimulación neuronal se llama *tren de potenciales de acción de la unidad motora (MUAPT)*.

Por consiguiente, la señal que representa el EMG puede considerarse como una suma de (MUAPTs), de modo que: $m(t,F) = \sum_{i=1}^p u_i(t,F)$ donde $m(t,F)$ es el EMG registrado y $u_i(t,F)$ es cada (MUAPT) (Basmajian and De Luca, 1985).

La amplitud de un potencial de acción depende del diámetro de la fibra muscular, las características técnicas de los electrodos y la distancia a la fibra muscular, mientras que, la amplitud y forma de un (MUAP) depende de las propiedades geométricas de la unidad motora, el tejido muscular, la impedancia de la piel y las características técnicas del equipo de EMG. Las fibras musculares de la misma unidad motora se contraen según la ley de "todo o nada". Es decir, ante la presencia de una descarga eléctrica de una motoneurona que rebasa su umbral, se activan todas las fibras musculares que inerva, generando así un potencial de acción de amplitud y duración constante e independiente de la intensidad del estímulo. De modo que, la fuerza de la contracción muscular que se genera depende del incremento de la frecuencia de las descargas eléctricas de las motoneuronas y del incremento del número de unidades motoras reclutadas. Ambos mecanismos afectan el perfil del EMG, cuya amplitud depende del número de las unidades motoras activadas y de la frecuencia de las descargas que llegan a estimular las unidades motoras, que a su vez dependerá de la duración de los (MUAP).

Para niveles de contracción relativamente bajos donde las unidades motoras no se activan sincrónicamente y los movimientos evolucionan con suavidad y son fácilmente controlables el incremento de la fuerza muscular se consigue, básicamente, aumentando la frecuencia de estimulación. Para contracciones musculares de alto nivel se recurre al reclutamiento de mayor número de unidades motoras, aunque se tiene que considerar siempre el tipo de fibras que componen un músculo. Por ejemplo, para una contracción muscular donde se alcanza el 75% de la *máxima fuerza de contracción voluntaria (MVC)*, se activan todas las unidades motoras de un músculo y su incremento adicional se consigue al aumentar la frecuencia de estimulación y la sincronización, situación que puede provocar temblor. Aquí cabe destacar que, los parámetros espectrales del EMG como la mediana de su espectro en frecuencia son muy sensibles al orden de reclutamiento de las unidades motoras y muy poco sensibles al aumento de la frecuencia de estimulación de las unidades motoras. El orden de reclutamiento de las unidades motoras no es aleatorio. Desde principios de siglo es conocido el *principio de Henneman* : "primero se activan las unidades motoras pequeñas y después las grandes". Además, parece que las unidades motoras de menor tamaño que están ubicadas más profundamente en el músculo se activan antes que las grandes que son más superficiales. Si el criterio es la *velocidad de conducción (CV)* de las fibras musculares, se ha demostrado que en las contracciones voluntarias las unidades motoras se reclutan de "menor a mayor velocidad de conducción". Por último, se distinguen dos patrones paralelos de reclutamiento de las unidades motoras. El primero se llama "reclutamiento según las propiedades", es decir, que las unidades motoras se reclutan según sus propiedades funcionales (tamaño) y el segundo se llama "reclutamiento según la tarea" y determina cuáles de las unidades motoras del mismo tamaño se activarán preponderantemente para una determinada tarea motora. De todas formas, la estrategia de reclutamiento

de las unidades motoras puede ser mucho más compleja en función de factores como la *fatiga muscular*, que es un complejo fenómeno dinámico y reversible y tiene aspectos tanto fisiológicos como psicológicos.

La fatiga puede afectar cualquiera de los niveles involucrados en el desarrollo de la actividad motora, desde el cerebro hasta las proteínas contractiles en las fibras musculares, conduciendo a un estado cuyas características son *el reducido rendimiento intelectual, el reducido rendimiento en las actividades motoras, la incrementada actividad neuromuscular (EMG) para una tarea motora, la reducida capacidad para desarrollar y mantener el nivel de la fuerza muscular, la percepción errónea de la actividad muscular que puede estar acompañada por discomfort o dolor, el desplazamiento del espectro del EMG hacia frecuencias bajas*. La introducción del concepto de la *fatiga muscular local* utilizado extensamente en el campo de la Ergonomía frente al concepto de la fatiga generalizada que se empleaba hasta este momento en el campo de la fisiología del esfuerzo, ha sido un paso cualitativo muy importante al contemplar fenómenos como: i) el reducido rendimiento muscular, ii) el incremento de las componentes en frecuencias bajas del contenido del EMG, iii) el discomfort muscular.

2.2. LA CADENA DE MEDIDA

La señal EMG registrada no depende solamente de la intensidad de la acción muscular sino también de la calidad de la instrumentación utilizada para captar - amplificar - filtrar - transmitir y almacenar la señal.

La primera consideración debe hacerse respecto a la necesidad de registrar, con *electrodos de superficie*, la actividad eléctrica del máximo número de unidades motoras del músculo bajo estudio, evitando al mismo tiempo las interferencias ("cross - talk") de otros músculos cercanos o del corazón que se hace notar mucho en frecuencias bajas. Los electrodos de superficie ofrecen medidas fiables solamente cuando la actividad del músculo de interés es considerable en relación con los músculos cercanos (Hof, 1984). Los electrodos de superficie que se utilizan son pequeños discos metálicos de plata (Ag) o cloruro de plata (AgCl) que poseen un potencial de polarización con la piel bajo, de diámetro hasta 1 cm, englobados en un material adhesivo que se fija en la piel y de los que parten dos cables que alimentan un amplificador diferencial. Previo a su colocación, es necesaria una preparación de la superficie de la piel en la que quedarán fijados, y el empleo de un gel conductor, con el fin de reducir la impedancia en la superficie de contacto. Recomendaciones para su selección y uso junto con datos experimentales respecto a varios músculos se encuentran en la bibliografía (Zipp, 1982a; 1982b).

Los *electrodos de superficie activos* que se utilizan durante la última década no requieren preparación de la piel. Disponen de preamplificadores y circuitería integrada incorporados, con lo que alcanzan valores de impedancia de entrada muy altos, una alta inmunidad al "ruido" (de 0 a 10 Hz) introducido por los cables cuando se mueven o no están bien "apantallados" ("cable artefacts") y una baja impedancia de salida. Debido a la integración de todos los componentes en una sola unidad, su utilización es más cómoda y robusta. A pesar de los importantes avances metodológicos en el uso de los electrodos de superficie, todavía existen factores como los procesos electrofisiológicos que tienen lugar en el cuerpo

humano, las propiedades eléctricas de la piel, la distancia de los electrodos entre sí y la distancia al músculo objeto del estudio y las características de la señal registrada que pueden afectar a los resultados de la medida.

Las señales EMG entre 100 μV y 5 mV son demasiado débiles para una interpretación directa sin amplificación previa. Por lo tanto, es preciso el uso de un amplificador, que al ser la componente más importante de la cadena de medida, se tienen que seleccionar con atención sus características técnicas antes de la adquisición de un sistema de EMG. La *ganancia del amplificador* tiene que ser variable entre 100 y 10000 para poder acoplarse a varios sistemas de registro (osciloscopio, cinta magnética, convertidor A/D etc.), su *impedancia de entrada* tiene que ser lo suficientemente alta (al menos 100 veces la resistencia de la piel) para minimizar la importancia de la resistencia de la piel y evitar la atenuación de la señal de entrada, su *respuesta en frecuencia* determina el contenido en frecuencia del EMG. Para electrodos de superficie, un ancho de banda de 10 a 1000 Hz se considera adecuado con la mayor parte de la energía contenida entre 20 y 200 Hz. Para controlar la respuesta en frecuencia del amplificador se utilizan filtros "paso banda" y "paso alto" que aseguran poco "ruido" en la señal registrada. En todo caso, la selección de un filtro se tiene que hacer en función del contenido en frecuencia del EMG (ISEK, 1980). El "*factor de rechazo al modo común*" (CMRR) de un amplificador diferencial, expresa la propiedad del amplificador para suprimir el ruido que es común en ambos electrodos, como por ejemplo la señal de la red a los 50 Hz. El (CMRR) tiene que ser entre 80 y 90 dB (Winter et al., 1980). La *transmisión de la señal EMG* al sistema de registro se realiza por cable o por telemetría (transmisión por ondas electromagnéticas moduladas). La transmisión por cable es más sencilla y económica, aunque el cableado puede limitar la movilidad.

Los dispositivos de *registro y almacenamiento* de la información que contiene el EMG, procedente del amplificador, pueden ser impresoras, soportes de cinta magnética analógica o digital y el disco duro de ordenadores personales a través de tarjetas de adquisición de datos. Para garantizar la representación y el almacenamiento de los datos, la respuesta en frecuencia del sistema de registro debe cubrir el ancho de banda de la señal EMG muestreada. Los soportes magnéticos permiten almacenar la señal y transmitirla a un monitor o a un ordenador para tratamiento posterior. Hoy en día, la lectura de los datos se realiza a través de tarjetas de adquisición de datos conectadas a ordenadores personales. Para reproducir la señal en su forma digital, especialmente cuando se utiliza telemetría con multiplexado, se tiene en cuenta que el muestreo tiene que ser a una frecuencia suficientemente alta y según establece el teorema de muestreo. Para evitar el solapamiento o "aliasing" se puede utilizar antes de la conversión analógico - digital un filtro "anti-aliasing" paso bajo con frecuencia de corte la frecuencia que corresponde al 40% de la frecuencia de muestreo (De Luca and Knaflitz, 1990).

2.3. EL TRATAMIENTO DE LA SEÑAL EMG

El EMG, como señal que representa un proceso *estocástico* se puede describir con métodos basados en la teoría de probabilidades y parámetros estadísticos. En el caso de que la densidad de probabilidad de su amplitud no dependa del tiempo, el proceso se llama *estacionario*. Esto significa que su media y su varianza no dependen del tiempo. Puesto que, cada realización de un proceso estocástico tiene una media (m_i) y la media global del pro-

ceso en todas sus realizaciones es (μ) , si $(m_1 = \mu)$, el proceso se llama *ergódico*. En el tratamiento de la señal EMG se asume su ergodicidad y su estacionariedad para determinados, normalmente cortos, intervalos de tiempo.

El EMG contiene información respecto a la secuencia de activación de los músculos y la intensidad relativa de la contracción muscular. Aunque, la secuencia de activación se puede conocer a partir de la señal en bruto, la estimación de la intensidad del esfuerzo muscular requiere un proceso de cuantificación y normalización de la señal amplificada que consiste en: la *rectificación* de la señal, es decir, hacer positivos todos sus valores, el "*filtrado*" de la señal rectificada con un filtro paso bajo ("linear envelope"), la *integración* de la señal rectificada para un intervalo determinado, que puede ser todo el tiempo de contracción muscular o intervalos fijos de 40 - 200 milisegundos, la *normalización* de la amplitud del EMG respecto al 100% o 50% del valor que corresponde a la máxima contracción voluntaria (MVC).

En el campo de la EMG kinesiológica, el EMG se puede analizar en el *dominio del tiempo* cuando nos interesa la coordinación motora, la cantidad de actividad muscular y el nivel de tensión desarrollada o en el *dominio de la frecuencia* cuando se estudia la fatiga muscular. El análisis del EMG en el *dominio del tiempo* consiste en la valoración de la amplitud de la señal rectificada $A(t)$ a través de los siguientes parámetros (en el paréntesis el término en inglés):

□ **el valor medio de la señal rectificada (AREMG)** ("average rectified EMG") durante un intervalo de tiempo determinado que puede ser la duración de una fase de un gesto deportivo.

$$AREMG = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |A(t)| dt \quad \text{mV}$$

También se utiliza la *media móvil* para estimar la evolución del EMG durante el período de contracción. En este sentido, se define una "ventana" temporal de duración constante y se calcula el (AREMG) para cada uno de los intervalos del tiempo de registro total.

□ **el valor EMG integrado (iEMG)** ("integrated EMG"), ha sido el parámetro más utilizado en el campo de la EMG kinesiológica y se expresa como la integral del área que está por debajo de la señal rectificada.

$$iEMG = \int_{t_1}^{t_2} |A(t)| dt \quad \text{mV s}$$

□ **el valor de la raíz de la media cuadrática (RMSEMG)**, que representa la raíz cuadrada de la potencia media de la señal para un intervalo de tiempo determinado.

$$RMSEMG = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} A^2(t) dt} \quad \text{mV}$$

□ **el ancho de banda estadístico (k)** ("statistical bandwidth") es la raíz cuadrada de la diferencia entre la ratio del momento de orden dos y cero y el cuadrado de la frecuencia media (similar a la desviación típica en la estadística).

$$k = \sqrt{\left(\frac{m_2}{m_0}\right) - f_{av}^2}$$

□ **el ancho de banda 3 - dB** ("half - power frequencies") es la diferencia entre las frecuencias para las que la potencia ha disminuido en un 50% de su valor máximo en escala lineal, mientras que, la frecuencia central es la media geométrica del ancho de banda de 3 - dB.

Puesto que, en general no se conoce si el aumento de la amplitud del EMG se debe al incremento de la contracción muscular o al aumento de la fatiga, se considera que la *frecuencia media* y la *mediana* son los parámetros espectrales más fiables para valorar la *fatiga muscular local*, al ser sensibles al desplazamiento del espectro hacia frecuencias bajas.

3. APLICACIONES DE LA EMG EN LOS DEPORTES DE PRECISIÓN

La consistencia postural, o sea, el mantenimiento de la posición y orientación de los segmentos corpóreos, se rige por las funciones del sistema nervioso central (SNC) que controla la activación de los grupos musculares cuya función es mantener la posición de tiro en función de la información que proporcionan la visión, el sistema vestibular y el sistema propioceptivo (Fig.2).

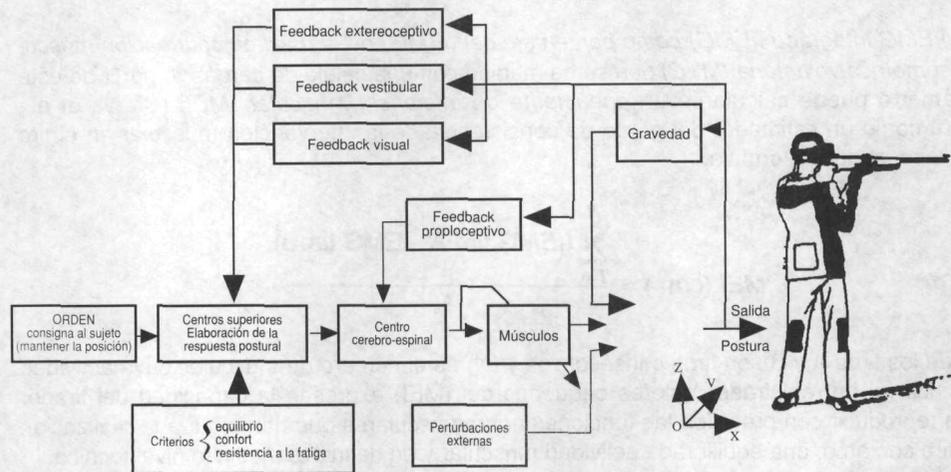


Figura 2. Representación de los mecanismos de control postural durante la práctica de tiro olímpico.

De modo que, la Electromiografía aplicada al análisis de la técnica en las distintas modalidades de los deportes de precisión, especialmente en el tiro con arco, ha generado nuevos conocimientos respecto a los procesos neuromusculares que tienen lugar en determinadas

condiciones de entorno. Los patrones de la actividad mioeléctrica y la aparición de la fatiga muscular local son los aspectos más importantes de esta línea de investigación según los trabajos más representativos que se citan a continuación.

Guttman y Mehra (1973) presentan un estudio muy interesante respecto a la actividad muscular durante la práctica de tiro con arco por parapléjicos (*lesiones en la columna vertebral comprendidas entre los niveles C6 - T12*) de los músculos: *trapezio, romboides, dorsal ancho, pectoral mayor, serrato mayor, deltoides, bíceps braquial, tríceps braquial de ambos lados, y han destacado la actividad intensa de los músculos trapezio y romboides.*

En lo sucesivo y puesto que se introducen mejoras en la técnica de registro y tratamiento de la señal EMG, se han desarrollado numerosos estudios (*Zipp, 1979; Leroyer, 1986; Nishizono and Kato 1987; Nishizono et al., 1987; Martin et al., 1990; Clarys et al., 1990; Leroyer et al., 1993; Squadrone et al., 1995*) respecto a la actividad en el tiro con arco de los músculos *trapezio (elevador y abductor del hombro - estabilizador del hombro), - deltoides (abductor - estabilizador del hombro) - pectoral mayor (esternal: extensión - aductor; clavicular: flexión - aductor del brazo) - bíceps braquial (flexor y supinador del antebrazo - elevador y aductor del brazo) - tríceps braquial (extensor del antebrazo - aductor del brazo) - cubital anterior (flexor y aductor de la mano) - supinador largo (flexor y supinador del antebrazo) - flexor común superficial de los dedos de la mano (flexor de los dedos sobre la mano y de ésta sobre el antebrazo) - extensor común de los dedos de la mano (extensor de los dedos y secundariamente de la mano y el antebrazo)* cuya función es más bien indicativa, puesto que, en el complejo del hombro por ejemplo, que es una estructura anatómica integrada por 3 huesos y 3 articulaciones interactúan de forma muy compleja 21 músculos.

Los parámetros utilizados para cuantificar la señal EMG registrada han sido:

► *el EMG integrado (iEMG) como porcentaje del (iEMG) de la máxima contracción muscular isométrica voluntaria (MVC)* que se ha medido con una célula de cargas. A partir de este parámetro puede calcularse un *coeficiente de eficiencia muscular (MEI)* (Clarys et al., 1990) como un estimador del grado de consistencia de la intervención muscular en el tiro con arco, según la fórmula:

$$MEI (cm^2) = \frac{\sum_{I=1}^N (iEMG \text{ tiro A} - iEMG \text{ tiro B})}{N}$$

donde los tiros A y B son tiros consecutivos y (N) es el número de músculos cuya actividad eléctrica se ha registrado. Valores pequeños del (MEI) expresan la capacidad del tirador para reproducir con precisión las funciones neuomusculares que dan lugar a la realización del tiro con arco, una equilibrada actividad muscular y en definitiva más alto nivel técnico.

► *la frecuencia media (f_{av})*. A través de la evolución de este parámetro espectral se valoran los efectos de la *fatiga muscular local* sobre la actividad de diferentes músculos y la aparición del *temblor* a causa de las contracciones musculares isométricas o isotónicas que tienen lugar durante la puntería. Se emplea este parámetro porque si a la realización de un esfuerzo *isométrico isotónico* prolongado acompaña la aparición de la *fatiga local*, la fre-

cuencia media decrece linealmente con la duración del esfuerzo (Fig. 3). Si se trata de una contracción isométrica breve, la frecuencia media del espectro permanece invariable para esfuerzos de intensidad mayor al 25 hasta 30% de la máxima fuerza isométrica voluntaria (Sato, 1982).

La fatiga muscular se caracteriza por las componentes de mayor amplitud de la señal EMG y el desplazamiento de las componentes dominantes de su espectro hacia frecuencias bajas. Estos cambios espectrales se atribuyen a la disminución de la velocidad de conducción de los (MUAPs) durante la actividad muscular, a los cambios en los patrones de activación de las unidades motoras donde solamente las unidades motoras lentas permanecen activas mientras que las rápidas dejan de activarse, y a la sincronización de la activación de las unidades motoras (De Luca 1979, 1984).

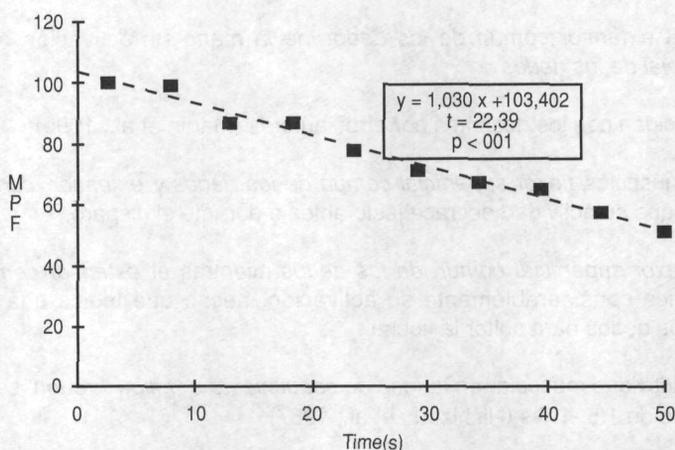


Figura 3. Evolución de la media frecuencia espectral (MPF) del EMG del músculo deltoides durante un esfuerzo que alcanza el 40-50% de la máxima contracción isométrica voluntaria. (Adaptado de Leroyer et al, 1993).

