



**Palabras clave**

fuerza dinámica máxima, desentrenamiento, entrenamiento, alto rendimiento deportivo, competición, tenis

# Efectos de la competición sobre la fuerza dinámica máxima en el jugador de tenis de élite. Estudio de un caso

▪ **JOAQUÍN SANCHIS MOYSI**

Departamento de Educación Física.  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

**Abstract**

*The main purpose of this study was to analyse the effects of tennis competition on the maximal dynamic strength in a high level (in this moment top 100, WTA ranking) female tennis player of 15 years old. Furthermore, we present the improvements on maximal dynamic strength after 12 weeks of weight-lifting strength training and we compare it with the maximal dynamic strength during a competitive phase of the season.*

*Tennis is a sport that demands explosive strength in a large number of repetitive movements. Power refers to the ability of the neuromuscular system to produce the greatest possible impulse in a given time period. In tennis, the time period depends on the resistance or the load against which the tennis player has to work (the racket, the velocity of the ball and the body weight) and the distribution of the movement acceleration. Some studies using electromyography have reported that the strength generation in tennis strokes depends on the neuromuscular activation in the initial phases of the arm acceleration in every stroke, despite that tennis strokes are not ballistic movements. A possibility to improve and keep a high maximal dynamic strength is via a well designed strength training program during the whole season. Different strength tests give specific information about the fitness level of the tennis player and also shows where and when modify the training program. In this present "care study", we measured maximal dynamic strength in the muscles that have a relevant participation in tennis strokes, using the strength tests that have a high specificity for tennis strokes, according to the specialized bibliography.*

**Key words**

*maximal dynamic strength, detraining, training, sport performance, competition, tennis*

**Resumen**

El objetivo de este artículo es mostrar los efectos de la competición sobre la fuerza dinámica máxima (FDM) en una jugadora de tenis de 15 años de edad que obtuvo importantes resultados deportivos (actualmente top 100 del ranking WTA). Para ello, se presentan las mejoras de la FDM después de realizar un entrenamiento con sobrecargas durante 12 semanas y se comparan con los valores de FDM medidos durante el periodo competitivo.

El tenis es un deporte que requiere desarrollar elevados niveles de fuerza repetidas veces en cortos periodos de tiempo. La potencia es la habilidad del sistema neuromuscular para producir el mayor impulso posible en un tiempo dado. Este espacio de tiempo depende de la carga a la que nos oponemos (en el tenis, la raqueta, el impacto de la pelota y el peso del cuerpo durante el desplazamiento) y de las necesidades de aceleración del movimiento. Algunos estudios realizados con electromiografía han observado que en el tenis la fuerza de impacto de la pelota esta determinada por la activación neuromuscular en las primeras fases de aceleración del brazo en cada tipo de golpe, pero que sin embargo se trata de un movimiento no balístico. Posiblemente por ello, ante la necesidad de activar el músculo de forma máxima en el menor tiempo posible los tenistas deberían tratar de mejorar y mantener la FDM en determinadas fases de la temporada.

Diversos tests de evaluación de la condición física pueden facilitar al preparador físico información específica sobre la condición física de los tenistas y sobre su evolución con el entrenamiento. En el caso que presentamos, se midió la FDM de los músculos mayormente implicados en la ejecución de los distintos tipos de golpe utilizando los tests de fuerza que según la bibliografía especializada son más específicos para el tenis.



## Introducción

El tenis es un deporte que se juega a una gran velocidad y que requiere realizar repetidas contracciones musculares de alta intensidad en cada golpeo de la pelota. Diversos estudios han observado que los mejores jugadores consiguen desplazar con mayor velocidad la pelota porque la musculatura implicada se activa de forma máxima al inicio del gesto técnico en todos los tipos de golpe (Beillot y cols., 1978; Van Gheluwe y Hebbelink, 1986). Además, los jugadores de élite tienen una coordinación neuromuscular más eficaz, lo que les permite mantener durante más tiempo el pico de fuerza con cortos períodos de activación, respecto a los jugadores de nivel medio. Algunas investigaciones han demostrado que entrenando la fuerza dinámica máxima (FDM) se podría mejorar la velocidad de activación neuromuscular en las primeras fases de una contracción muscular máxima (Moritani y Devries, 1979; Moritani y cols., 1987; Moritani y Muro, 1987; Schantz y cols., 1989; Narici y cols., 1989; Moritani, 1992 y Hakkinen y cols., 1996). Por otro lado, se sabe que el desentrenamiento produce una disminución de la FDM en cortos periodos de tiempo (Hakkinen y Komi, 1983a y 1983b, Häkkinen y cols., 1985; Narici y cols., 1989; Schmidtbleicher, 1985; Schmidtbleicher, 1992). En este trabajo presentamos un ejemplo de cómo evolucionó la FDM durante las primeras fases de la competición y al final de la temporada en una jugadora de tenis de alto nivel de

15 años de edad al realizar un entrenamiento de FDM.