Bajo las consideraciones anteriores, los estudios realizados con EMG en el *tiro con arco* han demostrado que:

- los tiradores de nivel internacional cuando tensan el arco contraen fuertemente el *trapezio* y los *músculos del complejo del hombro*, donde se ha observado el mismo nivel de activación para ambos lados (Nishizono et al. 1987)
- concretamente, la activación de los músculos *trapezio* y *deltoides* parece ser muy importante para la elevación y la tensión del arco y son los músculos que más sienten los efectos de la fatiga en el tiro con arco (Zipp, 1979). La intervención de ambos músculos se refleja en el EMG a través de la aparición del fenómeno que se conoce como el "*reflejo de la descarga*" (Hof and Struppler, 1974), según lo cual el EMG de un músculo que está contraído para sostener una carga mecánica, presenta una "laguna" cuando de repente dicha carga deja de actuar (Zipp, 1979)
- otros autores han observado que la actividad del *deltoides* desaparece completamente del EMG durante 50 ms. Durante este intervalo que se llama "*período de silencio*" y que es

consecuencia del "reflejo de la descarga" no se registra ninguna actividad del músculo antagonista *pectoral mayor* mientras empieza la actividad del músculo *extensor común de los dedos* para soltar la cuerda, y es más pronunciado para tiradores expertos (Nishizono and Kato, 1987)

➤ se ha conseguido detectar los siguientes patrones de intervención muscular para soltar la cuerda (Zipp, 1979):

- i) relajando el músculo *flexor común superficial de los dedos*
- ii) relajando el *flexor común superficial de los dedos* y contrayendo el *extensor común de los dedos de la mano*
- iii) contrayendo el *extensor común de los dedos de la mano* sin activación del *flexor común superficial de los dedos*

que en parte coinciden con los descritos por otros autores (Martin et al., 1990):

- i) relajando los músculos *flexor superficial común de los dedos* y *extensor común de los dedos*, puesto que su actividad decrece justo antes o durante el disparo
- ii) relajando el *flexor superficial común de los dedos* mientras el *extensor común de los dedos* intensifica considerablemente su activación, hecho que indica una extensión voluntaria de los dedos para soltar la flecha

➤ el nivel de la actividad muscular en la *fase de seguimiento* o "followthrough" se mantiene durante un período de 1.5 -1.7 s (Nishizono et al., 1987)

➤ la actividad muscular (iEMG) no aumenta siempre significativamente con la distancia de la diana ($p < .05$), sino sólo cuando se pasa de la distancia de 25 a la de 50 m (Clarys et al., 1990)

➤ los tiradores de alto nivel reproducen los patrones de actividad muscular con mucha precisión que demuestra junto con la repetibilidad de la velocidad de la flecha ($p < .01$) su capacidad de control neuromuscular principalmente sobre el *trapecio* al principio del estiramiento de la cuerda, el *bíceps braquial* durante la puntería y el *extensor común de los dedos de la mano* cuando se suelta la cuerda

➤ existe una estrecha correlación lineal ($p < .01$, $r = -.71$) entre la capacidad del tirador de reproducir la *velocidad de la flecha* y el *coeficiente de eficiencia muscular (MEI)* (Clarys et al., 1990)

➤ la frecuencia media del espectro del deltoides como porcentaje de su valor inicial decrece cuando se prolonga el intervalo de la contracción isométrica/isotónica que tiene lugar durante la fase de tracción - repulsión ($p < .05$) (Leroyer et al., 1993). Este fenómeno que han observado otros autores (De Luca, 1984), se considera como una manifestación de la *fatiga muscular local* que a su vez introduce el *temblor fisiológico* aumentando la potencia espectral del EMG en la banda de 10 a 12 Hz donde está incluida la frecuencia de excita-

ción común de las unidades motoras. Por otro lado, es conocido que el temblor aumenta con la intensidad de una contracción isométrica sostenida

► cuando se prolonga la duración de la fase tracción - repulsión la coherencia de la señal EMG y de la que corresponde a las oscilaciones longitudinales de la flecha alcanza valores muy altos, entre 0.81 y 0.96 en la banda de frecuencias de 8 a 12 Hz. Eso quiere decir que existe una relación muy estrecha entre los *movimientos involuntarios de pequeña amplitud de la mano que tensa el arco (temblor)* y la *fatiga local del deltoideo* (Leroyer et al., 1993).

En las distintas modalidades de *tiro olímpico*, donde la aplicación de la EMG no ha sido tan amplia, se ha valorado la actividad eléctrica de los músculos (Hellin et al., 1987, Larué et al., 1989, Medved, 1993) dorsal ancho (*abductor y rotador del húmero - estabilizador del tronco*), deltoideo (*abductor del brazo - estabilizador del húmero*), bíceps braquial (*flexor y supinador del antebrazo - elevador y aductor del brazo*), flexor común superficial de los dedos de la mano (*flexor de los dedos sobre la mano y de ésta sobre el antebrazo*), extensor común de los dedos de la mano (*extensor de los dedos y secundariamente de la mano y el antebrazo*), tibial anterior (*flexor - aductor y rotador interno del pie*), gemelos (*extensores del pie*).

Los resultados de los estudios realizados han demostrado:

► más intensa ($p < .05$) actividad eléctrica del *tibial anterior* para biatletas en comparación con tiradores de la modalidad de tiro con rifle de aire comprimido (Larué et al., 1989)

► la *frecuencia media* del EMG de los músculos *bíceps braquial y extensor común de los dedos de la mano derecha* se desplaza, igual que en el tiro con arco, hacia frecuencias bajas a causa de la aparición de la *fatiga muscular local* como consecuencia de las prolongadas contracciones isométricas a las que se someten los tiradores (Medved, 1993).

4. BIBLIOGRAFÍA

- BARTLETT, R.M. (ed) (1992). *Biomechanical Analysis of Performance in Sport*. Leeds: British Association of Sports Sciences.
- BASMAJIAN, J.V.; DE LUCA, C.J. (1985). *Muscles Alive: Their Functions Revealed by Electromyography*. Baltimore, MD: Williams and Wilkins.
- BIGLAND - RITCHIE, B. (1981). *EMG/force and fatigue of human voluntary contractions*. Exercise and Sport Sciences Reviews, 9, 75 - 117.
- CLARYS, J.P. et al. (1988). *Electromyography applied to sport ergonomics*. Ergonomics, 31, 11, 1605 - 1620.
- CLARYS, J.P. et al (1990). *Muscular activity of different shooting distances, different release techniques and different performance levels with and without stabilizers in target archery*. Journal of Sport Sciences, 8, 235 - 257.

- CLARYS, J.P.; CABRI, J. (1993). *Electromyography and the study of sports movements: A review*. Journal of Sports Sciences, 11, 379 - 448.
- DE LUCA, C.J.; KNAFLITZ, M. (1990). *Surface Electromyography: What's New?*. Boston: Neuromuscular Research Centre.
- FREUND, H.J. (1983). *Motor unit and muscle activity in voluntary motor control*. Physiological Reviews, 63, 2, 387 - 436.
- GRIEVE, D.W. (1975). *Electromyography*. In Techniques for the Analysis of Human Movement (Edited by D.W. Grieve; D.I. Miller; D. Mitchelson; J.P. Paul and A.J. Smith), pp. 109 - 149. London: Lepus Books.
- GUTTMANN, L.; MEHRA, N.C. (1973). *Experimental studies on the value of archery in paraplegia*. In Paraplegia II, 159 - 165.
- HASAN, Z.; ENOKA, R.M.; STUART, D.G. (1985). *The interface between biomechanics and neurophysiology in the study of movement: Some recent approaches*. Exercise and Sport Sciences Reviews, 13, 169 - 234.
- HOF, A.L. (1984). *EMG and muscle force: An introduction*. Human Movement Science, 3, 119 - 153.
- JONSSON, B. (1973). *Electromyographic kinesiology aims and fields of use*. In New Developments in EMG and Clinical Neurophysiology, (edited by J. Desmedt), 498 - 501. Basel: Karger.
- KAY, S.M.; MARPLE, S.L. (1981). *Spectrum Analysis - A Modern Perspective*. Proceedings of the IEEE, 69, 11, 1380 - 1414.
- LAGASSE, P.P. (1987). *Neuromuscular considerations*. In Standardizing Biomechanical Testing in Sport (Edited by D.A. Dainty and R.W. Norman), 59 - 71. Champaign, IL: Human Kinetics.
- LARUE, J. et al (1989). *Stabilité en tir: influence de l'expertise en biathlon et en tir à la carabine*. Canadian Journal of Sport Sciences, 14, 1, 38 - 45.
- LEROYER, P. (1986). *La traction - répulsion au tir a l'arc: Conception et utilisation d'un outil d'auto-contrôle du mouvement. Investigation électromyographique en relation avec la fatigue et le tremblement*. Mémoire por le Diplome de I.N.S.E.P. (Paris).
- LEROYER, P. et al (1988). *Conception d'un appareil pour l'étude et l'optimisation du geste du tireur à l'arc*.
- LEROYER, P. ; GAUCHER, B. ; VAN HOECKE, J. (1991). *Technical diagnosis system in Archery*. Second World Congress on Sport Sciences. Book of Abstracts, 171. Barcelona.
- LEROYER, P.; VAN HOECKE, J.; HELAL, J.N. (1993). *Biomechanical study of the final push-pull in archery*. Journal of Sports Sciences, 11, 63 - 69.
- MARTIN, P.E.; SILER, W.L.; HOFFMAN, D. (1990). *Electromyographic analysis of bow string release in highly skilled archers*. Journal of Sports Sciences, 8, 215 - 221.
- MARTIN, P.E.; HEISE, G.D. (1992). *Archery bow grip force distribution: Relationship with performance and fatigue*. International Journal of Sport Biomechanics, 8, 305 - 319.
- MEDVED, V. (1993). *Electromyographic study of muscle fatigue in pistol shooters*. U.I.T. Journal, 1, 56 - 58.
- NISHIZONO, H. et al. (1984). *An electromyographical analysis of purposive muscle activity and appearance of muscle silent period in archery shooting*. J. Physical Fitness Japan, 33, 17 - 26.
- NISHIZONO, H.; KATO, M.(1987). *Inhibition of muscle activity prior to skilled voluntary movement*. In Biomechanics X - A (Ed. by B. Jonsson) 455 - 458. International Series on Biomechanics, vol. 6A, Human Kinetics Publishers, Champaign, IL.

- NISHIZONO, H. et al. (1987). *Analysis of archery shooting techniques by means of electromyography*. In Proceedings of 5th Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports (Ed. by Tsarouchas, L.; Terauds, J.; Gowitzke, B.A.; Holt, L.E.), 364 - 372. Athens.
- SATO, H. (1982). *Functional characteristics of human skeletal muscle revealed by spectral analysis of the surface electromyogram*. *Electromyogra. Clin. Neurophysiology*, 22, 459 - 516.
- SEROUSSI, R.E.; WILDER, D.G.; POPE, M.H. (1989). *Trunk muscle electromyography and whole body vibration*. *Journal of Biomechanics*, 22, 3, 219 - 229.
- SQUADRONE, R. ; RODANO, R. ; GALLOZI, C. (1994). *Fatigue effects on shooting archery performance*. XII International Symposium of Sport Biomechanics, (Ed. by A. Barabás, Gy. Fábíán), 122. Hungary.
- VERA, P.; HOYOS, J.V.; Nieto, J. (1985). *Biomecánica del aparato locomotor. I Fundamentos*. IBV, Valencia.
- WINTER, D.A. et al. (1980). *Units, Terms and Standards in Reporting EMG Research*. Baltimore, MD: ISEK.
- WINTER, D.A. (1990). *The biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley and Sons, New York.
- YAMASHITA, N. et al. (1987). *Quantitative analysis of lower limb muscle activities during standing and leaning for application to artificial postural control*. In *Biomechanics X - A* (Ed. by B. Jonsson), 169 - 173. Champaign: Human kinetics Publishers.
- ZIPP, P.; ARNOLD, W.; ROHMERT, W. (1978). *Identifizierung von leistungsbestimmenden engpässen beim bogenschiessen*. *Leistungssport*, 8, 5, 375 - 383.
- ZIPP, P. (1979). *Elektromyographie in der biomechanik des sports - Anwendungsbeispiel bogenschiessen*. *Leistungssport*, 9, 4, 288 - 294.
- ZIPP, P. (1982a). *Effect of electrode geometry on the selectivity of myoelectric recordings with surface electrodes*. *European Journal of Applied Physiology*, 50, 35 -40.
- ZIPP, P. (1982b). *Recommendations for the standardization of lead positions in surface electromyography*. *European Journal of Applied Physiology*, 50, 41 - 54.

EFFECTOS DE UN ENTRENAMIENTO DE FUERZA SOBRE LOS NIVELES DE TESTOSTERONA Y CORTISOL EN ADOLESCENTES

Pablos Abella, C.

Dirección para correspondencia:

Departamento de Educación Física.
Facultat de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport.
Universitat de València.
Ctra. Valencia-Cheste, s/n.
46380 CHESTE (Valencia)
Tfno.: 251 14 11
Fax: 251 24 03
e-mail: Carlos.Pablos@uv.es



Carlos Pablos Abella, es Licenciado en Educación Física por la Universidad Politécnica de Madrid, finalizando sus estudios en el INEF de Madrid en 1974. Doctor en Psicología por la Universitat de Valencia en 1995. Es profesor de la asignatura de Teoría y Práctica del Entrenamiento Deportivo desde 1990 en la Facultat de Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport de la Universitat de Valencia. Es autor de diversos artículos y publicaciones sobre la fuerza en el entrenamiento deportivo. Ha participado en el proyecto "Aplicación y seguimiento mediante análisis biomecánico de dos métodos de entrenamiento de fuerza explosiva en deportes de equipo", subvencionado por el CNICD. Actualmente dirige un grupo de investigación sobre

entrenamiento de fuerza en deportes de equipo y sus efectos hormonales, subvencionado por el CNICD.

Resumen: Con el entrenamiento se produce un estrés que lleva a variaciones de los niveles hormonales, entre las que se encuentran la testosterona (T) como principal anabolizante y el cortisol (C) como principal catabolizante.

El objetivo de este estudio, ha sido comprobar que la aplicación de un circuito de fuerza a unos adolescentes varones durante 7 semanas con 2 sesiones semanales de una hora y con una intensidad submáxima (menos del 80% del máximo) produce mejoría en su fuerza y no supone sobreentrenamiento tal como se deduce de la respuesta hormonal, ya que disminuyen los niveles de testosterona y de la ratio testosterona/cortisol (FTCR) pero sin llegar a niveles de sobreentrenamiento (no supera el criterio absoluto: FTCR menor de $0.35 \cdot 10^{-3}$). La respuesta del cortisol, es variable tal como se ha comprobado en la mayoría de los estudios realizados con adultos. Los niveles basales hormonales se recuperan tras 3 semanas de descanso, lo que permite continuar con el entrenamiento sin peligro de sobreentrenamiento.

Palabras clave: Testosterona, cortisol, ratio testosterona cortisol, fuerza, adolescentes, entrenamiento, hormonas anabolizantes, hormonas catabolizantes, sobreentrenamiento.

Abstract: Training generates stress leading to variations of hormonal levels, including testosterone (T) as the main anabolizer and cortisol (C) as the main catabolizer.

The aim of this paper is to verify that the application of a strength circuit to a group of male teenagers for 7 weeks -2 one hour weekly sessions under the highest intensity (less than 80% of the maximum)- improves their strength and does not imply overtraining as inferred from hormonal response, since T and Free Testosterone Cortisol Ratio (FTCR) levels are reduced without reaching overtraining levels (the absolute criterium is not reached: $FTCR < 0.35 \cdot 10^{-3}$). The response of C is changeable, as it has been verified in most studies carried out with adults. Basal hormonal levels are recovered after resting for 3 weeks, which allows proceeding with training without danger of overtraining.

KEY WORDS: Testosterone, Cortisol, Free Testosterone Cortisol Ratio (FTCR), Adolescents, Training, Strength, Anabolic hormone, Catabolic hormone. Overtraining.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. RELACIÓN DE LAS HORMONAS CON EL EJERCICIO FÍSICO

En distintos aspectos de la función corporal (como pueden ser el desarrollo, el crecimiento, la reproducción, el soporte de sobreesfuerzos consecuentes de cargas físicas y/o psíquicas, el mantenimiento del equilibrio interno mediante ajustes de ácido-bases y balance de los electrolitos) están presentes las hormonas. Igualmente están influyendo en la potenciación de los trabajos biológicos (facilitando la combustión necesaria para la obtención de la energía requerida).

Se puede decir que es un área de reciente interés la investigación de los efectos del ejercicio sobre la función endocrina, esto es debido a que su avance ha dependido del desarrollo de la técnica de radio-inmunoensayo (RIA) aplicada por Yalow y Berson en 1960, que ha permitido la medición en nanogramos y picogramos de las hormonas en circulación. En los últimos años se han identificado un gran número de ellas, aunque todavía no se sabe que papel fisiológico juegan muchas durante el ejercicio (*Sutton, Farrell and Harber, 1988*).

Toda acción viene acompañada de reacciones fisiológicas, con el objetivo de dar a los músculos la energía suficiente para su contracción. Estas reacciones van acompañadas de distintas respuestas hormonales con unas finalidades concretas como puede ser ayudar a la homeostasis mediante la limitación de la pérdida de agua o favorecer el suministro energético, movilizandando las reservas de glucógeno (*Rieu, 1993*).

En síntesis podemos decir que el ejercicio físico produce dos tipos de acciones como consecuencia de la respuesta hormonal del organismo, que van a producir un aumento en la secreción de hormonas específicas (*Frey, 1982*):

- **Catabolismo de los hidratos de carbono:** se origina una disminución de la insulina, un aumento de glucagón y una vasopresión del sistema arterial.
- **Respuesta de estrés no específico a la carga de trabajo:** que actúa sobre el eje hipotálamo-hipofisario.

A pesar de que los cambios hormonales en las concentraciones plasmáticas pueden ser interpretados como la respuesta fisiológica al ejercicio, muchas veces se produce aumento de los niveles plasmáticos de una hormona como consecuencia de una mayor liberación, o debido a la disminución de la actividad catabólica sobre dicha hormona (tasa de aclaramiento metabólico). La mayoría de las hormonas se degradan en el hígado, el cual ante un esfuerzo físico recibe un menor flujo sanguíneo debido a la mayor demanda por los grupos musculares que participan en el esfuerzo, y por tanto, reduce el potencial catabolizador sobre las hormonas circulantes (*Sutton et al., 1988*). Igualmente hay que considerar que en los músculos activos en el ejercicio físico va a haber una mayor concentración sanguínea, lo que supone que llegue mayor cantidad de hormona activa a éstos, independientemente de que exista una mayor concentración en sangre o no (*Kraemer, Kilgore, Kraemer y Castrocane; 1992*). Las variaciones sufridas por los ejes hipotálamo-hipofisario-adrenal e hipotálamo-hipofisario-gonadal ante una situación de estrés, como puede ser el producido por el ejercicio físico, hace que predomine el proceso catabólico sobre el anabólico, lo que es ade-

El ejercicio agudo y repetitivo está asociado con la liberación o inhibición de un determinado número de hormonas de la pituitaria (Galbo, Hummer, Petersen, Christensen & Bie - 1977-; Elias & Wilson -1993- Vermeulen; 1994). Así pues, el ejercicio baja la concentración de hormona luteinizante (LH) y generalmente no varía el nivel de la hormona foliculo estimulante (FSH) (Elias et al., 1993). Al igual que las gonadotropinas influyen sobre el medio ambiente hormonal, los estrógenos actúan a nivel pituitario, disminuyendo la amplitud de las pulsaciones de LH, mientras que los andrógenos actúan a nivel hipotalámico disminuyendo la frecuencia pulsátil. Por otro lado, se distinguen cambios en la estabilidad de los niveles hormonales comunes a todas las personas y cambios de tipo interindividual. El ejercicio extremo puede producir cambios hormonales de muy larga duración (Viru, 1992b).

De todas estas hormonas que hemos citado, vamos a centrarnos en nuestro estudio en la testosterona, debido a su relación con factores anabolizantes y el cortisol, como representativo del catabolismo.

1.1.1. La testosterona

Es un esteroide C₁₉, con un grupo -OH en posición 17 (Ilustración 1). Se produce a partir de la degradación del colesterol en los ovarios, testículos y corteza suprarrenal. El hipotálamo actúa sobre la adenohipófisis, la cual produce la secreción de las gonadotropinas (hormonas trópicas que proceden de la adenohipófisis) que estimulan ovarios y testículos, y secreción de la adrenocorticotrópica (ACTH) que estimula la corteza suprarrenal.

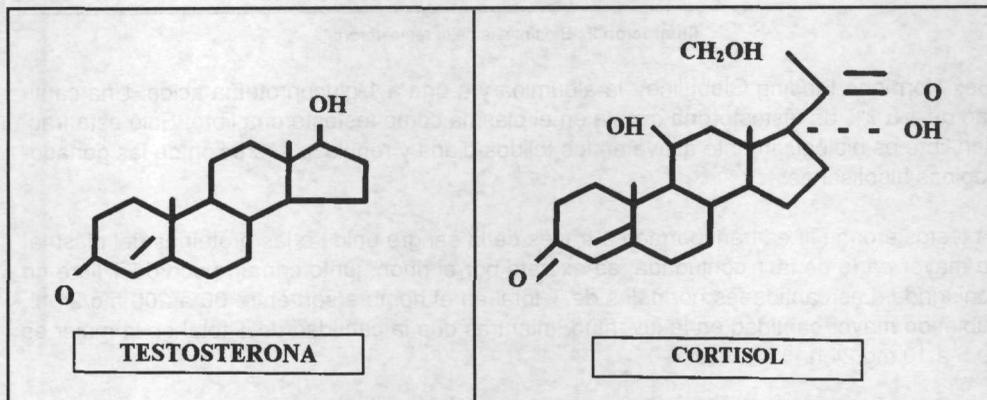


Ilustración 1. Fórmulas de testosterona y cortisol.

La síntesis se produce a partir de la degradación del colesterol en pregnenolona y deshidroepiandrosterona. La pregnenolona se transforma en progesterona que se degrada a androstenediona que fácilmente se transforma en testosterona (Ilustración 2).

El testículo secreta androsterona, androstenediona, progesterona, 17-OH-progesterona y estradiol, aunque la principal secreción es la testosterona, que se envía al sistema circulatorio donde circula unida en su mayor parte a proteínas del plasma, principalmente la SHBG

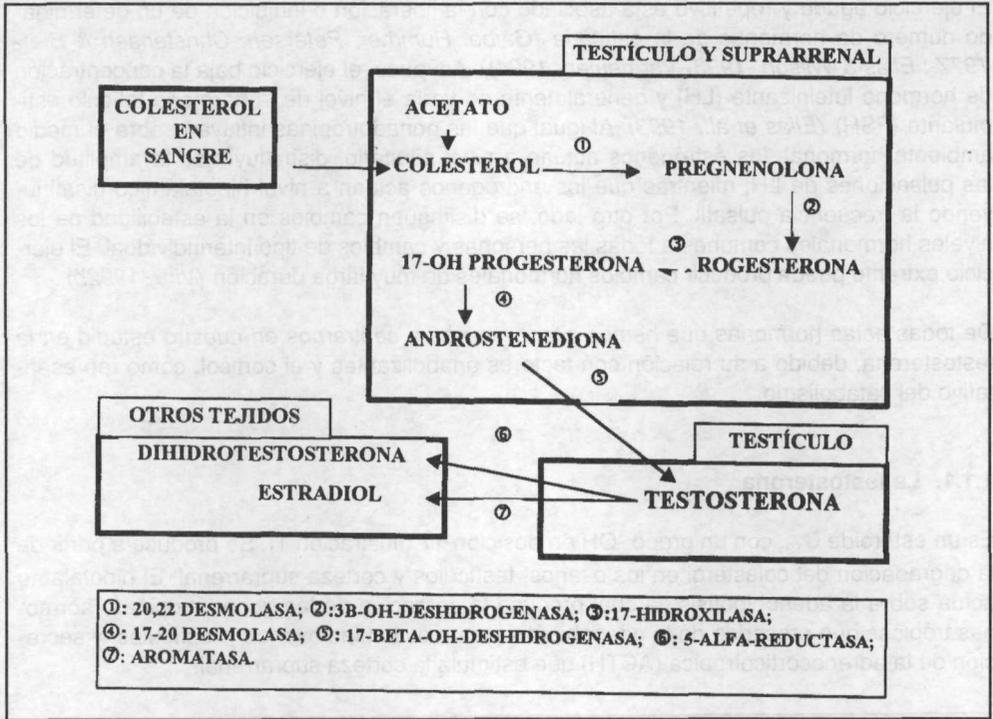


Ilustración 2. Biosíntesis de la testosterona.

(Sex Hormone Binding Globuline), la albúmina y a una α -1-glucoproteína ácida. Una cantidad de 1 a 3% de testosterona circula en el plasma como testosterona libre. Solo esta fracción libre es biológicamente activa en los tejidos-diana y regula la secreción de las gonadotropinas hipofisarias.

La testosterona (T) es transportada a través de la sangre unida a las proteínas del plasma. La mayor parte de la T conjugada, se excreta por el riñón, junto con un poco de T libre no conjugada. Las cantidades normales de T total en el hombre son entre 30 a 200 mg/24 h., habiendo mayor cantidad en la juventud, mientras que la cantidad de T total en la mujer es de 5 a 10 mg/24 h.

El control hormonal de testosterona secretada por las células de Leydig se realiza por medio de la LH secretada por la adenohipófisis. La LH estimula la esteroidogénesis testicular. Por otro lado la FSH parece ser que también estimula la síntesis de testosterona, aumentando el número de receptores a la LH de las células de Leydig. La propia testosterona ejerce un mecanismo de retroalimentación negativo, inhibiendo la producción de LH a nivel adenohipofisario.

Dos acciones importantes va a tener la testosterona: efecto androgénico y efecto anabólico. De estos, el que nos interesa a nosotros es el anabólico, que actúa aumentando la fuerza y la masa muscular, basado en la inducción de un balance positivo del nitrógeno,

sodio, potasio y calcio. También estimula la eritropoyesis y el crecimiento óseo. Esta acción anabolizante, se opone a la catabolizante de los glucocorticoides suprarrenales.

1.1.2. El cortisol

Es un glucocorticoide, también conocido como hidrocortisona. Se llama químicamente: Delta-4-pregnen-3,20-dion,11b, 17a,21 triol (Ilustración 1)

Es una de las hormonas esteroideas de la corteza suprarrenal, en donde se secretan distintos tipos de corticoides:

✓ Mineralcorticoides

✓ Glucocorticoides

✓ Andrógenos

Dentro del grupo de los glucocorticoides, el más importante es el cortisol. Se sintetiza a partir del colesterol plasmático conjugado con lipoproteínas de baja densidad (LDL) en la corteza suprarrenal. Cuando la producción de corticosteroides es estimulada, la ACTH, además de incrementar la captación del colesterol plasmático, activa la enzima colesterol-esterasa, permitiendo la utilización del colesterol almacenado.

Es el principal glucocorticoide secretado por las glándulas suprarrenales y su mayor o menor secreción va a depender del eje hipotalámico-hipofisario. Es el único glucocorticoide que puede inhibir la liberación de ACTH mediante un "servomecanismo", de forma que cuando hay una cantidad mayor de la normal en sangre, actúa sobre el área hipotalámica y el área hipofisaria superior para inhibir la liberación de ACTH. Debemos tener en cuenta que la liberación de ACTH no es la misma durante todas las horas del día y por tanto modifica también la del cortisol en el ritmo circadiano, siendo el nivel más bajo alrededor de la media noche (1 a 5 mg./100ml.) y el más alto hacia las 8 h. de la mañana (15 a 20 mg./100ml.)

La tasa normal de secreción diaria de cortisol se encuentra en 17 mg. para el hombre y en 15 mg para la mujer.

El cortisol es transportado un 70% del total, unido a la CBG (Corticosteroid-Binding Globulin) o transcortina, que es una glucoproteína plasmática que presenta una elevada afinidad al cortisol. Un 20%, es transportado por la albúmina, y el 10% restante circula libre. Estos datos son en condiciones basales. Cuando ante un estrés se elevan los niveles de cortisol en sangre, aumenta en mayor medida la capacidad transportadora de la albúmina, llegando a soportar niveles superiores a 1000 mg/dl, mientras que la transcortina solo puede duplicar su nivel basal debido a su baja concentración en sangre.

El cortisol unido a proteínas, juega un papel de reserva, siendo la parte activa, aquella que se encuentra libre. Cuando se produce la depleción de ésta, es cuando el organismo utiliza el cortisol unido a proteínas.

En lo que respecta al metabolismo periférico del cortisol, su catabolismo y conjugación se producen sobre todo, en el hígado, transformándose en glucuronato de tetrahydrocortisol que es rápidamente eliminado por el riñón.

El cortisol es una hormona glucocorticoide de carácter catabólico que produce unas acciones biológicas que causan la desviación de los aminoácidos desde el músculo hacia el hígado para su desaminación, originando el agotamiento muscular. El exceso de glucocorticoides produce una menor síntesis de proteínas y una anulación brusca de la hormona hipofisiaria del crecimiento en los niños. Los aminoácidos desviados desde los músculos hacia el hígado en donde son desaminados, forman hidratos de carbono (principalmente glucógeno) y grasas. Esta mayor gluconeogénesis aumenta el nivel de glucosa en sangre, que es reducida por una mayor secreción de insulina proveniente de la célula β , la cual queda agotada en aquellas personas que tienen una reserva insulinogénica deficiente, pudiendo acarrear una diabetes permanente.

1.2. RESPUESTAS DE TESTOSTERONA Y CORTISOL AL EJERCICIO FÍSICO:

1.2.1. La testosterona:

En la literatura existente sobre la respuesta de la testosterona al ejercicio físico, hay una gran variabilidad en los resultados, que pueden estar relacionadas con distintos factores como son: la intensidad y tipo de ejercicios, el nivel de los deportistas, el número de series realizadas en la sesión de entrenamiento, los períodos de recuperación anteriores al esfuerzo o dentro de la sesión de entrenamiento, el tipo de alimentación, las características endocrinas del individuo, el tiempo transcurrido entre las tomas de sangre después del ejercicio, el sexo y la edad de los sujetos sometidos a estudio (*Kraemer; 1988; Barral, Oro and Galarza; 1988*) (Tabla 1).

De todo ello podemos resumir que la respuesta de la T al ejercicio físico es variada en función de las situaciones:

- Ante esfuerzos tanto de alta intensidad, se produce un incremento de los niveles de T. Podemos observar incrementos de los niveles de T en todos los estudios sobre intensidades fuertes y de corta duración e intensidades sub-máximas ante duraciones algo mayores (aproximadamente los 120 minutos) (*Viru, 1992b; Cumming et al., 1987a; Guglielmini et al., 1984; Webb, Wallance, Hamill, Hodgson and Mashaly, 1984; Kraemer, 1988; Harris et al., 1989; Murray et al., 1988; Hackney, 1989*). Solamente en dos trabajos de fuerte intensidad y corta duración daban como resultado una disminución de los niveles de testosterona (*Cumming, Wall, Quinney and Belcastro; 1987b; Adlercreutz, Harkonen, Kuoppasalmi, Kosunen, Naveri and Rehunen; 1976*). *Cumming y col. (1987b)* lo atribuían al tipo de ejercicio (natación) y la posición corporal realizada en el trabajo experimental.
- Ante esfuerzos de gran duración y baja intensidad, la T disminuye por debajo de los niveles basales. Sucede ante esfuerzos de 3 ó 4 horas y ante esfuerzos intensos de varios días con pequeños periodos de recuperación que impiden la recuperación total (*Friedl et al. 1988; Tegelman et al. 1988; Guglielmini et al. 1984; Webb et al. 1984; Kraemer, 1988; Harris et al. 1989*).
- Ante esfuerzos de resistencia realizados en altitud, los niveles de T disminuyen significativamente con respecto a los que se tienen a nivel del mar o en altitud previamente al esfuerzo (*Friedl et al.; 1988. Marinelli et al.; 1994*).

Tabla 1. Respuesta de la testosterona a "distintos trabajos con ejercicios".

AUTORES	GRUPOS	TIPO DE TRABAJO	RESPUESTA DE LA T
Guglielmini, Paolini y Conconi; 1984	- Marchadores - 1/2 fondistas - Maratonianos - Ultramaratonianos	* Toma de muestras de sangre, antes y después del ejercicio específico del deporte en sí.	↑ después del esfuerzo. A las 3 horas de esfuerzo ↓
Webb, Wallance, Hamill, Hodgson and Mashaly; 1984	- 11 ♂ y 9 ♀	* 2 horas de ejercicios en cinta rodante	↑ en ♂ a los 30 min. y ↓ a los 120 min. ↑ en ♀ a los 120 min.
Cumming, Wall, Galbraith y Belcastro; 1987a	- GE 7 ♀ entrenadas - GC 17 ♀ no entrenadas.	* Una sesión de trabajo de 1 hora aproximada.	↑ significativamente la T total y la T no unida a la HBG
Cumming, Wall, Quinney y Belcastro; 1987b	- Nadadores adolescentes.	* Natación progresiva hasta la fatiga (14 minutos)	al acabar el ejercicio en ♂ $p < 0.01$ en ♀ $p < 0.05$
Murray, Cameron, Vogel, Thomas, Wyss y Zauner; 1988	- 10 sujetos sanos - 8 sujetos insulino dependientes.	* Ejercicio durante 45 minutos.	↑ significativamente ($p < 0.01$)
Friedl, Plymate, Bernhard y Mohr; 1988	16 sujetos ♂ entre los 18 y 36 años.	* Fuerte subida a la montaña durante 5-6 horas, 24 horas descanso y 3-4 horas de bajada.	↓ significativamente, al acabar ambos ejercicios.
Harris, Cook, Walker, Read y Riad-Fahmy; 1989	11 sujetos ♂ corredores de maratón.	* Carrera de maratón. Omas de saliva previa y T post prueba.	↑ a mitad de carrera y posteriormente comienza a bajar.
Mero, Kauhanen, Peltola, Vuorima y Komi; 1990	GE.- 12 GC.- 9 Son promesas preadolescentes	* Se mide resistencia, fuerza y velocidad con ejercicios específicos y se comparan resultados	correlaciona con fuerza explosiva de piernas y con edad cronológica y biológica.
Kraemer, Kilgore, Kraemer y Castracane; 1992	- 8 ♂	* Sesión de 40 min. de fuerza.	No variación en T. Se produce hemoconcentración
Marinelli, Roi, Giacometti, Bonini and Banfi; 1994	- 6 ♂ corredores de maratón en altitud	Se toman muestras de sangre después de la carrera de maratón y a las 24 horas después de concluirla.	La T se encuentra disminuida grandemente al acabar y sólo recupera parcialmente a las 24 h.

- La T correlaciona positivamente en los preadolescentes con la fuerza explosiva, la edad y con la hormona del crecimiento (*Mero, et al.; 1990*).
- Existe una diferenciación significativa en la producción y metabolismo de la T entre hombres y mujeres. La mujer metaboliza en el hígado cerca del 90%, mientras que el hombre solamente el 50% (*Cumming et al. 1987a*).
- Viendo los niveles basales entre entrenados y no entrenados, para unos autores (*Tegelman et al. 1988*) no hay diferencia y para otros (*Leheup et al. 1989*), hay menor nivel de testosterona en los jóvenes entrenados.

1.2.2. El cortisol:

Entre los estudios realizados sobre el seguimiento de la respuesta del C al ejercicio físico, vemos una gran variabilidad, dependiendo de la intensidad del ejercicio, del nivel de los deportistas, del tipo de alimentación, del sexo y edad de los sujetos. Los métodos utilizados para la toma de sangre, las diferencias circadianas, el tiempo de las mediciones y factores psicológicos, pueden enmascarar los efectos de los ejercicios sobre los cambios de cortisol observados (tabla 2).

Tabla 2. Respuesta del cortisol a "distintos trabajos con ejercicios".

AUTORES	GRUPOS	TIPO DE TRABAJO	RESPUESTA DE LA T
Cumming, Wall, Galbraithy Belcastro; 1987a	- GE 7 ♀ entrenadas - GC 17 ♀ no entrenadas.	* Una sesión de trabajo de 1 hora aproximada.	Permanecen variables después de la hora de ejercicio.
Cumming, Wall, Quinney y Belcastro; 1987b	20 Nadadores adolescentes. ♂	* Natación progresiva hasta la fatiga (14 minutos)	Permanecen variables después del ejercicio.
Friedl, Plymate, Bernhard y Mohr; 1988	16 sujetos ♂ entre los 18 y 36 años.	* Fuerte subida a la montaña durante 5-6 horas , 24 horas descanso y 3-4 horas bajada	↓ cuando se mide en altitud, tras el 1º esfuerzo y ↑ tras el 2º esfuerzo.
Tegelman, Carlstrom y Pousette; 1988	31 ♂ de alta competición de hockey hielo	* Tras 3 partidos de competición con poco tiempo de recuperación entre ellos.	↑ los niveles tras ejercicio intenso con poco periodo de recuperación.
Luger, Deuster, Gold, Loriaux y Chrousos; 1988	7 ♂ entrenados 7 ♂ entrenan poco 7 ♂ entrenan fuert	* Esfuerzos en cinta rodante a tres intensidades (50, 70 y 90% del VO ₂ máx.) y poca duración del ejercicio	↑ niveles tras ejer. intenso en los tres grupos, y ↑ los niveles, tras el ejerc. de mediana intensidad. ↓ ante el ejerc. de poca intensidad.
Harris, Cook, Walker, Read y Riad-Fahmy; 1989	11 sujetos ♂ corredores de maratón.	* Carrera de maratón. Tomas de saliva previa y post prueba.	↑ antes de la salida y la máxima subida la tienen al final de la competición.
Corral, Mahon, Duncan, Howe and Craig.; 1994	10 niños (10.6 ± 0.2 años)	Un esfuerzo de 30 min. en cicloergómetro con los 1º cinco min. de calentamiento. Intensidad submáxima	↑ el C en el transcurso del esfuerzo. En saliva también se ve el aumento aunque no significativo.
Marinelli, Roi, Giacometti, Bonini and Banfi; 1994	- 6 ♂ corredores de maratón en altitud	Se toman muestras de sangre después de la carrera de maratón y a las 24 horas después de concluirarla.	El C se encuentra aumentado, sobre todo al acabar y disminuido a las 24 h. del esfuerzo.

De los datos observados en los distintos estudios consultados, podemos resumir que la respuesta del C al ejercicio físico es variada en función de las situaciones:

- Tras el ejercicio físico duradero (3-4 horas) se produce un aumento de los niveles de C, mientras que si se realiza la toma con posterioridad al descanso y con alimentación para reponer fuerzas, estos niveles son incluso inferiores a los basales.

- Los niveles de C aumentan después de ejercicios de gran intensidad o de intensidad submáxima, aunque en estos segundos aumentan en menor grado. Por otro lado disminuyen ante ejercicios de baja intensidad y poca duración (20 minutos).
- Aumentan los niveles de C tras varios días de esfuerzos intensos con poco período de recuperación.
- Disminuyen los niveles de C en los jóvenes sometidos varios días a fuerte entrenamiento con poca recuperación y floja alimentación.
- Los entrenados mantienen un nivel de C basal superior a los no entrenados, aunque estos datos no son confirmados en uno de los trabajos.
- Los niveles de C después de fuertes trabajos de una hora, sufren variaciones con respecto a los niveles basales en ambos sentidos (elevaciones y descensos) en los distintos individuos sometidos a esfuerzo, tanto en adolescentes masculinos como en jóvenes. Por ello existen otros factores que pueden influir.

1.3. CAMBIOS EN LOS NIVELES HORMONALES DE ADOLESCENTES EN RESPUESTA AL EJERCICIO FÍSICO

Se ha ido observando, entre los distintos estudios realizados por diversos autores, que hay una serie de variables que son determinantes en las respuestas hormonales, como puede ser la intensidad del ejercicio (% de RM), las hormonas, o el volumen (nº de series por nº de repeticiones por intensidad). Hay otras variables que también influyen en las respuestas hormonales en deportes de alta competición, como pueden ser los periodos de descanso y los factores que ayudan a la recuperación (masajes, alimentación, relajación, etc..).

La diferencia en el desarrollo muscular entre hombres y mujeres, ha sido atribuida a las acciones anabólicas de la hormona sexual masculina testosterona, la cual produce un aumento de secreción en la pubertad en donde además de su función de desarrollo de las caracterizaciones masculinizantes, actúa con un papel anticatabólico o anabólico en el músculo (*Kraemer, 1988*).

Hay que tener en cuenta que, en el trabajo de fuerza con niños preadolescentes, se produce una ganancia de ésta a pesar de no tener altos niveles de andrógenos en circulación debido a la mejora en la coordinación intramuscular (*Siegel, 1988*). También hay que valorar la maduración de los distintos niños, usando la edad biológica en los estudios, ya que los que hacen deporte suelen tener una maduración mayor que los no deportistas (*Mero et al., 1990*).

Entre los pocos trabajos que hemos encontrado sobre la respuesta hormonal al ejercicio físico en adolescentes, sacamos como conclusión que los grupos de adolescentes fuertemente entrenados, reaccionan ante ejercicios intensos con una disminución significativa de T sin distinción de sexos, mientras que el C, del cual solamente tenemos datos ante esfuerzo progresivo intenso en chicos, permanece variable (*Cumming et al., 1987b*). Este tipo de respuesta, que varía con respecto a los resultados obtenidos por los mismos investigado-

res con jóvenes deportistas en cinta rodante y bicicleta ergométrica, tratan de atribuirla al tipo de ejercicio empleado, que es con nadadores y por tanto en posición tumbada (Cumming et al., 1987a).

1.4. RESPUESTA HORMONAL AL ENTRENAMIENTO DEPORTIVO

Teniendo en cuenta que el entrenamiento deportivo busca mejorar el nivel de rendimiento de los deportistas y para ello se les somete a grandes volúmenes de trabajo, es necesario regular los esfuerzos con períodos de recuperación que posibiliten la asimilación por parte del organismo del efecto de las cargas.

En la actualidad el número de horas dedicados a entrenamiento en deportistas de élite son muchas, debido a la gran especialización y, por tanto, el poder regular de forma eficaz su efecto, va a ser fundamental para producir las mejorías necesarias. Entre las variaciones que se producen en el organismo como consecuencia de los entrenamientos, destacan los cambios sufridos en los niveles hormonales, que pueden jugar un papel importante en la cuantificación del entrenamiento permitiéndonos alternar de una mejor manera los distintos tiempos de recuperación para que las cargas a las que se somete al deportista en el entrenamiento sean eficaces (Banfi, Marinelli, Roi and Agape; 1993). Para ello, es importante saber si los cambios hormonales producidos tras la realización de un entrenamiento se mantienen, y con ello difieren de los sedentarios o también si el efecto del constante entrenamiento favorece las respuestas hormonales de los deportistas, activándose en menor o mayor grado que en los sujetos pasivos. Hay que tener en cuenta que el más entrenado moviliza un menor nivel de hormonas (Frey, 1982). Partiendo de ello, podemos decir que con el entrenamiento físico aumenta la capacidad de esfuerzo y con ello disminuye el estrés relativo. Igualmente los entrenados movilizan una mayor respuesta de la hormona b-endorfina al ejercicio que los no entrenados (Sutton et al., 1988).

Consideraremos la respuesta de la T y el C al entrenamiento, teniendo en cuenta la importancia que tiene su control para organizar el efecto de sus cargas e ir construyendo progresivamente y de forma controlada su nivel de rendimiento. Debemos tener en cuenta las características de los jóvenes deportistas, ya que sus capacidades físicas y coordinativas están en una fase de formación y por tanto no se pueden aplicar grandes cargas de entrenamiento, considerando también que los adolescentes están en una etapa de la vida que hay fuertes respuestas hormonales (Buchanan, Eccles y Becker; 1992).

1.4.1. La testosterona

La testosterona responde de distinta manera al entrenamiento en función de varios factores como se puede ver en los estudios resumidos a continuación (tabla 3).

Podemos sintetizar las respuestas de la T al entrenamiento con los siguientes puntos:

- Los deportistas entrenados en resistencia con alto volumen de carga, manifiestan menores niveles de T a nivel basal que los sedentarios (Wheeler et al. 1984; Vasaukari, T., Kujala, U., Heinonen, O. and Huhtaniemi, I.; 1993). E igual respuesta se da al comparar deportistas de élite de actividades predominantemente de resistencia, con deportistas de la misma especialidad pero de inferior categoría (Grandi et al., 1988).

Tabla 3. Respuesta de la T en los distintos estudios sobre el entrenamiento.

AUTORES	GRUPOS	TIPO DE TRABAJO	RESPUESTA DE LA T
Wheeler, Stephens, Wall, Belcastro y Cumming; 1984	GC: 18 ♂ GE: 31 ♂	* Comparar entre sedentarios y entrenados (>64 kms. semanales) resistencia	Se observa unos niveles significativamente ↓ en el GE.
Häkkinen, Pakarinen, Alén, Kauhanen y Komi; 1987	Jóvenes levantadores de peso	* Un entrenamiento anual con tomas de sangre y test de fuerza 7 veces. Fuerza	* Tras fuerte entrene, ↓ de los niveles de T. Tras entrene no fuerte, se mantienen los niveles. A lo largo de todo el proceso no se observan diferencias.
Rowland, Morris, Kelleher, Haag y Reiter; 1987	15 ♂ jóvenes adolescentes	* Tras 8 semanas de entrenamiento para campo a través. Resistencia	↑ los niveles de T en las 4 primeras semanas.
Häkkinen, Pakarinen, Alén, Kauhanen y Komi; 1988	11 ♂ halterófilos.	* Entrenamiento durante 1 semana con dos sesiones diarias. Fuerza	↓ de los niveles en suero.
Grandi, Gavioli, Pradelli, Pederzoli, Turrini y Celani; 1988	16 jugadores GE: Volei y fútbol profesional GC: fútbol amateur	* Seguimiento de la competición con toma de muestras de sangre a mitad de competición y tras un partido a ambos grupos. Resistencia.	↑ los niveles de T en el GE con respecto al GC pero no significativamente. El GC tiene un mayor nivel basal de T pero no significativo.
Seidman, Doler, Deuster, Arnon, Epstein; 1990	35 jóvenes no entrenados	* Se someten a un entrenamiento de 18 semanas con 1 hora durante 5 días semanales. Resistencia	↑ después de 6 sema. ↓ de la 6 a la 12 sema. y se mantiene hasta la 18 sem.
Häkkinen, Pakarinen, Kyörläinen, Cheng, Kim y Komi; 1990	2 grupos de 7 ♀ cada uno. Estudiantes de Educación Física	* Entrenamiento de fuerza y potencia 3 veces por semana durante 16 semanas.	No modificaciones significativas en los niveles de T entre antes y después del entrenamiento.
Tsai, Johansson, Pousette; Tegelman, Carlström y Hemmingsson; 1991	6 ♂ esquí 3 ♂ orienta. 1 ♀ esquí 6 ♀ orienta.	* Seguimiento del entrenamiento, con tomas de sangre en período preparatorio y al principio y final del período de competición. Resistencia	No diferencias significativas en los tres momentos de medición de T
Jensen, Oftebro, Breigan, Johnsson, Öhlin, Meen, Stromme; 1991	7 ♂ muy entrenados	* Respuesta de la T, tras sesiones muy intensas de fuerza y de resistencia	↑ la T un 27% tras la fuerza y un 37% tras la resistencia. A las 2 horas se normalizan los niveles.
Busso, Häkkinen, Pakarinen, Kauhanen, Komi y Lacour; 1992	6 ♂ halterófilos de élite.	* Un proceso de entrene de 1 año centrado en el estudio de las 6 semanas antes de competición. Fuerza	↓ los niveles en los períodos de fuerte entrenamiento.
Opstad; 1992	GE.- 10 ♂ GC.- 9 ♂	* 6 días de fuerte entrenamiento y floja alimentación y descanso. Resistencia aero-anaeróbica	* ↓ ante el estrés y la falta de sueño.
Steinacker, Laske, Etzel, Lormes, Liu y Stauch; 1993	Un grupo de jóvenes remeros.	* Sometidos a entrenamiento en dos fases: 1ª.- 16 días con gran volumen y baja intensidad. Resistencia aeróbica y 2ª.- 10 días con menor volumen y alta intensidad. Resistencia aero-anaeróbica	↓ los niveles tras la 1ª fase y ↑ tras la 2ª fase. Determinaron que los mejor entrenados tenían niveles de testosterona inferiores a los menos entrenados.
Hickson, Hidaka, Foster, Falduto y Chatterton; 1994	n= 10 (5 ♀, 5 ♂) adultos	* Fuerte entrenamiento de resistencia de fuerza, durante dos períodos de 8 semanas cada uno, con trabajo 3 días por semana.	* ↑ significativo de la sección transversal muscular. * ↑ la fuerza sobre todo en las primeras semanas. * ↑ la T sobre todo en el primer período.

- En deportes con alto componente de fuerza, muestran menores niveles de T los individuos mejor preparados, después de un esfuerzo concreto (*Steinacker et al. 1993*).
- Los niveles de testosterona, disminuyen en entrenamientos intensos (*Busso et al., 1992; Opstad, 1992; Häkkinen et al., 1987; Häkkinen et al. 1988*).
- Lo más importante es la intensidad aplicada en la periodización del entrenamiento, distinguiendo entre período de preparación, de competición o de transición (*Seidman et al., 1990; Rouland et al., 1987; Häkkinen et al., 1987*).
- El entrenamiento de resistencia, con un gran volumen semanal y bastante intensidad, hace que aumenten los niveles de T en adolescentes, aunque no de manera significativa (*Rouland et al. 1987*) y en adultos (*Hickson et al., 1994*), mientras que en otro estudio, este entrenamiento no varía los niveles de T, aunque puede ser debido a la menor intensidad del entrenamiento (*Tsai et al., 1991*).
- En largos períodos de entrenamiento de fuerza, no hay cambios significativos en la T en mujeres aunque sí correlaciona ésta con la fuerza (*Häkkinen et al., 1990*).
- La exposición prolongada a varios estresores, produce una clara disminución de los niveles de T en hombres sanos (*Aakvaag, Sand, Opstad and Fonnum; 1978; de Lignieres, Plas, J., Commandre, Morville, Viani and Plas, F.; 1976*), justificándola por la inhibición de la esteroidogénesis testicular por los corticosteroides y las catecolaminas (*Bambino and Hsueh; 1981; Levin, Lloyd, Lobotsky and Friedrich; 1976*) y también por las alteraciones en la secreción de la LH (*Rivier, Rivier and Vale; 1986*).

1.4.2. El cortisol

El cortisol responde de distinta manera al entrenamiento en función de varios factores (tabla 4).

Podemos sintetizar las respuestas del C al entrenamiento con los siguientes puntos:

- El entrenamiento realizado con fuerte intensidad, produce un aumento de los niveles de C en sangre, como resultado de la actividad catabólica (*Tegelman et al., 1988; Seidman et al., 1990; Tsai et al., 1991; Steinacker et al., 1993; Häkkinen et al., 1987*). Aunque en un trabajo (*Opstad, 1992b*), mientras que un entrenamiento intenso con poco descanso y mala alimentación produce disminuciones del C no significativas.
- La duración del entrenamiento por sí misma no va a influir sobre los niveles de C (*Steinacker et al., 1993; Häkkinen et al., 1987; Tsai et al., 1991*). Cuando va acompañada de cierta intensidad si se producen las elevaciones del C.
- Los deportistas de mejor nivel deportivo y físico tienen más C en el suero previo a la competición que los deportistas de un nivel inferior o los no deportistas (*Snegovskaya et al., 1993; Tegelman et al., 1990*).
- Ante esfuerzos similares, a los deportistas mejor preparados se les aprecia menor nivel de C después del ejercicio que a los deportistas de nivel inferior, supuestamente debido a una mayor actividad catabólica (*Steinacker et al., 1993*).

Tabla 4. Respuesta del C en los distintos trabajos de entrenamiento.

AUTORES	GRUPOS	TIPO DE TRABAJO	RESPUESTA DE LA T
Häkkinen, Pakarinen, Alén, Kauhanen y Komi; 1987	11 ♂ Jóvenes levantadores de peso	* Un entrenamiento anual con tomas de sangre y test de fuerza 7 veces. Fuerza	↑ en las 2 semanas de fuerte entrenamiento y ↓ en las 4 semanas de menor intensidad.
Häkkinen, Pakarinen, Alén, Kauhanen y Komi; 1988	8 ♂ halterófilos de élite.	* Observación de un entrenamiento durante 1 semana con dos sesiones diarias. Fuerza	No hay cambios en los distintos momentos. Por las mañanas ↓ después del ejercicio y por las tardes ↑.
Tegelman, Carlström y Pousette; 1988	31 ♂ de alta competición de hockey hielo	* Tras 3 partidos de competición con poco tiempo de recuperación entre ellos. Resistencia	↑ de los niveles al final de los partidos.
Tegelman, Johansson, Hemmingsson, Eklöf, Carlström y Pousette; 1990	GE: 10 ♀ esquí 10 ♂ esquí GC: 13 ♀ sedenta. 15 ♂ sedenta.	* No hay trabajo. Se observan diferencias entre los que entrenan y los sedentarios. Resistencia y no actividad	En ♂ no hay diferencias significativas. En ♀ hay aumento en GE con respecto al GC
Seidman, Doler, Deuster, Burstein, Arnon y Epstein; 1990	35 jóvenes no entrenados	* Se someten a un entrenamiento de 18 semanas con 1 hora durante 5 días semanales. Resistencia aeróbica	↑ significativo.
Häkkinen, Pakarinen, Kyröläinen, Cheng, Kim y Komi; 1990	Grupo de 14 ♀ 7 Entrenan y 7 no.	* Entrenamiento de fuerza y potencia durante 16 semanas, seguido de 8 semanas de no entrenamiento, Fuerza	↑ de manera no significativa.
Tsai, Johansson, Pousette, Tegelman, Carlström y Hemmingsson; 1991	6 ♂ esquí 3 ♂ orienta. 1 ♀ esquí 6 ♀ orienta.	* Con el seguimiento del entrenamiento normal, con tomas de sangre en período preparatorio y al principio y final del período de competición. Resistencia	↑ en grupo de ♀. No encontraron aumento significativo en grupo de ♂.
Opstad; 1992	GE.- 10 ♂ GC.- 9 ♂	* 6 días de fuerte entrenamiento y floja alimentación y descanso.	No encontró diferencias significativas.
Steinacker, Laske; Etzel, Lormes, Liu y Stauch; 1993	Un grupo de jóvenes remeros.	* Sometidos a entrenamiento en dos fases: 1ª.- 16 días con gran volumen y baja intensidad y 2ª.- 10 días con menor volumen y alta intensidad.	No sufría variación durante la 1ª fase. ↑ significativamente durante la 2ª fase.
Snegovskaya, Viru; 1993	Grupo de remeros de alta competición	Seguimiento del entrenamiento durante 20 meses.	↑ concentraciones en remeros de mayor nivel.

1.4.3. Respuesta de la testosterona y cortisol al entrenamiento en adolescentes.

El crecimiento participativo en competiciones deportivas de niños y adolescentes ha sido examinado por los médicos con una mezcla de entusiasmo y prudente preocupación. Mientras que el ejercicio regular puede llevar a beneficios saludables, los ejercicios intensos de los programas de entrenamiento en alto rendimiento con deportistas en crecimiento pueden ser peligrosos (Rouland *et al.*, 1987).

Cuando se habla de entrenamiento en adolescentes, tanto a nivel de resistencia como de fuerza, es necesario tener en cuenta el proceso natural de maduración y no aplicar trabajos muy intensos puesto que pueden perjudicar más que beneficiar (*Mero et al., 1990*).

Entre los pocos trabajos que hemos podido encontrar realizados con adolescentes e incluso con preadolescentes, vemos que sus niveles hormonales, en concreto la T y el C, responden ante el entrenamiento en función del momento en que se realicen las mediciones con respecto al día y a la intensidad del trabajo realizado anteriormente, lo que hará que el deportista se encuentre cansado o recuperado de dicho esfuerzo. Vemos cómo en el estudio de un seguimiento de dos meses, llevado a cabo por *Rowland et al. (1987)* con adolescentes masculinos, sometidos a entrenamiento de resistencia, los niveles de T aumentaban sobre todo en el primer mes, sin llegar a ser significativos estadísticamente. Este aumento lo atribuían a la respuesta de secreción de la hormona pituitaria luteinizante, aunque, después de un ejercicio agudo, plantean que la variación de los niveles hormonales puede deberse (*Rowland et al., 1987; Hackney, 1989*):

1. A la hemoconcentración
2. A la disminución del espacio libre metabólico debido al decrecimiento hepático en la corriente sanguínea.
3. Y/o al aumento de la mediatización de las catecolaminas

1.4.4. La ratio testosterona libre/cortisol (FTCR) como medio de control del entrenamiento

Al realizar las sesiones de entrenamiento se somete al organismo a importantes esfuerzos, que es necesario controlar para ser más eficaz, puesto que un entrenamiento mal regulado entre carga y descarga, puede llevar al sobreentrenamiento y con ello a conseguir los efectos contrarios: fatiga crónica, falta de sueño, excitabilidad, etc. Por tanto, es muy importante el control del entrenamiento y sus efectos.

Entre los distintos métodos que se aplican, aunque en pequeña medida actualmente, está la ratio testosterona libre/cortisol (FTCR). La disminución de un 30% o más del FTCR con respecto a los niveles basales es indicativo de una recuperación incompleta temporal como consecuencia de un entrenamiento intensivo (*Adlercreurtz, Harkonen, Kuoppasalmi, Naveri, Huhtaniemi, Tikkanen, Remes, Dessypris and Karvonen, 1986; Harkonen, Kuoppasalmi, Naveri, Tikkanen, Icen, Adlercreurtz and Karvonen, 1984; Vervoorn, Quist, Vermulst, Erich, de Vries and Thijssen; 1991 Banfi et al., 1993; Marinelli et al., 1994*). Los cambios en los valores de la T tras las sesiones de entrenamiento de fuerza o de resistencia a nivel individual, pueden ser importantes para valorar las adaptaciones al esfuerzo (*Jensen et al., 1991*). Igualmente la hipercortisolemia en los sujetos sometidos a ejercicio físico puede responder a la adaptación fisiológica al entrenamiento (*Salvador, Suay, Martínez-Sánchez, González-Bono, Rodríguez y Gilabert; 1995b*).

Los niveles plasmáticos de testosterona total (Tt), libre (Tl) y C han sido propuestos en la medicina deportiva para estudiar el anabolismo y catabolismo (*Banfi et al., 1993*), siendo la

ratio entre la testosterona libre y el cortisol (FTCR) considerada como un índice de la efectividad del balance entre las vías anabólica y catabólica y especialmente del posible sobreentrenamiento (*Banfi et al., 1993*), considerando este como un desequilibrio del balance necesario entre el entrenamiento y la recuperación .

El equilibrio entre la actividad anabólica y catabólica se representa por el ratio entre la T_{LIBRE}/C (FTCR) (*Adlercreurtz et al. 1986; Harkonen et al. 1984; Alén, Pakarinen, Häkkinen and Komi; 1988*). Por ello, el FTCR, es un parámetro útil para la detección inicial del desequilibrio anabólico y catabólico (*Vervoorn et al., 1991*).

La condición que dan *Adlercreurtz y col. (1986)* y *Harkonen y col. (1984)* para que se diagnostique la fatiga excesiva en un deportista a través de la FTCR se basa en los siguientes criterios:

1. **Criterio absoluto:** Un valor menor que $0.35 \cdot 10^{-3}$ medida la Testosterona libre (FT) en nmol/l. y el C en mmol/l.
2. **Criterio relativo:** Una disminución del nivel inicial de un 30% o más.

Diversos son los estudios que observan la respuesta de la FTCR con relación al entrenamiento (tabla 5).

Ante un incremento repentino de la intensidad del entrenamiento, se observa un cambio metabólico hacia el catabolismo ($T_{\text{TOTAL}} \downarrow$, $T_{\text{LIBRE}} \downarrow$, $\text{FTCR} \downarrow$ y $C \uparrow$ mientras que en períodos de relativo descanso con sesiones de baja intensidad, se observaron cambios de tipo anabólico ($T_{\text{TOTAL}} \uparrow$, $T_{\text{LIBRE}} \uparrow$, $\text{FTCR} \uparrow$ y $C \downarrow$) (*Vervoorn, Vermulst, Boelens-Quist, Koppeschaar, Erich, Thijssen and de Vries; 1992*). Igualmente observaron que ante el fuerte incremento del entrenamiento, el FTCR correlacionaba con el volumen.

Similares respuestas fueron observadas tras un trabajo de entrenamiento con gimnastas de élite masculinos preadolescentes (*Rich et al., 1992*) en donde disminuían significativamente el FTCR de los gimnastas en relación a un grupo control de preadolescentes normales, los días posteriores a un fuerte entrenamiento, recuperándose los niveles tras un día de supuesto descanso. Ese aumento del FTCR fue descubierto también en el grupo control, lo que les llevó a deducir que los cambios pueden deberse también a otros factores distintos al entrenamiento. Indican que el uso de varios días de entrenamiento similar, reducen el balance anabólico-catabólico pero es necesario controlar otros parámetros que pueden influir también.

La respuesta del FTCR al entrenamiento, está relacionada con la intensidad (*Veervorn et al., 1991; Veervorn et al., 1992; Guglielmini, Manfredini, Grazzi, Casoni, Manfredini, Mazzoli and Conconi, 1992; Rich et al., 1992; Lutoslawska, Obminski, Krougulski and Senddecki, 1991*), pues a fuerte entrenamiento durante un período de tiempo, se produce una disminución de este, que es recuperada tras un tiempo de descanso (activo o pasivo). Por otro lado, durante un estudio llevado a cabo por *Tsai y col. (1991)* con deportistas de fondo (orientación y esquiadores de fondo) no se observaron disminuciones de la FTCR en ninguno de los dos grupos. Estos resultados pueden ser debidos a que a las 18 horas de un esfuerzo intenso, el organismo ya ha vuelto a sus niveles hormonales basales (*Lutoslawska*

Tabla 5. Respuesta de la FTCD en los distintos trabajos de entrenamiento.

AUTORES	GRUPOS	TIPO DE TRABAJO	RESPUESTA DE LA T
Fry, Morton, García-Webb, and Keast (1991)	14 sujetos de varios niveles de preparación al ejercicio físico	Se someten a una sesión interválica intensiva de tipo aeróbico y se toman muestras previo al ejercicio, y a las 2, 4 8 y 24 horas de acabar este.	Observaron basándose en la ratio T/C que una rica alimentación en proteínas no influye en recuperación, pero ayuda a impedir el estrés de la fatiga.
Lutoslawska, Obminski, Krougolski and Sendecki (1991)	5 piragüistas de élite	Se les toman muestras de sangre, antes y después de una carrera de 19 kms en kayak y otra de 42 kms.	↓ la T/C en los esfuerzos más largos. A las 18 horas de descanso se vuelve a recuperar el nivel basal.
Tsai, Johansson, Pousette, Tegelman, Carlstöm and Hemmingsson (1991)	9 sujetos de orientación (6 ♀ (y 3 ♂) y siete esquiadores de fondo (1 ♀ y 6 ♂)	Se toman mediciones al comienzo de la temporada, al principio del período de competición y al final de este.	No se observan cambios significativos de la ratio, en ambos grupos.
Veevoorn, Quist, Vermulst, Erich, de Vries and Thijssen (1991)	6 remeros ♂ de élite.	9 meses de entrenamiento	↓ FTCD en los periodos de fuerte entrenamiento. ↑ FTCD en los periodos de baja intensidad.
Guglielmini, Manfredini, Grazi, Casoni, Manfredini, Mazzoli and Conconi (1992)	10 biatletas de élite.	5 meses de entrenamiento. Los 4 primeros meses para todos igual y el último, 7 sujetos siguen igual y 3 sujetos disminuyen su actividad.	Se observa superior la ratio en el grupo que disminuye su actividad. La reducción del entrenamiento puede restaurar suficientemente el equilibrio homeostático
Rich, Villani, Fulton, Ashton, Bass, Brinkert and Brown (1992)	8 gimnastas con una edad media de 10 años y 11 meses.	5 días de entrenamiento consecutivo, específico de gimnasia y se comparan con un grupo de control relativamente sedentario, tomando muestras de sangre previo al entreno y 30 min. posterior a él.	↓ FTCD en el grupo de gimnastas después de un fuerte entrenamiento y se recuperaban tras un día de menor actividad.
Veevoorn, Vermulst, Boelens-Quist, Koppeschaar, Erich, Thijssen and de Vries (1992)	6 ♀ remeros de élite.	4 con un programa idéntico de entreno y 2 con programa individualizado. Entrenan durante 9 meses, pasándoles diversos test con toma de muestras de sangre.	↓ FTCD tras los periodos de fuerte entrenamiento. ↑ FTCD tras periodos de relativo descanso.
Banfi, Marinelli, Roi and Agape (1993)	Ocho patinadores de velocidad (5 ♂ y 3 ♀)	Estudio desde junio del 91 hasta enero del 92. Período de entrenamiento de preparación para los juegos olímpicos y el campeonato del mundo.	Cuando la FTCD disminuye por encima del 30%, se relaciona esto con la recuperación de un entrenamiento intensivo. No observaron síntomas de sobreentrenamiento el cual pueden relacionarlo con el criterio absoluto
López, Navarro, Barbany, García, Bonnin and Valero (1993)	7 ciclistas ♂	Seguimiento de un entrenamiento durante 6 meses, mediante toma de muestras de saliva.	↓ FTCD sin llegar a ser significativa estadísticamente. Mejoraban la capacidad aeróbica y se deterioraba la anaeróbica.
Tsai, Karpakka, Agering, Johansson, Pousette and Carlstrom (1993)	6 estudiantes ♂ y 2 ♀)	Se les aplica distintos tipos de dieta, mientras ejecutan unos esfuerzos no muy fuertes.	Los distintos tipos de dieta no varían significativamente la ratio NSBT/C (NSBT es la T no unida a la SHBG).
Marinelli, Roi, Giacometti, Bonini and Banfi (1994)	GE=6 ♂ de maratón GC=5 ♂ sedentarios	Se les somete a la realización de una maratón en unos 4000 mts. de altitud.	< en ambos grupos (no significativamente) del nivel del mar a la altitud. En el GE < significativamente después de la carrera y > significativamente a las 24 horas del período de recuperación. Hay diferencias significativas con el GC después de la carrera

et al.; 1991), o incluso a mayores niveles que los basales (*Marinelli et al.* 1994). Por ello es importante saber el tiempo transcurrido entre el último esfuerzo realizado y la medición hormonal.

Igualmente para *Lutoslawska y colaboradores* (1991), la intensidad produce incrementos en el C y disminuciones en T y FTCT, indicando que ante esfuerzos de mayor duración, dichas variaciones son más remarcadas, aunque después de 18 horas de recuperación se vuelve a los niveles basales.

2. OBJETIVOS

En función de todo ello, nos planteamos los siguientes objetivos:

1. Comprobar la mejoría de la fuerza en los adolescentes, tras la aplicación de un entrenamiento en circuito con una selección de cargas cuya intensidad no sobrepase el 85% de la carga máxima y con un número de repeticiones idóneo para estas edades, tal como plantean diversos autores (*Ehlenz, Grosser, M. and Zimmermann, E., 1990; Dick, 1993; Platonov, 1991; Manno, 1991; Weineck, 1988; Lambert, 1993; Verjoshanski, 1990*). Para ello nos interesa comprobar si dos sesiones semanales de 1 hora de entrenamiento son suficientes para mejorar la fuerza en estas edades y niveles y también el efecto de la partición de los 4 meses de entrenamiento en dos períodos con la inclusión de 3 semanas intermedias de descanso entre ellos con la posterior modificación del circuito en el segundo período.
2. Ver la relación existente entre el entrenamiento de fuerza y los niveles hormonales (testosterona y cortisol).
3. Comprobar los efectos del entrenamiento de fuerza en adolescentes y su relación con los cambios sufridos en la FTCT.

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Se seleccionaron de entre 240 sujetos del Instituto de Bachillerato Ramón Llull de Valencia a 35 alumnos de manera voluntaria, 13 hombres formaban el grupo experimental (GE) y 12 hombres el grupo control (GC). De los 25 sujetos masculinos iniciales, por causas de abandono y lesiones ajenas al programa nos quedamos finalmente con una muestra de 16 sujetos (7 del GE y 9 del GC).

Ambos grupos son homogéneos en datos generales, tal como se puede comprobar al utilizar las pruebas *t* de Student (tabla 6).

Tabla 6. Pruebas t de student entre el GE y el GC.

VARIABLES	GE	GC	T	P
EDAD	14.5385 (± 0.8770)	14.9286 (± 0.9168)	0.270069	n.s.
PESO	55.6154 (± 10.9509)	58.1429 (± 6.8033)	0.474406	n.s.
TALLA	167.615 (± 8.6075)	165.571 (± 8.4645)	0.539658	n.s.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se trata de un estudio comparativo entre dos grupos de adolescentes masculinos, en donde un grupo (GE) está sometido a un proceso de entrenamiento de fuerza durante cuatro meses, organizado en dos períodos de 7 y 8 semanas respectivamente, con un intervalo de descanso entre ambos (coincidente con las vacaciones de Navidad) de 3 semanas. Realizan controles de fuerza al comenzar y acabar el primer período de entrenamiento y al finalizar el segundo, en sesiones llevadas a cabo en el mismo horario de entrenamiento (19.00 a 20.00 horas) y se les toma muestras de saliva (para el posterior análisis hormonal) al comienzo, mitad y final de cada período de entrenamiento y siempre en el mismo horario (miércoles a las 12.30 horas) con intervalos de tiempo superiores a las 36 horas entre estos y la anterior sesión de entrenamiento de fuerza. El otro grupo (GC) solamente realiza las mediciones de fuerza y los tests en las mismas fechas y horarios que el grupo experimental (Ilustración 3).

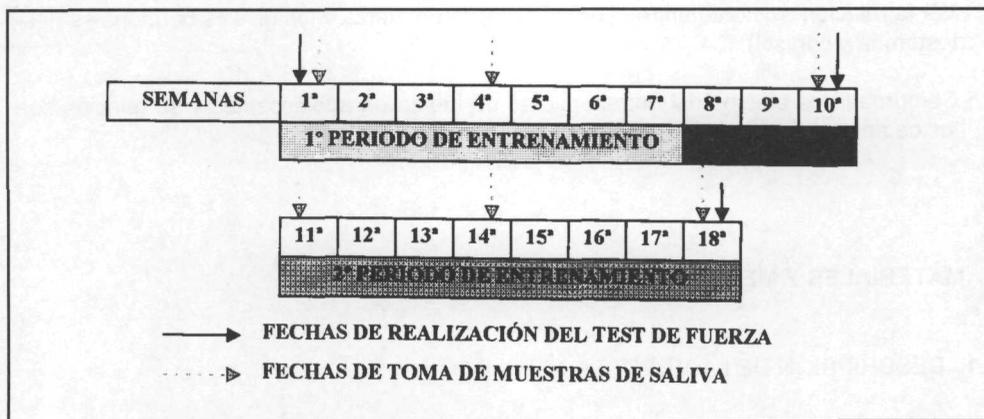


Ilustración 3. Diseño del entrenamiento y tests.

El calendario programado para realizar las actividades y mediciones es el siguiente:

- **Duración del entrenamiento:** 18 semanas repartidas en un primer periodo de 7 semanas seguido de un periodo de descanso de 3 semanas y finalizando con otro periodo de entrenamiento de 8 semanas.

- **Nº de sesiones semanales de entrenamiento:** 2 sesiones de 1 hora aproximadamente de trabajo con, al menos, 2 días de recuperación entre ambas.
- **Reparto de las sesiones en función de los períodos:**

	ENTRENAMIENTO	TEST	TOTAL SESIONES
PERIODO 1	11	2	13
PERIODO 2	14	1	15

A pesar de la insistencia realizada a los alumnos sobre la necesidad de participar en las sesiones de fuerza y los tests, hemos tenido diversas ausencias que nos supone una media participativa en el 1º circuito de 9.38 sobre un total de 11 sesiones, lo que indica una participación del 85.27% y en el 2º circuito de 11.69 sobre un total de 14 sesiones, lo que equivale a un 83.5%.

3.3. MÉTODO DE ENTRENAMIENTO

Hemos tenido en cuenta los estudios sobre las adaptaciones del organismo (*Platonov, 1991; Verjoshanski, 1990; Viru, 1992*), partiendo de la distribución del entrenamiento en dos sesiones semanales de una hora cada una, considerándolas como válidas para utilizar con adolescentes y conseguir la mejora de la fuerza (*Matveiev, 1983; Platonov, 1988; Manno, 1991; Hahn-E, 1988*).

Posteriormente se seleccionó el método y los medios más adecuados para conseguir las modificaciones en la fuerza de todos los alumnos sometidos al entrenamiento, en función no solamente del número de sesiones semanales, sino también de la duración de todo el trabajo de fuerza, los niveles de los sujetos, la edad, el sexo y las instalaciones disponibles.

Hemos elegido el sistema de trabajo en **circuito** (*Scholich, 1989*), basado en la selección de varios ejercicios dirigidos a distintos grupos musculares en el caso de un circuito específico de fuerza. Optamos por seleccionar 8 ejercicios dirigidos a desarrollar grandes grupos musculares, ordenándose de manera que no estuvieran seguidos dos ejercicios con los mismos efectos para evitar la fatiga acumulada en la misma zona y favorecer la recuperación para aumentar la efectividad del trabajo. Cada circuito se repetía 3 veces por sesión, con un período de descanso entre circuito de unos 4-5 minutos. A la hora de la selección, no solamente se tuvo en cuenta los aspectos efectivos de las cargas, es decir, el volumen, la intensidad y la densidad, sino también el aspecto metodológico partiendo del número de sujetos a trabajar, el material disponible, el nivel de cada uno de ellos, el número de sesiones semanales y su situación dentro de la semana para poder aprovechar los efectos adaptativos al esfuerzo de forma sumativa y producir la mejora en la fuerza (*Platonov, 1991*).

Se ha tenido en cuenta el principio de la variabilidad en el entrenamiento (*Matveiev, 1983; Platonov, 1988; Manno, 1991*) y por ello cambiamos la mayoría de los ejercicios en la aplicación del segundo circuito, intentando mantener la intensidad de trabajo, teniendo en

cuenta las mejoras experimentadas por los alumnos. Esto hizo que seleccionásemos unos ejercicios más intensos que los primeros.

Como nuestro objetivo era la mejora de la fuerza en los sujetos, y partiendo de que a su edad y nivel no es beneficioso trabajar con cargas de intensidad máxima (levantar 1 vez la máxima carga posible =100%) o cargas submáximas (90-95%) (*Cometti, 1988; Hauptmann et al., 1987; Platonov, 1988; Manno, 1991*), se seleccionó el método extensivo de intervalos(*Scholich, 1989*).

El control del trabajo era llevado por cada alumno por medio de una ficha personal en la que anotaban el número de repeticiones de cada ejercicio en los circuitos, pudiendo seguir el propio progreso.

El circuito estaba organizado de la siguiente manera:

- Intensidad de las cargas: Ejercicios que posibiliten al menos la realización de 8 repeticiones durante el tiempo de ejecución de cada ejercicio.
- Duración de ejecución: Cada ejercicio se realiza durante 45 segundos.
- Duración de la recuperación entre ejercicios: no hay descanso, pero al trabajar en parejas en cada estación y uno descansar, recuperan durante 45 segundos.
- N° de series: Cada circuito se repetirá 3 veces en la sesión.
- Tiempo de recuperación entre series: 5 minutos.
- N° de estaciones a realizar en cada circuito: 8.
- N° de sujetos en cada estación: 2 (uno hace y otro recupera o ayuda).
- Se mantiene el orden de ejecución durante todo el circuito, respetando la disposición alternante de los ejercicios.

Los ejercicios que componen el circuito del primer periodo son:

1. Ejercicio de abdominales: Tumbado supino con piernas semiflexionadas y pies sujetos a las espalderas en el peldaño inferior, con un balón medicinal de 4 kgs. sobre el pecho, realizar el mayor número posible de flexiones del tronco.
2. Ejercicio de tríceps y lumbares: Tumbado prono con un balón medicinal de 3 kgs. sujeto con las manos tras la cabeza, lanzarlo lo más lejos posible a un compañero que se encuentra delante, mediante una extensión brusca de brazos.
3. Ejercicio de cuádriceps: Partiendo de la posición de agachado en cuclillas, tronco recto y manos apoyadas en las espalderas (para mantener el equilibrio pero sin ayudarse con ellas para subir), realizar el mayor número de extensiones de piernas, llevando a un compañero sobre los hombros, el cual, se sujeta a las espalderas con las manos para

mantener el equilibrio y en caso de falta de fuerza por su compañero para ayudar a aliviar el peso. El tronco, debe estar recto.

4. Ejercicio para tríceps y deltoides: En posición de fondos con pies muy elevados apoyados en espalderas, realizar flexiones de brazos a bajar lo más posible la barbilla al suelo.
5. Ejercicio para isquiotibiales: Colgado de las espalderas frente a ellas, flexionar las piernas por las rodillas subiendo por detrás un balón medicinal de 4 kgs. El compañero se lo sujeta para que no caiga.
6. Ejercicio para tríceps: Apoyado con las manos sobre dos plintos paralelos uno con el otro a una anchura similar a la de los hombros del sujeto, realizar flexiones y extensiones de brazos.
7. Ejercicio para abdominales: Colgado de las espalderas dorsalmente y llevando un balón medicinal de 3 kgs. en las rodillas, elevarlas hasta la horizontal y mantener unos 3 segundos para volver a bajar.
8. Ejercicio para cuádriceps: Partiendo de la posición de agachado con manos a la altura del pecho sujetando un banco sueco por un extremo y el otro apoyado a las espalderas, realizar extensiones de piernas transportando sobre el banco al compañero que se encuentra sentado haciendo de contrapeso. El contrapeso debe permitir hacer unas 10 flexiones durante el tiempo de ejecución. El cuerpo debe estar recto, sin separar los brazos del cuerpo.

Los ejercicios que componen el circuito del segundo periodo son:

1. Ejercicio para abdominales: Tumbado supino con piernas semiflexionadas y pies sujetos a las espalderas en el peldaño inferior, sujetar un balón medicinal de 4 kgs. sobre la frente y realizar el mayor número posible de flexiones del tronco.
2. Ejercicio para tríceps: Sentado con el cuerpo recto y brazos flexionados, sujetando una pica sobre la cabeza, extenderlos ante la resistencia opuesta por un compañero. Se les indica que deben permitir que extienda los brazos, pero de manera que le cueste el hacerlo y que no sobrepase las 8 ó 10 repeticiones en los 45 segundos de ejecución.
3. Ejercicio de cuádriceps: Partiendo de la posición de agachado en cuclillas, tronco recto y manos apoyadas en las espalderas (para mantener el equilibrio pero sin ayudarse con ellas para subir), realizar el mayor número de extensiones de piernas, llevando a un compañero sobre los hombros, el cual, se sujeta a las espalderas con las manos para mantener el equilibrio y en caso de falta de fuerza por su compañero para ayudar a aliviar el peso. El tronco, debe estar recto.
4. Ejercicio para tríceps y deltoides: En posición de fondos con pies muy elevados apoyados en espalderas, realizar flexiones de brazos a bajar lo más posible la barbilla al suelo.

5. Ejercicio para isquiotibiales: Partiendo de tumbado supino sobre una colchoneta, flexionar las piernas por las rodillas ante la oposición de un compañero. Esta oposición debe ser lo suficientemente fuerte como para que no realice más de 10 repeticiones en 45 segundos.
6. Ejercicios para abdominales: Partiendo de tumbado prono y con los brazos en cruz apoyando las manos en el suelo, realizar elevaciones de piernas sin doblarlas por las rodillas hasta cerca de la vertical y bajarlas sin llegar a tocar el suelo con los pies.
7. Ejercicio para tríceps: Apoyado con las manos sobre dos bancos suecos elevados y paralelos uno con el otro a una anchura similar a la de los hombros del sujeto, realizar flexo-extensiones de brazos. Hay que incidir en que deben de bajar lo más posible y que el apoyo de manos no esté muy separado de la anchura de los hombros.
8. Ejercicio de bíceps braquial: Colocado de pié con una pica cogida con ambas manos a la anchura de los hombros y con los brazos estirados, realizar flexiones de los codos sin coger impulso con ayuda de la zona lumbar y contra la resistencia de un compañero que debe hacer la suficiente como para que no supere las 10 flexiones durante la ejecución del ejercicio.

3.4. MEDIDAS:

Las medidas empleadas en este estudio se pueden dividir en 2 bloques que se presentan en los siguientes apartados:

3.4.1. Variables de fuerza:

El grupo de ejercicios elegidos para el test de fuerza, se hizo teniendo en cuenta: la necesidad de no tardar mucho tiempo en su medición, la representación de la mayoría de los grandes grupos musculares (tronco, brazos, piernas), la utilización de los tres tipos de fuerza, y la sencillez de su ejecución que impida que tengan más importancia otros factores como pueda ser la técnica. La fuerza máxima dinámica, fue medida con los ejercicios dirigidos al bíceps y tríceps braquiales. La fuerza velocidad, con un ligero componente de resistencia, fue utilizada con el ejercicio de abdominales, seleccionando un ejercicio de potencia muscular resistida durante 30 segundos, por ser un tipo de fuerza más útil para los individuos. Para la medición de la fuerza resistencia, se utilizaron unos ejercicios de piernas condicionados por la resistencia local de los cuádriceps, puesto que su ejecución viene determinada por el máximo número de repeticiones que puedan realizar sin descanso, hasta el agotamiento muscular.

Los ejercicios utilizados para medir la fuerza fueron:

1. Bíceps braquial: De pié cogiendo una barra de halterofilia con brazos extendidos, realizar una flexión de estos a llevar la barra al pecho. Se debe de evitar que den un golpe de lumbares al comenzar el movimiento, el cual debe de localizarse solamente a nivel de los brazos. El peso a desplazar será 1 (repetición máxima (1RM). Para conseguir

esto sin estar muy influenciado por el cansancio, se hacen pruebas con distintos pesos durante la primera sesión, intercalando suficiente tiempo de descanso entre cada intento. Una vez determinado 1 RM, se anota en su ficha y nos servirá de referencia para posteriores sesiones de medición.

2. Tríceps braquial: En posición de pié con codos flexionados y sujetando una barra de halteras con las manos detrás de la cabeza a la anchura de los hombros o más próximas, se realiza una extensión de brazos a elevar la barra. Para localizar bien el ejercicio en el tríceps braquial, no deben realizar impulsos previos al levantamiento.
3. Abdominales: Tumbado sobre una colchoneta con las piernas semiflexionadas y los pies colocados entre el 3º y 4º peldaño de las espalderas, realizar el mayor número posible de flexiones de tronco durante 30 segundos. Las manos estarán apoyadas en el hombro contrario cruzando los brazos delante del pecho.
4. Cuádriceps: De pié apoyado sobre una pierna y con la otra elevada por delante, se realizan flexo-extensiones completas con la pierna de apoyo hasta la fatiga máxima. A continuación se hace lo mismo con la otra pierna. Se permite la ayuda del apoyo con una mano solo para mantener el equilibrio.

3.4.2. Variables hormonales

Se tomaron muestras de saliva en tubos de ensayo (3 ml como mínimo), para la realización de las determinaciones hormonales.

Los sujetos, no debían comer ni fumar durante las 2 horas previas a la toma. Además se les dio una serie de informaciones. La secreción salivar fue estimulada mediante la ingestión de un vaso de agua con unas gotas de limón que se les daba 5 minutos antes de iniciar la recogida.

Una vez recogidas las muestras de saliva en el tubo de ensayo de plástico (Unitek[®]) fueron congeladas y almacenadas hasta su análisis que fue realizado en el Laboratorio de Hormonas del Hospital de La Fe (Valencia).

Tanto la testosterona como el cortisol fueron determinados mediante kits comerciales (INMUCHEN-Direct¹²⁵ I Testosterone. INC y Orion Diagnostica, respectivamente). El método para la testosterona incluye una fase previa de extracción con éter. Los coeficientes de variación intra e interensayo fueron del 5.7% y el 6.2% para la testosterona y del 2.2% y el 8.2% para el cortisol.

3.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Los valores de fuerza y los hormonales no se ajustaban a una distribución normal, según los resultados de la prueba de Lillieford. Por tanto, los datos directos fueron transformados a datos logarítmicos para no violar los supuestos de las pruebas paramétricas.

Además se calcularon los cambios porcentuales de cada nivel con respecto a los niveles previos de cada una de las mediciones para soslayar la variabilidad individual de las muestras.

Dado el carácter longitudinal del estudio, se realizaron ANOVAS de medidas repetidas y las correspondientes pruebas t de Student's para variables pareadas y las independientes, ajustadas según el método de Bonferroni.

Todos los análisis se han efectuado mediante el paquete estadístico SYSTAT 5.0 y posteriormente pasados los datos a Pc realizando las gráficas y las tablas con el programa Microsoft Word.

4. RESULTADOS

4.1. EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO SOBRE LA FUERZA

4.1.1. Efectos del primer periodo de entrenamiento

Se producen incrementos en fuerza en todas las medidas utilizadas. Sin embargo sólo se encuentra un efecto significativo del grupo ($F_{1,14} = 6.188$; $p < 0.026$) y de la interacción momento*grupo ($F_{1,14} = 9.166$; $p < 0.009$) sobre la potencia abdominal (Ilustración 4) (Tabla 7). Concretamente, el grupo experimental muestra incrementos significativos de fuerza ($F_{1,6} = 7.886$; $p < 0.031$) que no se encuentran en el grupo control. Las diferencias entre los grupos son significativas al final pero no al principio de este período de entrenamiento ($t = 3.699$; $p < 0.002$).

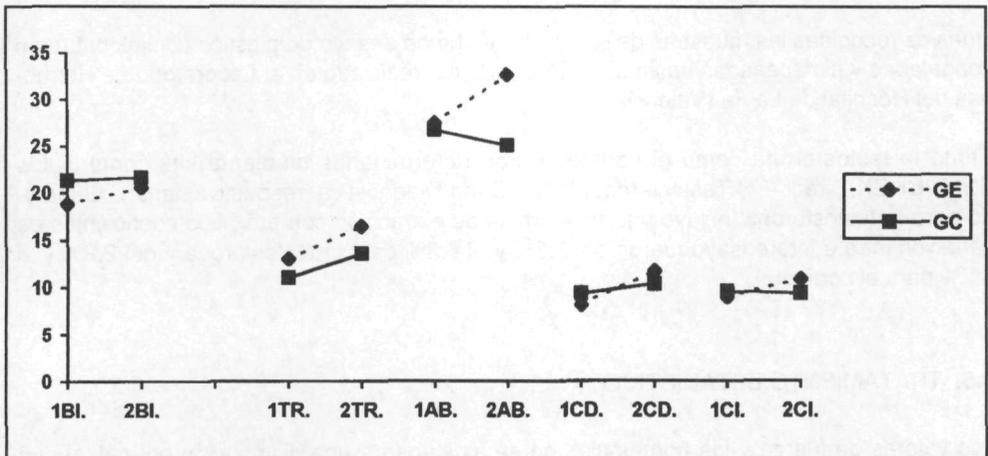


Ilustración 4. Evolución de la fuerza en el primer período: BI: bíceps, TR: tríceps, AB: abdominales, CD y CI: cúadriceps derecho e izquierdo

Tabla 7. Anovas de medidas repetidas de los niveles de fuerza en el período 1.

		F	G.L.	P
FUERZA MÁXIMA	Grupo	0.092	1/14	0.766
EN BÍCEPS	Momento	0.114	1/14	0.741
BRAQUIAL	Grupo*Momento	0.034	1/14	0.856
FUERZA MÁXIMA	Grupo	0.988	1/14	0.337
EN TRÍCEPS	Momento	7.302	1/14	0.017
BRAQUIAL	Grupo*Momento	0.956	1/14	0.345
POTENCIA	Grupo	6.188	1/14	0.026
ABDOMINAL	Momento	10.074	1/14	0.007
	Grupo*Momento	9.166	1/14	0.009
FUERZA-RESISTEN	Grupo	0.194	1/14	0.666
EN CUADRICEPS	Momento	3.714	1/14	0.074
DERECHO	Grupo*Momento	1.503	1/14	0.240
FUERZA-RESISTEN	Grupo	0.428	1/14	0.524
EN CUADRICEPS	Momento	1.597	1/14	0.227
IZQUIERDO.	Grupo*Momento	1.764	1/14	0.205

Además, existe un efecto significativo del momento sobre la fuerza en tríceps ($F_{1,14} = 7.302$; $p < 0.017$), pero no del grupo o de la interacción entre ambos factores (Tabla 7). No hay efectos significativos sobre bíceps y cuádriceps izquierdo.

Cuando expresamos las mejoras en fuerza como cambios porcentuales respecto a la medición previa al entrenamiento (Ilustración 5), se observa un incremento sensiblemente mayor en el GE en comparación con el GC en todas las medidas (salvo bíceps), pero sólo encontramos diferencias significativas en potencia abdominal entre grupos al final del período. El GE muestra bruscos ascensos, mientras que el GC tiene ligeros descensos ($t = 3.158$; $p < 0.007$).

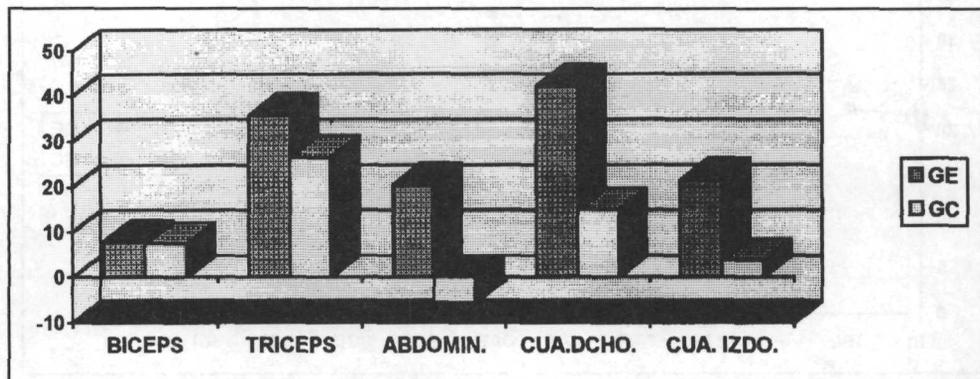


Ilustración 5. Cambios producidos en la fuerza durante la primera fase de entrenamiento.

4.1.2. Efectos del segundo periodo de entrenamiento:

Se ha encontrado un efecto significativo del momento ($F_{1,14} = 14.172$; $p < 0.002$) y de la interacción momento*grupo en la fuerza dinámica-concéntrica en bíceps ($F_{1,14} = 9.069$; $p < 0.009$). No existen diferencias entre grupos ni al principio ni al final del período de entrenamiento. Dentro de la evolución de cada grupo, se observa un incremento significativo en el GE ($F_{1,6} = 32.243$; $p < 0.001$) pero no en el GC (Tabla 8).

Tabla 8. Anovas medidas repetidas de los niveles de fuerza en el periodo 2.

		F	G.L.	P
FUERZA MÁXIMA EN BÍCEPS BRAQUIAL	Grupo	0.088	1/14	0.771
	Momento	14.172	1/14	0.002
	Grupo*Momento	9.069	1/14	0.009
FUERZA MÁXIMA EN TRÍCEPS BRAQUIAL	Grupo	2.746	1/14	0.120
	Momento	5.145	1/14	0.040
	Grupo*Momento	1.648	1/14	0.220
POTENCIA ABDOMINAL	Grupo	7.270	1/14	0.017
	Momento	0.822	1/14	0.380
	Grupo*Momento	2.444	1/14	0.140
FUERZA-RESISTEN EN CUADRICEPS DERECHO.	Grupo	0.026	1/14	0.874
	Momento	0.101	1/14	0.756
	Grupo*Momento	0.001	1/14	0.981
FUERZA-RESISTEN EN CUADRICEPS IZQUIERDO.	Grupo	0.803	1/14	0.385
	Momento	0.640	1/14	0.437
	Grupo*Momento	0.045	1/14	0.835

Además, existe un efecto significativo del grupo en la potencia abdominal ($F_{1,14} = 7.270$; $p < 0.017$). Al inicio de este período, el GE muestra niveles significativamente superiores a los del GC ($t = 3.481$; $p < 0.002$). La evolución intragrupo es diferente, mostrando en este caso, sólo mejoras significativas el grupo control ($F_{1,8} = 6.031$; $p < 0.040$) (Ilustración 6).

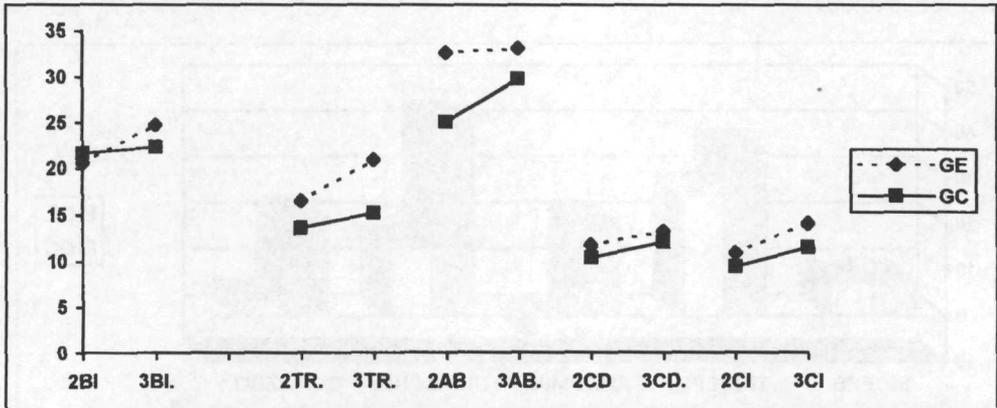


Ilustración 6. Evolución de la fuerza durante el 2º período. BI: bíceps, TR: tríceps, AB: abdominales, CD y CI: cuádriceps derecho e izquierdo.

También se ha encontrado un efecto significativo del momento sobre el tríceps ($F_{1,14} = 5.145$; $p < 0.040$)

Los cambios porcentuales confirman los incrementos detectados en la fuerza dinámica-concéntrica del bíceps braquial en el GE en comparación al GC ($t = 3.169$; $p < 0.007$) (Ilustración 7).

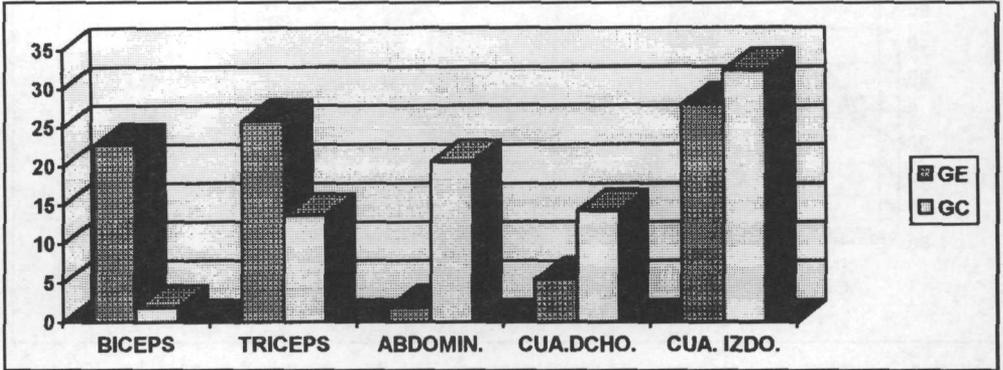


Ilustración 7. Cambios producidos en la fuerza durante la segunda fase del entrenamiento.

4.2. RESPUESTA HORMONAL AL ENTRENAMIENTO EN CADA PERIODO

4.2.1. Respuesta de la testosterona en el primer periodo:

El ANOVA de medidas repetidas (Tabla 9) con el factor grupo (3×2) muestra un efecto significativo de la interacción momento*grupo ($F_{1,7} = 5.377$; $p < 0.019$) y del momento ($F_{2,14} = 6.995$; $p < 0.008$) sobre los niveles de T. Mientras que el GC muestra un aumento no significativo en los niveles de esta hormona, el GE muestra descensos que alcanzan la significación estadística ($F_{2,8} = 6.631$; $p < 0.020$), especialmente en la segunda mitad del período de entrenamiento estudiado (Ilustración 8).

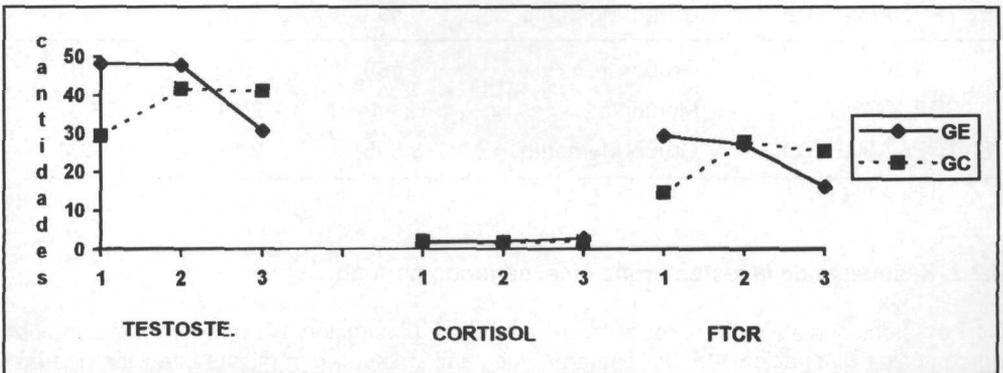


Ilustración 8. Evolución de los niveles hormonales durante el período 1º. La medición de la T es en picogramos por mililitro y el C en manogramos por mililitro.

La respuesta de la T al entrenamiento expresada como cambios porcentuales muestra que los descensos en T del GE son significativamente diferentes a los aumentos que muestra el GC al final del período ($t = -2.885$; $p < 0.023$) (Ilustración 9).

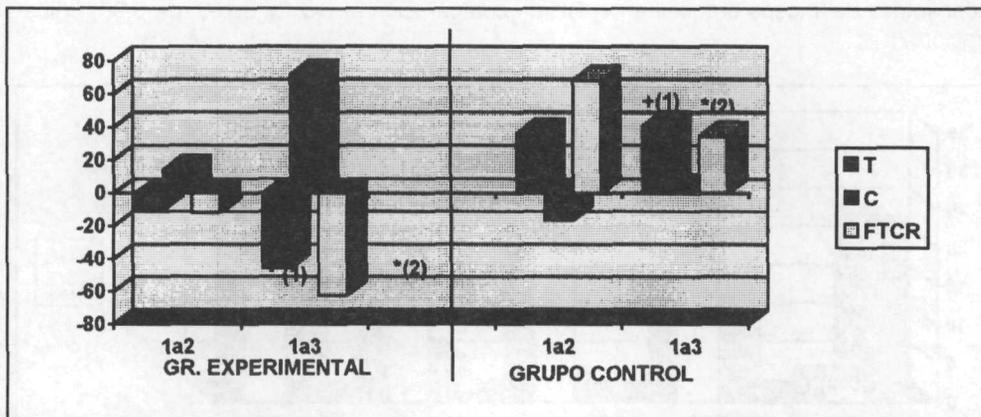


Ilustración 9. Cambios en niveles hormonales durante el período 1º. (*): diferencias significativas en T y FTCR entre ambos grupos.

Tabla 9. Anovas de medidas repetidas de niveles hormonales en el período 1.

		F	G.L.	P
TESTOSTERONA	Grupo	0.392	1/7	0.551
PRE Y POST	Momento	6.995	2/14	0.008
ENTRENAMIENTO	Grupo*Momento	5.377	2/14	0.019
CORTISOL	Grupo	0.151	1/7	0.709
PRE Y POST	Momento	1.002	2/14	0.392
ENTRENAMIENTO	Grupo*Momento	0.537	2/14	0.596
FTCR	Grupo	0.069	1/7	0.801
PRE Y POST	Momento	12.144	2/14	0.001
ENTRENAMIENTO	Grupo*Momento	8.505	2/14	0.004

4.2.2. Respuesta de la testosterona en el segundo periodo:

No hay efectos significativos sobre los niveles de T (Ilustración 10) ni sobre los cambios porcentuales (Ilustración 11). Sin embargo, los cambios son en la misma dirección que en el período anterior aunque de menor cuantía, mostrando el GE tendencia a disminuir y el control a aumentar esta hormona (Tabla 10).

Tabla 10. Anovas de medidas repetidas de niveles hormonales en el período 2.

		F	G.L.	P
TESTOSTERONA PRE Y POST ENTRENAMIENTO	Grupo	1.529	1/10	0.245
	Momento	2.656	2/20	0.095
	Grupo*Momento	3.042	2/20	0.070
CORTISOL PRE Y POST ENTRENAMIENTO	Grupo	6.201	1/10	0.032
	Momento	0.182	2/20	0.835
	Grupo*Momento	0.207	2/20	0.815
FTCR PRE Y POST. ENTRENAMIENTO	Grupo	0.009	1/10	0.926
	Momento	1.651	2/20	0.217
	Grupo*Momento	1.133	2/20	0.342

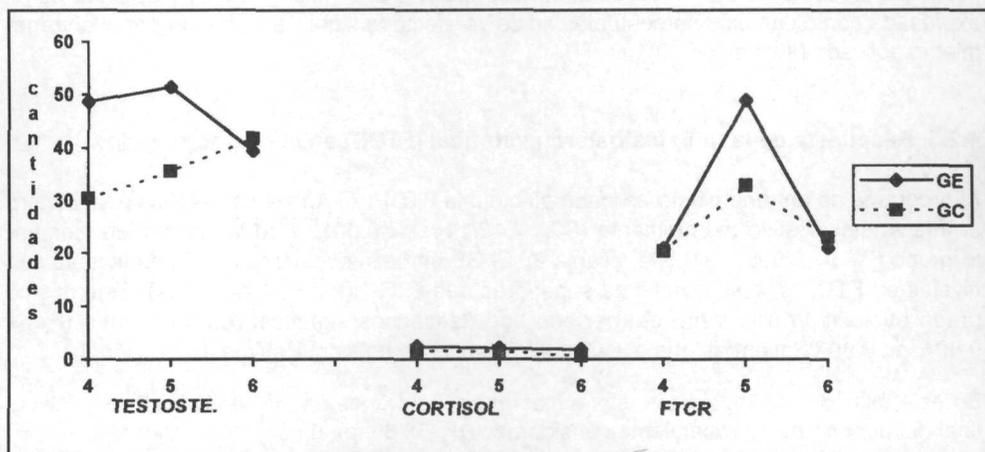


Ilustración 10. Evolución de los niveles hormonales durante el período 2º. La medición de la T es en picogramos por mililitro y el C en nanogramos por mililitro.

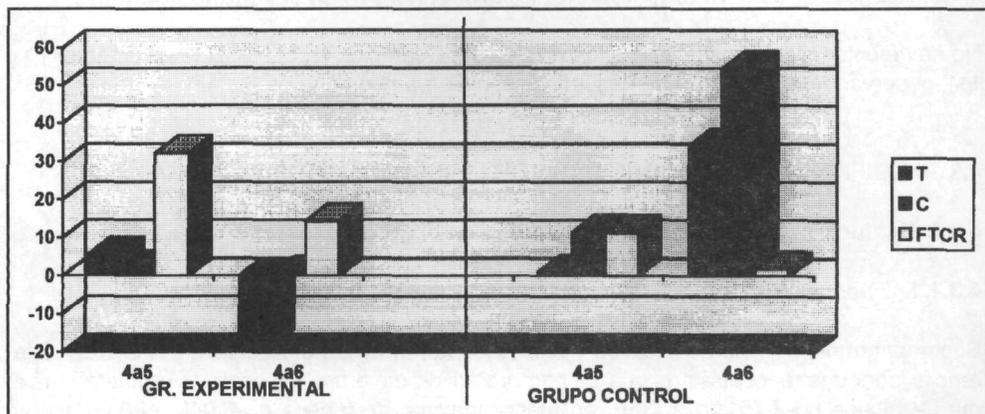


Ilustración 11. Cambios en niveles hormonales durante el período 2º.

4.2.3. Respuesta del cortisol en el primer período:

No hemos encontrado efectos significativos del grupo o de la interacción grupo*momento sobre los niveles o los cambios de C (ilustración 8; tabla 9). Sin embargo, puede apreciarse un aumento en los niveles de C mucho más pronunciado en el grupo al que se le aplicó el programa de entrenamiento (Ilustración 9), especialmente en la segunda parte del período.

4.2.4. Respuesta del cortisol en el segundo período:

Respecto a los niveles de C, existe un efecto significativo del grupo ($F_{1,10} = 6.201$; $p < 0.032$). Aunque no se han encontrado diferencias significativas entre los grupos en ninguna de las muestras recogidas, ni efectos significativos del momento en ninguno de los grupos considerados, puede apreciarse que el GE parte de niveles de C significativamente superiores ($t = 2.309$; $p < 0.038$) a los encontrados en el GC (Figura 8.3.). La respuesta del C expresada como cambios porcentuales no se ve afectada significativamente por el entrenamiento aplicado (Ilustración 10).

4.2.5. Respuesta de la ratio testosterona/cortisol (FTCR) en el primer período:

El programa de entrenamiento aplicado afectó a la FTCR. El Anova correspondiente mostró un efecto significativo del momento ($F_{2,14} = 12.144$; $p < 0.001$) y de la interacción momento*grupo ($F_{2,14} = 8.505$; $p < 0.004$) (Tabla 9). El GE empezó el período de entrenamiento con niveles en FTCR significativamente superiores que el GC ($t = 2.667$; $p < 0.024$). Este mismo grupo evoluciona a lo largo del período con descensos significativos en la ratio ($F_{2,8} = 9.604$; $p < 0.007$), mientras que el GC mostró ascensos no significativos (Ilustración 8).

En este mismo sentido, existen diferencias entre los grupos en los cambios de la FTCR al final del período de entrenamiento considerado ($t = -5.786$; $p < 0.001$) (Ilustración 9).

4.2.6. Respuesta de la ratio testosterona/cortisol (FTCR) en el segundo período:

No hay efectos significativos sobre los niveles o los cambios en la FTCR (Ilustraciones 10 y 11), observándose un patrón de descensos similar a ambos grupos.

4.3. MODIFICACIONES PRODUCIDAS POR EL PROGRAMA DE ENTRENAMIENTO

4.3.1. Evolución de los parámetros medidos en el grupo experimental

4.3.1.1. Fuerza

Si comparamos los valores iniciales y finales de las medidas de fuerza en el GE, sin diferenciar períodos, encontramos que se han producido mejoras significativas en fuerza máxima de bíceps ($t = -3.751$; $p < 0.009$), en fuerza máxima de tríceps ($t = -6.045$; $p < 0.001$) y en potencia abdominal ($t = -2.839$; $p < 0.030$) y casi significativas en la fuerza resistencia de los

dos cuádriceps: derecho ($t=-2.291$; $p<0.062$) e izquierdo ($t=-2.236$; $p<0.067$) tal y como se desprende de los datos de la tabla 11 (Ilustración 12).

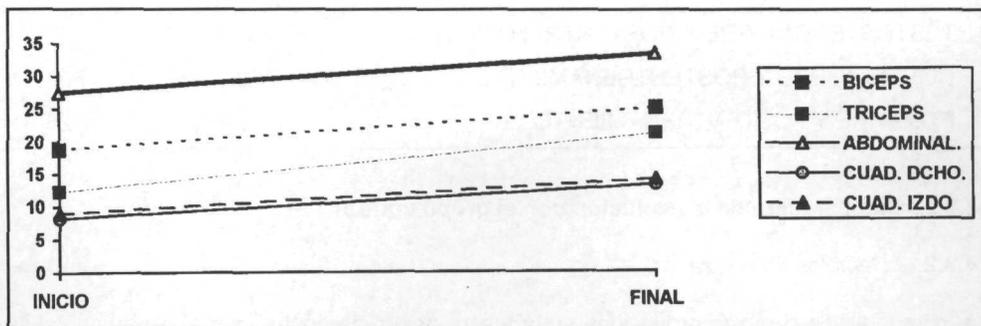


Ilustración 12. Evolución de la fuerza del grupo experimental desde el inicio al final del entrenamiento.

Tabla 11. Pruebas t pareadas de la fuerza.

	t	p
BÍCEPS pre y postentrenamiento	-3.751	0.009
TRÍCEPS pre y postentrenamiento	-6.045	0.001
ABDOMINAL pre y postentrenamiento	-2.839	0.030
CUADRICEPS DERECHO pre y postentrenamiento	-2.291	0.062
CUADRICEPS IZQUIERDO pre y postentrenamiento	-2.236	0.067

4.3.1.2. Niveles hormonales

No se aprecian modificaciones estadísticamente significativas en la T, el C y la FTCR (tabla 12) a pesar de que se produce un ligero descenso del nivel de la T y de la FTCR y un ligero aumento del C (Ilustración 13).

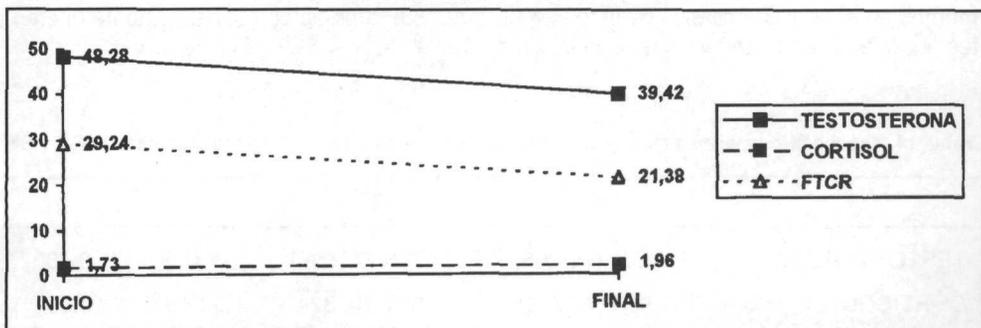


Ilustración 13. Evolución de los niveles hormonales del grupo experimental desde el inicio hasta el final del entrenamiento.

Tabla 12. Pruebas t pareadas de los niveles de hormonas.

	t	p
TESTOSTERONA PRE Y POSTENTRENAMIENTO	0.793	0.472
CORTISOL PRE Y POSTENTRENAMIENTO	-0.724	0.509
FTCR PRE Y POSTENTRENAMIENTO	1.935	0.125

4.3.2. Comparación de la evolución con el grupo control

4.3.2.1. Cambios en fuerza

Al comparar los cambios producidos en la fuerza del grupo control con el experimental se constata que ha habido mayores incrementos en fuerza en el grupo que entrenó, aunque de manera significativa en la fuerza del bíceps ($t= 2.284$, $p< 0.039$) (Tabla 13).

Tabla 13. Pruebas t independientes de los cambios producidos en la fuerza entre le GC y el GE.

	GE	GC	t	p
BÍCEPS	30.904 (22.056)	9.273 (15.919)	2.284	0.039
TRÍCEPS	70.336 (25.149)	42.514 (38.891)	1.639	0.124
ABDOMINAL	21.541 (21.193)	13.496 (26.699)	0.652	0.525
CUADRICEPS DCHO.	58.912 (69.851)	34.643 (83.105)	0.620	0.545
CUADRICEPS IZDO.	58.605 (60.364)	33.395 (65.511)	0.790	0.443

4.3.2.2. Cambios en niveles hormonales

Estudiando los cambios sufridos en los niveles hormonales por el GC y el GE, se aprecian diferencias significativas en la FTCR ($t=-2.216$, $p<0.051$ con decrementos en el GE e incrementos en el GC. Los niveles de T ($t=-1.412$, $p<0.188$) también son sensiblemente diferentes aunque no estadísticamente significativos (Tabla 14).

Tabla 14. Pruebas t independientes de los cambios producidos en los niveles hormonales entre el GC y GE

	GE	GC	t	p
TESTOSTERONA	-16.926 (79.206)	42.766 (67.096)	-1.412	0.188
CORTISOL	31.983 (77.740)	14.303 (32.824)	0.545	0.597
FTCR	-35.864 (29.709)	28.357 (59.126)	-2.216	0.051

4.3.3. Aplicación de los criterios de sobreentrenamiento

Como se ha mencionado anteriormente, existen dos criterios para medir el sobreentrenamiento, uno absoluto cuando la FTCR es igual o inferior a $0.35 \cdot 10^{-3}$ y otro relativo cuando la disminución del porcentaje de la FTCR es superior a un 30% del nivel inicial. El primero no se da en ningún sujeto. Sin embargo, el criterio relativo se da en un 71.42% del GE tras el primer período de entrenamiento y en un 28.57% del GE tras el segundo período. Comprobando el criterio relativo a nivel global del entrenamiento, se da en un 42.85% del GE.

Si estudiamos los porcentajes de los cambios producidos en la FTCR con las medias de los grupos (tabla 15), deducimos que en el GE se ha producido un efecto del entrenamiento efectivo a nivel temporal que puede requerir una disminución de la intensidad de éste o un mayor tiempo de recuperación que con la introducción de las tres semanas de descanso del entrenamiento queda subsanado.

Tomando los datos hormonales entre antes y después del período de descanso se observa que la T (que había bajado al final del primer período de entrenamiento, con respecto al comienzo) ha experimentado un gran incremento hasta alcanzar niveles similares a los del inicio del entrenamiento.

A nivel general se produce una disminución en los sometidos a entrenamiento. El GC actúa de manera contraria al GE (ilustración 14).

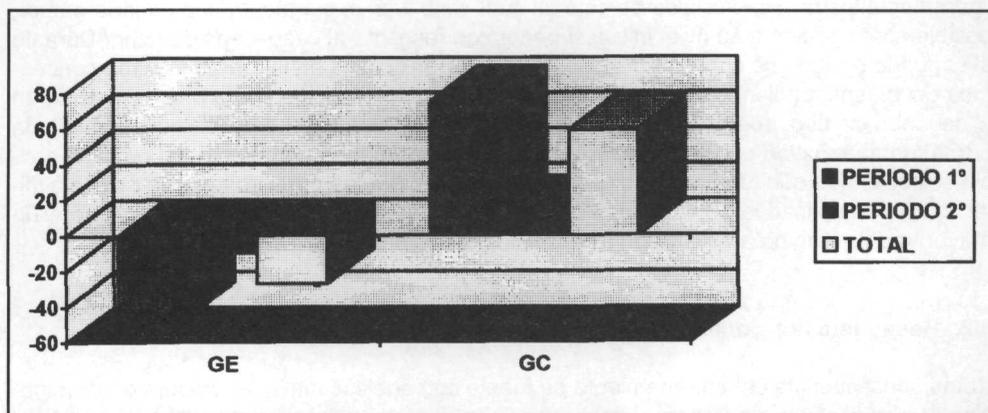


Ilustración 14. Cambios en los porcentajes de la FTCR en el GE y el GC, durante el 1º, 2º período y el total.

Tabla 15. Datos de los cambios en % de la FTCR en GE y GC.

MEDIAS DE LOS GRUPOS	% CAMBIO 1º PERÍODO	% CAMBIO 2º PERÍODO	% CAMBIO TOTAL
GE HOMBRES	-45.31	-9.54	-26.87
GC HOMBRES	75.00	13.17	58.75

5. DISCUSIÓN

La discusión de los resultados de la presente investigación la planteamos en base a tres grandes aspectos:

5.1. Efectos del entrenamiento en circuito sobre la fuerza en los adolescentes

El programa de fuerza aplicado fue moderado, tal como debe corresponder a las condiciones de la población seleccionada para el estudio (jóvenes adolescentes entre 13 y 16 años de edad de ambos sexos) y con las características derivadas de todo trabajo en circuito de tipo extensivo de intervalos (*Scholich, 1989*).

El efecto ha sido diferente según el tipo de fuerza medido. Así pues, por un lado el GE mejora estadísticamente su potencia abdominal en el primer período, posiblemente debido a la efectividad de los dos ejercicios específicos introducidos en el circuito. También mejora con respecto a sus parámetros iniciales, la fuerza máxima concéntrica de tríceps, como efecto de los 3 ejercicios específicos, y la fuerza resistencia del cuádriceps derecho cuya mejora puede ser debida a los dos ejercicios específicos de cuádriceps. La mayor mejora experimentada en cuádriceps derecho con respecto al izquierdo puede deberse al nivel inicial de la fuerza de dichos músculos en el GE, donde el cuádriceps derecho parte con menor nivel de fuerza que el cuádriceps izquierdo y tras el entrenamiento llega a superar ligeramente los niveles iniciales de éste, el cual, a su vez, experimenta una mejoría menor, posiblemente debido a su nivel inicial superior con respecto al cuádriceps derecho. Durante el segundo período se constata mejoría de forma significativa en la fuerza máxima concéntrica del bíceps, pudiendo deberse al efecto del ejercicio específico para bíceps incluido en el segundo circuito, puesto que en el primero no existía ninguno. La mejoría experimentada por la fuerza máxima concéntrica del tríceps ha podido deberse al efecto del nuevo ejercicio seleccionado que junto con los efectos producidos por los otros dos ejercicios con similar función y aplicados en el primer circuito, van a seguir permitiendo que se realice un mayor trabajo dirigido a este grupo (3 ejercicios de los 8 del circuito).

5.2. Respuesta hormonal específica al entrenamiento de fuerza

Como consecuencia del entrenamiento de fuerza con adolescentes, se produjeron disminuciones significativas de T tras el primer período, siendo mayores estas disminuciones al final de este período, que contrastan con los aumentos no significativos que se producen en el GC. Tras el tiempo de descanso dado a continuación del primer período, los niveles de T recuperan los valores basales previos al entrenamiento, para volver a experimentar en el segundo período de trabajo las mismas respuestas (disminución en el GE y aumento en el GC) pero de menor cuantía. Estas disminuciones de la T en el GE después de un entrenamiento de submáxima intensidad durante un corto tiempo, indica la susceptibilidad de las hormonas gonadales al estrés físico inducido por el entrenamiento en los adolescentes, de igual manera que sucede en los adultos con entrenamientos de fuerte intensidad (*Häkkinen et al., 1987; Häkkinen et al., 1988; Busso et al., 1992*) o ante fuerte entrenamiento y poca recuperación (*Steinacker et al., 1993*) o ante periodos de entrenamiento deportivo (*Grandi et al., 1988*) o ante grandes volúmenes de entrenamiento semanal (*Wheeler et al., 1984*).

Dicha disminución de los niveles de T durante el progresivo entrenamiento de fuerza, sugiere que el entrenamiento refleja un creciente estrés como acumulación de las distintas sesiones (Alén et al., 1988) que desaparece cuando se aplica un período de descanso, como el incorporado a mitad de entrenamiento que permite volver a recuperar los niveles basales. La observación de las respuestas de los sujetos sometidos a entrenamiento entre antes y después de éste nos confirma ligeros descensos en T pero sin ser estadísticamente significativos.

Apoyándonos en el trabajo de Rowland et al., 1987 realizado con adolescentes (edad media 16 años) durante el seguimiento de un período de entrenamiento de resistencia, en donde se producía un aumento de los niveles de T en las cuatro primeras semanas y un mantenimiento en las cuatro siguientes y en la supuesta mayor maduración de los que hacen deporte (Malina, 1982 y Hale, 1956 citado por Rowland et al., 1987), esperábamos encontrar unos incrementos debido a la activación que se produce en estas edades en el eje hipotalámico-pituitario-gonadal (Rowland et al., 1987), haciendo que su reacción no sea comparable a la de los adultos en donde generalmente se produce una disminución de los niveles de T ante los entrenamientos (Wheeler et al., 1984; Opstad, 1992; Seidman et al., 1990; Tsai et al., 1991; Busso et al., 1992; Häkkinen et al., 1988; Häkkinen et al., 1987), aunque en algunos casos no hubo modificación en la T o incluso aumentó (Grandi et al., 1988; Hickson et al., 1994). Sin embargo, la respuesta de la T ante el entrenamiento de fuerza ha sido muy similar a la de los adultos ante trabajos de gran intensidad.

Por lo que se refiere al C, no se han producido variaciones significativas de los niveles basales en ninguno de los dos grupos, a pesar de que en el GE hay ligeros aumentos durante el primer período y ligeras disminuciones (hasta llegar casi al nivel inicial) durante el segundo. Por tanto, podemos indicar que estos resultados están en la línea de los trabajos realizados con baja intensidad (Häkkinen et al., 1988; Tegelman et al., 1990; Tsai et al., 1991) o de fuerza con prepuberales (Rich et al., 1992). Los estudios llevados a efecto con C, nos dan distintos resultados en función del tipo de entrenamiento o de la hora en que se realizan las mediciones. Así una gran mayoría de autores indica que incrementa tras entrenamiento intenso (Häkkinen et al., 1987; Tegelman et al., 1988; Seidman et al., 1990; Stejnacker et al., 1993) mientras que otros investigadores no encontraron variaciones ante entrenamientos predominantemente de resistencia y baja intensidad (Häkkinen et al., 1988; Tegelman et al., 1990; Tsai et al., 1991) o ante entrenamientos fuertes con deficiente alimentación y descanso (Opstad, 1992) o incrementos no significativos ante entrenamientos de fuerza durante largos períodos (Häkkinen et al., 1990). Con adolescentes no tenemos información donde basarnos ya que existe un trabajo con niños, llevado por Rich et al., 1992 pero es con gimnastas prepuberales (edad media de 10 años y 11 meses) y no observan modificaciones significativas. Se dan aumentos de los niveles de C como consecuencia de la predominancia de los efectos catabólicos sobre los anabólicos derivados de los efectos acumulados de las cargas de entrenamiento, aunque no de forma significativa, cuando comparamos los niveles iniciales y finales del entrenamiento.

5.3. Respuesta de la ratio testosterona/cortisol al entrenamiento

En base al criterio relativo de la FPCR (Härkonen et al., 1984; Adlercreutz et al., 1986; Vervoorn et al., 1991; Banfi et al., 1993; Marinelli et al., 1994), y teniendo en cuenta que el tipo

de trabajo seleccionado no es con cargas muy intensas y su distribución temporal es de dos sesiones de una hora semanal, no esperábamos que se produjera una disminución significativa de dicho índice en el GE y con menor justificación en el GC, a no ser que existan causas externas que puedan inducir en dicha modificación.

Durante el primer período, se producen grandes decrementos en el GE con mayor significación en la segunda parte, mientras que el GC reacciona mediante aumentos no significativos. Si tenemos en cuenta que a nivel basal el GE partía con unos niveles significativamente mayores que el GC, podemos deducir de todo ello que el entrenamiento ha producido un efecto acumulado, que en este caso concreto cumple los planteamientos dados por los diversos autores sobre el criterio relativo, al sufrir el porcentaje una disminución superior al 30% en todos los componentes del GE. Esto nos sugiere que deberíamos bajar algo más el entrenamiento, o buscar una nueva distribución de los ejercicios que no incidan tanto en unos determinados grupos musculares. Por contra, vemos como la respuesta en el GC es de incremento en todos los individuos menos en uno que se mantiene igual. Los factores externos (exámenes) son similares por pertenecer todos los sujetos al mismo centro de enseñanza y a los mismos grupos. Si consideramos que los valores del GC han evolucionado en aumento, la disminución en los experimentales es todavía más pronunciada.

Tras un período de descanso de 3 semanas, comprobamos como el GE vuelve a recuperar prácticamente los niveles basales y tras el segundo período de entrenamiento se producen modificaciones variadas tal como vemos: en dos muchachos se producen decrementos por encima del 30%, en otros dos ligeras disminuciones y en otros dos unos fuertes aumentos, al igual que el GC en donde hay una tendencia a disminuir en la mayoría (6 de 8 sujetos) mientras que en los dos restantes se producen aumentos. De ello podemos decir, dada la variabilidad de la respuesta del GE, que solamente en dos individuos se ha producido un efecto de fatiga acumulado y el resto se recupera bien de dicho entrenamiento a la vez que es efectivo como podemos deducir de la evolución de sus niveles de fuerza.

En adolescentes, es importante poder aplicar cargas adecuadas, porque se encuentran en un período de posibilidades de mejorar su fuerza por el aumento en la secreción de anabolizantes, pero hay que hacerlo de forma controlada (*Lambert, 1993; Ehlenz et al., 1990*). Por tanto, el uso de la FTGR nos podrá servir para controlar las cargas de los entrenamientos en estas edades.

Al considerar el programa globalmente, se observan mejoras en fuerza con una disminución significativa en la FTGR al comparar el GE con el GC, que si lo relacionamos con los cambios en cada hormona, sugiere una susceptibilidad de la T a la carga del trabajo.

6. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos del estudio llevado a cabo, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1. El entrenamiento empleado (intensidad menor del 80% y 4 meses de duración) mejoró los distintos tipos de fuerza muscular medidos en adolescentes. Esta mejoría, comparando con el grupo control, se concreta en determinados grupos musculares y/o tipo de fuerza.

2. La influencia de la especificidad de los ejercicios se constata en el entrenamiento de la fuerza máxima concéntrica del bíceps que experimentó mejoría sólo cuando se trabajó en el entrenamiento.
3. La aplicación de un circuito extensivo de intervalos dos veces semanales y durante siete semanas (período I), es suficiente para mejorar los grupos musculares trabajados por adolescentes (14 a 16 años de edad).
4. Cuando el tiempo de entrenamiento es superior a siete semanas, se sigue produciendo mejoría en la fuerza al ir adaptando la intensidad de los ejercicios a los nuevos niveles del sujeto.
5. Se produce un descenso de testosterona como respuesta al entrenamiento en ambos periodos. Por contra, en el grupo control se produce un aumento de niveles de testosterona que contrasta con los que entrenan.
6. El cortisol responde al entrenamiento, con tendencias al aumento tras el primer período y al descenso tras el segundo. Justifica la respuesta variable.
7. Se constata una importante sensibilidad de la testosterona al entrenamiento en estas edades que contribuye al decremento en la ratio más que el cortisol.
8. La ratio testosterona/cortisol (FTCR) como indicador de sobreentrenamiento transitorio, ha mostrado disminuciones diferenciadas en los distintos períodos de entrenamiento, supuestamente relacionados con la adaptación al mismo.
9. El período de descanso entre los dos períodos es positivo ya que recuperan sus niveles basales de la FTCR.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAKWAAG, A., SAND, T., OPSTAD, P. and FONNUM, F. (1978) Hormonal changes in serum in young men during prolonged physical strain. *Eur. J. Appl. Physiol.*, ; 39: 283-291.
- ADLERCREUTZ, H., HARKONEN, M., KUOPPASALMI, K., NAVERI, H., HUHTANIEMI, I., TIKKANEN, H., REMES, K., DESSYPRIS, A. and KARVONEN, J. (1986). Effect of training on plasma anabolic and catabolic steroid hormones and their response during physical exercise. *International Journal of Sports Medicine*. 7: 27-29.
- ADLERCREUTZ, H., HARKONEN, M., KUOPPASALMI, K., KOSUNEN, H., NAVERI, H. and REHUNEN, S. (1976). Physical activity and hormones, In: *Advances in Cardiology; Manninen and Halonen*, Ed. Karger, Basel. 144-157.
- ALÉN, M., PAKARINEN, A., HÄKKINEN, K. and KOMI, PV. (1988). Responses of Serum Androgenic-Anabolic and Catabolic Hormones to Prolonged Strength Training. *Int. J. Sports Med.*, vol9 n° 3: 229-233.
- BAMBINO, T. and HSUEH, A. (1981). Direct inhibitory effect of glucocorticoids upon testicular luteinizing hormone receptors and steroidogenesis in vivo and in vitro. *Endocrinology*, 108:2142,2148.

- BANFI, G., MARLINELLI, M., ROI, GS. and AGAPE, V. (1993). Usefulness of Free Testosterone/Cortisol Ratio during a Season of Elite Speed Skating Athletes. *Int. J. Sports Med.* 14: 373-379.
- BARRAL LAVANDEIRA, J.R., ORO, L.A. y GALARZA, G. (1988). Efectos del ejercicio físico sobre los niveles plasmáticos de testosterona. *Archivos Medicina del Deporte.* 17: 25-29.
- BUCHANAN, C., ECCLES, S. and BECKER, J. (1992). Are Adolescents the Victims of Raging Hormones: Evidence for Activational Effects of Hormones on Moods and Behavior at Adolescence. *Psychological Bulletin*, 111; 1: 62-107.
- BUSSO, T., HÄKKINEN, K., PAKARINEN, A., KAUKANEN, H., KOMI, P. and LACOUR, JR. (1992). Hormonal adaptations and modelled responses in elite weightlifters during 6 weeks of training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64:381-386.
- COMETTI, G. (1988). Bases científicas de la musculación moderna. *RED*, V2 , 6:2 a 8.
- CORRAL, P., MAHON, A., DUNCAN, G., HOWE, CH. and CRAIG, B. (1994). The effect of exercise on serum and salivary cortisol in male children. *Med. Sci. Sports Exerc.* Vol 26 nº 11:1297-1301.
- CUMMING, D., WALL, S., GALBRAITH, M. and BELCASTRO, A. (1987a). Reproductive hormone responses to resistance exercise. *Med. Sci. Sports, Exerc.* 19(3): 234-238.
- CUMMING, D., WALL, S., QUINNEY, H. and BELCASTRO, A. (1987b). Decrease in serum testosterone levels with maximal intensity swimming exercise in trained male and female swimmers. *Endocr. Res*, 13(1): 31-41.
- DE LIGNIERES, B., PLAS, J., COMMANDRE, F., MORVILLE, R., VIANI, J. and PLAS, F. (1976). Secretion testiculaire d'androgenes après effort physique prolongue chez l'homme. *Nouv.Press. Med.* 5: 2060-2064.
- DICK, F. (1993). Principios del Entrenamiento Deportivo. Editorial Paidotribo.. Barcelona.
- EHLLENZ, H., GROSSER, M. and ZIMMERMANN, E. (1990). Entrenamiento de la fuerza. Editorial Martínez Roca. Barcelona.
- ELIAS, A.N., WILSON, A.F. (1993). Exercise and gonadal function. *Human Reproduction.* vol 8 nº 10 : 1747-1761.
- FREY, M. (1982). The endocrine response to physical activity. *Scand.J. Soc. Med.* (Suppl.). pp 71-75.
- FRIEDL, K., PLYMATE, S., BERNHARD, W. and MOHR, L. (1988). Elevation of plasma estradiol in healthy men during a mountaineering expedition. *Hor.metabol. res.*, 20:239-242.
- GALBO, H., HUMMER, L., PETERSEN, B., CHRISTENSEN, N. and BIE, N. (1977). Thyroid and testicular hormone responses to graded and prolonged exercise in man. *Europ. J. Appl. Physiol.* 36:101-106.
- GRANDI, M., GAVIOLI, C., PRADELLI, M., PEDERZOLI, S., TURRINI, S. and CELANI, M.F.(1988). Influenza dell'attività sportiva sull'asse ipotalamo-iposifo-testicolare. *Med. Sport*, Vol. 41, 6: 347-352.
- GUGLIELMINI, C., PAOLINI, A. and CONCONI, F. (1984). Variations of serum testosterone concentrations after physical exercises of different duration. *Int. J. Sports. Med.* 5: 246-249.
- GUGLIELMINI, C., MANFREDINI, F., GRAZI, G., CASONI, I., MANFREDINI, R., MAZZONI, G. and CONCONI, F. (1992). Anabolic-catabolic imbalance due to hard training in biathletes. *Hungarian review of sports medicine.* 33(2):77-82.
- HACKNEY, A. (1989). Endurance Training and Testosterone Levels. *Sports Medicine*, 8 (2):117-127.
- HÄKKINEN, K., PAKARINEN, A., ALLEN, M., KAUKANEN, H. and KOMI, P. (1987). Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int. J. Sports Med.* 8 (suppl):61-65.

- HÄKKINEN, K., PAKARINEN, A., ALÉN, M., KAUFANEN, H. and KOMI, P. (1988). Daily Hormonal and Neuromuscular Responses to Intensive Strength Training in 1 Week. *Int. J. Sports Med.*, 9: 422-428.
- HÄKKINEN, K., PAKARINEN, A., KYRÖLÄINEN, H., CHENG, S., KIM, D. and KOMI, P. (1990). Neuromuscular Adaptations and Serum Hormones in Females During Prolonged Power Training. *Int. J. Sports Med.*, 91-98.
- HARKONEN, N., KUOPPASALMI, K., NAVERI, H., TIKKANEN, H., ICEN, A., ADLERCREURTZ, H. and KARVONEN, J. (1984). Biochemical indicators in diagnosis of overstrain condition in athletes. *Sport Med. Exerc. Sci.*, Proceedings of Olympic Scientific Congress, Eugene, Oregon. USA.
- HARRIS, B., COOK, N.J., WALKER, R.F., READ, G.F., RIAD-FAHMY, D. (1989). Salivary steroids and psychometric parameters in male marathon runners. *Br. Journal Spor. Medicine*, Vol., 23 ,nº 2: 89-93.
- HAUPTMANN, M. and HARRE, D. (1987). El entrenamiento de la fuerza máxima. *RED*, Volu. 1, revista 2 páginas 11 a 18.
- HICKSON, R.C., HIDAKA, K., FOSTER, C., FALDUTO, M.T. and CHATTERTON, R.T. (1994). Successive time courses of strength development and steroid hormone responses to heavy-resistance training. *J. Appl. Physiol.*, 76(2): 663-670.
- JENSEN, J., OFTEBRO, H., BREIGAN, B., JOHNSON, A., ÖHLIN, K., MEEN, H. and STORME, S.B. (1991). Comparison of changes in testosterone concentrations after strength and endurance exercise in well trained men. *Eur. J. Appl. Physiol*, 63: 467-471.
- KRAEMER, R., KILGORE, J., KRAEMER, G. and CASTRACANE, D. (1992). Growth hormone, IGF-I, and testosterone responses to resistive exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 24, nº 12: 1346-1352.
- KRAEMER, W.(1988). Endocrine responses to resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, vol 20 (5)-S152-S157.
- LAMBERT, G. (1993). El Entrenamiento Deportivo. Preguntas y Respuestas. Editorial Paidotribo. Barcelona.
- LEVIN, J., LLOYD, C., LOBOTSKY, J. and FRIEDRICH, E. (1976). The effect of epinephrine on testosterone production. *Acta Endocrinol.*, 55:184-192.
- LÓPEZ, J., NAVARRO, M., BARBANY, J., GARCIA, J., BONNIN, M. and VALERO, J. (1993). Salivary Steroid Changes and Physical Performance in Highly Trained Cyclists. *Int. J. Sports Med.* 14: 111-117.
- LUTOSLAWSKA, G., OBMINSKI, Z., KROUGULSKI, A. and SENDECKI, W. (1991). Plasma cortisol and testosterone following 19-km and 42-km kayak races. *Journal of sports medicine and physical fitness*. pp. 538-542 .
- MANNO, R. (1991). Fundamentos del entrenamiento deportivo. Editorial Paidotribo, Barcelona.
- MARINELLI, M., ROI, G., GIACOMETTI, M., BONINI, P. and BANFI, G. (1994).Cortisol, Testosterone, and Free Testosterone in Athletes Performing a Marathon at 4.000 m Altitude. *Horm Res*, 41:225-229.
- MATVEIEV, L. (1983). Fundamentos del entrenamiento deportivo. Editorial Raduga, Moscú,
- MCCRACKEN, J.T. and POLAND, R.E. (1989). Saliva and serum cortisol dynamics following intravenous dexamethasone in normal volunteers. *Life Sci.* 45: 1781-1785.
- MERO, A., KAUFANEN, H., PELTOLA, E., VUORIMAA, T. and KOMI, P. (1990). Physiological performance capacity in different prepubescent athletic groups. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 30:57-66.

- MURRAY, F., CAMERON, D., VOGEL, R., THOMAS, R., WYSS, H. and ZAUNER, C. (1988). The pituitary-testicular axis at rest and during moderate exercise in males with diabetes mellitus and normal sexual function. *J. of Andro.*, vol-9: 197-206.
- OPSTAD, P. (1992). The hypothalamo-pituitary regulation of androgen secretion in young men after prolonged physical stress combined with energy and sleep deprivation. *Acta Endocrinologica*. 127: 231-236.
- PLATONOV, V. (1988). El entrenamiento deportivo. Editorial Paidotribo. Barcelona.
- PLATONOV, V. (1991). La adaptación en el deporte. Deporte & Entrenamiento. Editorial Paidotribo. Barcelona.
- PORT, K. (1991). Serum and saliva cortisol responses and blood lactate accumulation during incremental exercise testing. *Int. J. Sports Med.* 12: 490-494.
- RICH, P.A., VILLANI, R., FULTON, A., ASHTON, J., BASS, S., BRINKERT, R. and BROWN, P. (1992). Serum cortisol concentration and testosterone to cortisol ratio in elite prepubescent male gymnasts during training. *Eur J Appl. Physiol.* 65:399-402.
- RIEU, M. (1993). La biología del deportista. *Mundo Científico*. nº 124. Vol.12 pp 870-879.
- RIVIER, C., RIVIER, J. and VALE, W. (1986). Stress-induced inhibition of reproductive functions: role of endogenous corticotropin-releasing factor. *Science*, 231:607-609.
- ROWLAND, T.W., MORRIS, A., KELLEHER, J., HAAG, B. and REITER, E. (1987). Serum testosterone response to training in adolescent runners. *Am. J. Dis. Child.*, 141(8): 881-883.
- SALVADOR, A. (1995). Respuesta psicoendocrina al estrés competitivo. *V Congreso Nacional de Psicología de la Actividad Física y el Deporte*. Valencia. 91- 97.
- SALVADOR, A., SUAY, F., MARTÍNEZ-SANCHIS, S., GONZÁLEZ-BONO, E., RODRÍGUEZ, M. and GILABERT, A. (1995). Deporte y salud: Efectos de la actividad deportiva sobre el bienestar psicológico y mecanismos hormonales subyacentes. *R.P.G.A.* (en prensa).
- SCHOLICH, M. (1989). Entrenamiento en circuito. Editorial Stadium. Buenos Aires.
- SEIDMAN, D., DOLEV, E., DEUSTER, P., BURSTEIN, R., ARNON, R. and EPSTEIN, Y. (1990). Androgenic Response to Long-Term Physical Training in Male Subjects. *Int. J. Sports Med.* 11(6): 421-424.
- SIEGEL, P.D. (1988). Fitness in prepubescent children: implications for exercise training. *NSCA Journal*, Vol.10-nº3:43-48.
- SNEGOVSKAYA, V. and VIRU, A. (1993). Elevation of Cortisol and Growth Hormone Levels in the Course of Further Improvement of Performance Capacity in Trained Rowers. *Int. J. Sports Med.*, 14: 202-206.
- STEINACKER, J., LASKE, R., HETZEL, W., LORMES, W., LIU, Y. and STAUCH, M. (1993). Metabolic and Hormonal Reactions During Training in Junior Oarsmen. *Int. J. Sports Med.*, 14 (1): S24- S28.
- SUTTON, J., FARRELL, P. and HARBER, V. (1988) Hormonal Adaptation to Physical Activity. En BOUCHARD, SHEPARD, STEPHENS, SUTTON and McPHERSON. *Exercise, Fitness and Health*. Human kinetics books, 217-257.
- TEGELMAN, R., CARLSTROM, K. and POUSETTE, A. (1988). Hormone levels in male ice hockey players during a 26-hour cup tournament. *Int. J. Androl.*, 11(5): 361-368.
- TEGELMAN, R., JOHANSSON, C., HEMMINGSSON, P., EKLÖF, R., CARLSTRÖM, K. and POUSETTE, A. (1990). Endogenous Anabolic and Catabolic Steroid Hormones in Male and Female Athletes During Off Season. *Int. J. Sports Med.* Vol, 10 nº 2: 103-106.

- TSAI, L., JOHANSSON, C., POUSETTE, A., TEGELMAN, R., CARLSTRÖM, K. and HEMMINGSSON, P. (1991). Cortisol and androgen concentrations in female and male elite endurance athletes in relation to physical activity. *Eur. J. Appl. Physiol.* ((63):308-311.
- VASAUKARI, T., KUJALA, U., HEINONEN, O. and HUHTANIEMI, I. (1993). Effects of endurance training on hormonal responses to prolonged physical exercise in males. *Acta Endocrinol.* 129: 109-113.
- VERJOSHANSKI, J. (1990). Entrenamiento deportivo. Planificación y Programación. Editorial Martínez Roca. Barcelona.
- VERMEULEN, A. (1994). Clinical Problems in Reproductive Neuroendocrinology of Men. *Neurobiology of Aging*. Vol. 15, nº 4:489-493.
- VERVOORN, C., QUIST, A.M., VERMULST, L.J.M., ERICH, W.B.M., DE VRIES, W.R. and THIJSSSEN, J.H.H. (1991). The Behaviour of the Plasma Free Testosterone/Cortisol Ratio during a Season of Elite Rowing Training. *Int. J. Sport Med.* 12: 257-263.
- VERVOORN, C., VERMULST, L.J.M., BOELEN-QUIST, A.M., KOPPESSCHAAR, H.P.F., ERICH, W.B.M., THIJSSSEN, J.H.H. and DE VRIES, W.R. (1992). Seasonal changes in performance and free testosterone:cortisol ratio of elite female rowers. *Eur J Appl Physiol.* 64:14-21.
- VINING, R.F. and MCGINLEY, R.A.. (1987). The measurement of hormones in saliva: possibilities and pitfalls. *J. Steroid Biochem.* 27:81-94.
- VIRU, A. (1992a). Plasma Hormones and Physical Exercise. *Int. J. Sports Med.* 13: 201-209.
- VIRU, A. (1992b). Hormonal and metabolic foundations of training effects: sex differences. *Med Sport.* 45: 29-38.
- WEBB, M., WALLANCE, J., HAMILL, C., HODGSON, J. and MASHALY, M. (1984). Serum testosterone concentration during two hours of moderate intensity treadmill running in trained men and women. *Endocri. Res.* 10/1: 27-38.
- WEINECK, J. (1988). Entrenamiento óptimo. Editorial Hispano Europea. Barcelona.
- WHEELER, G., WALL, S., BELCASTRO, A. and CUMMING, D. (1984). Reduced serum testosterone and prolactin levels in male distance runners. *JAMA.* 27; 252(4): 514-516.

ANEXOS

ANEXO 1

Datos de la fuerza en el GE (en casillas oscuras) y el GC (casilla claras) en las tres mediciones.

SUJ	BIC1	BIC2	BIC3	TR1	TR2	TR3	AB1	AB2	AB3	CD1	CD2	CD3	C11	C12	C13
4	15	18	23	10	15	22	27	32	27	6	14	17	8	10	20
5	16	14	18	8,5	11	12	26	34	28	10	9	7	12	10	9
14	24	24	27	16	21	26	26	34	32	10	18	19	10	16	19
17	18	14	18,5	10	13	16	24	36	37	1	1	1	8	7	7
20	20	20	26	8	12,5	13,5	26	30	38	4	5	6	3	4	5
25	21	32	32,5	16,5	18,5	26	33	30	34	12	14	16	8	10	13
35	18	22,5	28,5	17	24	31	30	32	35	14	21	26	14	19	25
2	10	11	8,5	7	7	11	25	24	28	6	5	6	1	1	2
3	28	28,5	26	14	14	14,5	18	20	27	7	7	5	8	8	8
13	16	19	17	6,5	11	10,5	28	20	16	3	5	3	5	1	1
21	28	28,5	32,5	19	20	19	30	22	36	20	22	20	18	19	18
22	18,5	20	21	9,5	13,5	13,5	32	34	33	8	6	7	12	12	11
23	25	26	27	13	20	26	28	30	34	15	15	15	20	17	20
24	18,5	21	26	8,5	12	10,5	23	21	33	7	12	24	6	7	12
26	21,5	24,5	24,5	9,5	12	18,5	28	27	30	8	11	12	7	9	14
34	16,5	16,5	18,5	12,5	12,5	12,5	28	27	30	10	10	16	9	10	17

ANEXO 2

Datos de niveles de testosterona en GE (en casillas oscuras) y GC (casillas claras) en las seis mediciones. Medida en pgr./ml. (n.d.: No tomados los datos; f.m.: fallo muestra en laboratorio)

SUJ	T1	T2	T3	T4	T5	T6
4	n.d.	57,70	45,13	49,45	n.d.	36,00
5	n.d.	n.d.	51,80	84,20	51,33	62,73
14	39,05	64,14	39,49	49,45	85,42	86,51
17	23,95	18,18	13,43	22,84	20,87	17,40
20	50,85	38,19	21,24	31,97	n.d.	23,00
25	71,00	43,44	12,35	51,436	57,16	35,86
35	56,60	40,60	30,55	45,80	42,10	14,40
2	27,91	38,00	n.d.	46,38	42,95	57,81
3	n.d.	85,09	71,80	n.d.	75,05	87,50
13	24,63	16,57	26,20	15,41	11,16	31,14
21	51,40	59,23	56,15	54,28	46,30	44,89
22	44,15	39,33	n.d.	19,10	26,49	41,20
23	n.d.	47,10	42,45	40,09	25,20	33,50
24	12,45	36,74	28,46	30,67	25,10	32,02
26	28,44	25,50	n.d.	18,91	32,80	22,70
34	16,95	27,42	20,20	18,00	n.d.	25,11

ANEXO 3

Datos de niveles de cortisol en GE (en casillas oscuras) y GC (casillas claras) en las seis mediciones.
Medida en ngr./ml. (n.d.: No tomados los datos; f.m.: fallo muestra en laboratorio)

SUJ	C1	C2	C3	C4	C5	C6
4	n.d.	1,57	2,40	1,47	n.d.	1,10
5	n.d.	n.d.	1,53	2,89	0,98	2,05
14	1,44	2,16	2,21	1,36	1,59	3,50
17	2,07	1,85	8,22	3,77	2,34	2,18
20	1,41	0,84	1,19	3,75	n.d.	0,97
25	2,38	1,76	1,81	2,10	4,85	1,49
35	1,36	2,70	2,02	1,68	1,12	2,45
2	1,74	1,16	n.d.	1,32	1,75	1,85
3	n.d.	1,42	1,34	n.d.	0,68	2,00
13	1,87	1,25	1,99	0,78	1,81	3,12
21	2,17	1,94	1,77	1,94	1,54	1,64
22	2,35	0,99	n.d.	1,83	1,21	2,67
23	n.d.	1,90	1,53	1,66	0,80	0,85
24	1,66	1,72	2,20	1,51	1,08	1,87
26	2,29	2,81	n.d.	1,47	2,20	1,83
34	1,77	1,64	1,60	1,56	n.d.	2,57

ANEXO 4

Datos de ratio T/C en GE (en casillas oscuras) y GC (casillas claras) en las seis mediciones.
(n.d.: No tomados los datos; f.m.: fallo muestra en laboratorio)

SUJ	T/C1	T/C2	T/C3	T/C4	T/C5	T/C6
4	n.d.	36,75	18,80	33,64	n.d.	32,72
5	n.d.	n.d.	33,85	29,13	52,38	30,60
14	27,12	29,69	17,87	36,36	53,72	24,72
17	11,57	9,83	1,63	6,06	8,92	7,98
20	36,06	45,46	17,85	8,52	n.d.	23,71
25	29,83	24,68	6,82	24,50	11,79	24,07
35	41,62	15,04	15,12	27,26	37,59	5,88
2	16,04	32,76	n.d.	35,14	24,54	31,25
3	n.d.	59,92	53,58	n.d.	110,4	43,75
13	13,17	13,26	13,17	19,76	6,17	9,98
21	23,68	30,53	31,72	27,98	30,06	27,37
22	18,79	39,73	n.d.	10,44	21,89	15,43
23	n.d.	24,79	27,74	24,15	31,50	39,41
24	7,50	21,36	12,94	20,31	23,24	17,12
26	12,42	9,07	n.d.	12,86	14,91	12,40
34	9,58	16,72	12,62	11,54	n.d.	9,77

NORMAS DE PRESENTACIÓN PARA LA ADMISIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN¹

1. Los trabajos breves o sumarios de investigación que se presenten deberán tener una extensión de 30 a 40 páginas (DIN-A-4, espaciado interlineal 1,5). Se recomienda seguir el esquema general de trabajos de investigación:
 - a) Introducción que exponga los fundamentos del trabajo y especifique claramente sus objetivos.
 - b) Descripción de las fuentes, métodos, materiales y equipos empleados en su realización.
 - c) Exposición de los resultados y discusión de los mismos.
 - d) Conclusiones finales. Deberá figurar con toda claridad:
 - Título completo del trabajo en castellano y su versión inglesa; y si se desea, también en francés.
 - Iniciales del nombre y apellidos de los autores.
 - Resúmenes del contenido, en castellano y en inglés, y si se desea, también en francés, de un mínimo de 100 y un máximo de 250 palabras, acompañados de las palabras clave que definan el contenido del trabajo (6 a 10, preferentemente extraídos del texto del trabajo).
 - Notas al pie de página o final del texto: Se acompañarán en anexo al final del texto, debidamente numeradas, indicándose en el texto el lugar al que hace referencia cada nota.
 - Referencias bibliográficas de obras citadas en el texto.
 - Ilustraciones: Según el tipo de ilustraciones que acompañen el trabajo (tablas, gráficas, fotografías, etc.), deben entregarse en la forma y en el soporte más apropiado para garantizar una óptima reproducción, así como en forma de copia o fotocopia impresa, en anexo al texto, debidamente numerados y acompañados del título o leyenda correspondiente. En el texto se indicará el lugar en el que, en principio, debería insertarse cada ilustración.
2. Indicación de ayudas percibidas por el C.S.D.: se indicarán el tipo y los años de ayuda percibida.
3. **Datos de los autores.** Los textos que se presenten para su publicación deben ir firmados por sus autores y acompañados de los datos completos de la institución o centro, dirección completa y teléfono de contacto de los mismos. Deberán enviar sus trabajos a la sede del CNICD, acompañados de una fotografía del autor y un breve currículum relacionado con la obra (máximo 10 líneas).
4. **Soportes de presentación.** El trabajo deberá entregarse en papel DIN-A4, por duplicado, con espacio interlineal de 1,5, en lengua castellana, y en disquete, grabado en un fichero con procesador de textos para MS-DOS: Word Perfect (v. 5.1), o ASCII, **sin códigos de formato del procesador de texto.**

¹ Extracto de la "Normativa General para la presentación de Trabajos" del Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte.

5. Los perceptores de ayudas del C.S.D. que presenten sumarios de investigación de acuerdo con los requisitos y condiciones establecidos para su publicación por el Consejo Superior de Deportes (a través del Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte) cederán **por escrito** todos los derechos de autor y de reproducción del trabajo en cualquier tipo de soporte (incluidas microformas o bases de datos informatizadas) al C.S.D. y harán constar la aceptación de las presentes normas, haciendo uso del modelo establecido para el efecto.
6. Asimismo los autores asumirán expresamente el compromiso de realizar las modificaciones y correcciones necesarias en el caso de aprobarse la publicación, lo que se comunicará por escrito a los mismos.
7. El C.S.D. se reserva el derecho de publicación de los sumarios presentados, así como de su resumen, en el medio y momento que considere oportunos, en el marco de su programa editorial.
8. El C.S.D. remitirá a los autores cinco ejemplares de la publicación para su libre disposición.
9. En el caso de no publicarse el trabajo o sumario presentado en el plazo de dos años, el autor podrá solicitar del C.S.D. la devolución de los textos y materiales originales, quedando una copia en el CNID.
10. **Tratamiento automatizado de los datos.** A los efectos previstos en el artículo 5 de la Ley Orgánica 5/1992, de Regulación del Tratamiento Automatizado de los datos de carácter personal, los datos que se soliciten a los autores de trabajos a publicar por el C.S.D. podrán ser objeto de tratamiento automatizado. La responsabilidad del fichero automatizado corresponde al Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte del Consejo Superior de Deportes.

La admisión-aceptación de estos trabajos no implica obligatoriamente su publicación que, en cualquier caso, se decidirá por la Comisión de Investigación creada al efecto.

El C.S.D. no asumirá necesariamente las opiniones expresadas por los autores en los trabajos y sumarios de investigación que publique.

El Centro Nacional de Investigación y Ciencias del Deporte no se compromete a publicar trabajos que no reúnan los requisitos y normas marcados, ni su publicación supone que comparta las opiniones en ellos expresadas.

Nota: Estas normas se basan en normas ISO y normas UNE. Puede solicitarse su versión interna ampliada, así como el modelo oficial de cesión de derechos y aceptación de las bases, al:

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS DEL DEPORTE
C/ del Greco s/n
28040 Madrid

Tel.: (91) 589 05 27/28
Fax.: (91) 544 81 22

Colección:

INVESTIGACION EN CIENCIAS DEL DEPORTE

- 1.- Análisis biomecánico de los lanzamientos en atletismo
- 2.- Adaptación hormonal e inmunológica al entrenamiento
- 3.- Indicadores para la detección de talentos deportivos
- 4.- Estructura ocupacional y mercado de trabajo en el deporte
- 5.- Patrocinio, comunicación y deporte I:
La comercialización del deporte en una sociedad mediática
- 6.- Patrocinio, comunicación y deporte II:
Publicidad y patrocinio en eventos deportivos
- 7.- Los deportistas olímpicos españoles: un perfil sociológico
- 8.- Métodos de estudio de composición corporal en deportistas
- 9.- Valores sociales y deporte
- 10.- Educación Física y práctica docente
- 11.- El deporte en las universidades españolas
- 12.- Análisis biomecánico de las técnicas deportivas
- 13.- Rendimiento deportivo: parámetros electromiográficos (EMG),
cinemáticos y fisiológicos



Consejo
Superior de
Deportes