La interacción entre la fuerza muscular y las fuerzas externas implican acciones en las que se desarrollan ejercicios estáticos (las articulaciones implicadas en la acción muscular no modifican su angulación durante el ejercicio) y ejercicios dinámicos (producen un aumento o una disminución de la angulación de las articulaciones implicadas en el ejercicio). Dentro de la categoría de ejercicios dinámicos, el término “concéntrico” se utiliza tradicionalmente para identificar una acción de acortamiento del músculo y el término “excéntrico” se utiliza para acciones de alargamiento del músculo. Además, en numerosas ocasiones los músculos actúan primero excéntricamente e inmediatamente después concéntricamente. La combinación de contracciones musculares excéntricas y concéntricas forman un tipo natural de función muscular llamado ciclo de estimamiento-acortamiento (Asmussen y cols., 1976; Cavagna y cols., 1976; Cavagna, 1978; Edman y cols., 1978; Aura y Komi, 1986; López Calbet y cols., 1995a; López Calbet y cols., 1995b; Horita y cols., 2001 [tabla 1]). En el tenis, los jugadores utilizan frecuentemente la contracción muscular excéntrica para frenar el movimiento del brazo después de golpear la pelota, para amortiguar un desplazamiento o para estabilizar el cuerpo y la contracción muscular concéntrica para acelerar el brazo al golpear la pelota o para iniciar un desplazamiento. (Tabla 2)

La fuerza dinámica máxima (FDM) nos indica la resistencia que tiene que vencer un sujeto para desplazar una carga una sola vez y se expresa en Newtons (N). Cuando no se dispone de instrumentos adecuados de medida, la FDM se puede expresar en kg y se suele considerar como el valor de 1 repetición máxima (1 RM, véase la excelente revisión de González Badillo, 2000). Por otro lado, el pico máximo de fuerza es la máxima fuerza voluntaria que se va a aplicar para desplazar una carga determinada. Tal y como escribe González Badillo (2000), “si medimos la fuerza aplicada con cargas inferiores a aquella con la que hemos medido la FDM, nos encontraremos con una serie de valores, cada uno de los cuales será una medición de la máxima fuerza voluntaria dinámica pero relativa, ya que siempre existirá un valor superior de fuerza dinámica”. Por tanto, un sujeto tendrá un solo valor de FDM, pero tantos valores de fuerza dinámica relativa

**Tabla 1.** Clasificación de los tipos de acción muscular en función del tipo de ejercicio que se realice (modificado de Knuttgen y Komi 1992).

EJERCICIO	ACCIÓN MUSCULAR	LONGITUD DEL MÚSCULO
<b>Dinámico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concéntrica</li> <li>• Excéntrica</li> <li>• Excéntrica-concéntrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incrementa</li> <li>• Disminuye</li> <li>• Incrementa y disminuye</li> </ul>
<b>Estático</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isométrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cambia</li> </ul>

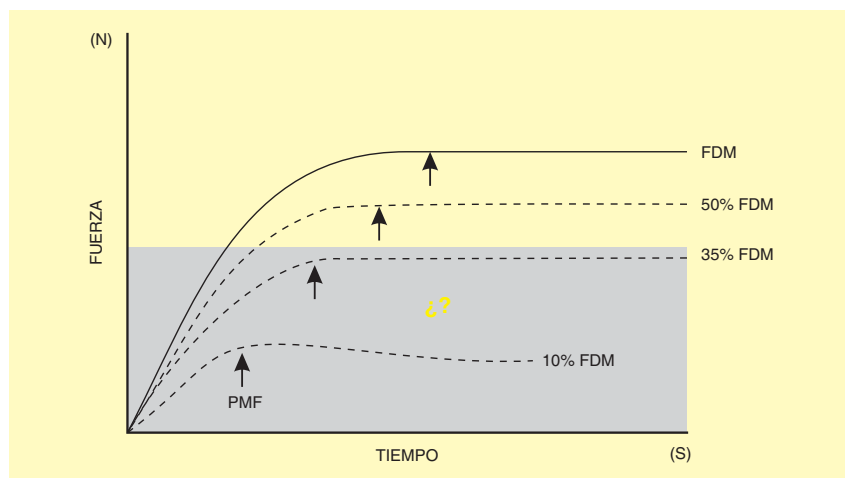
**Tabla 2.**

Participación de la musculatura de las extremidades superiores en los distintos tipos de golpe en el tenis.

TIPO DE GOLPE	MUSCULATURA IMPLICADA		ESTUDIOS
	FASE CONCÉNTRICA	FASE EXCÉNTRICA	
<b>DRIVE</b>	Pectoral mayor, deltoides anterior, bíceps braquial, rotadores internos del hombro.	Dorsal ancho y deltoides medio, serrato anterior.	Anderson 1970; Van Gheluwe y Hebbelink, 1986; Ariel y Braden, 1979; Roetert y Ellenbecker, 1998.
<b>REVÉS</b>	<b>1 MANO</b>	Romboides, trapecios medios, deltoides posterior, deltoides medio, rotadores externos del hombro, tríceps, serrato anterior.	Roetert y Ellenbecker, 1998; Gunderson, 1972; McLaughlin 1978; Groppel, 1986; Roswald 1974; Groppel, 1978.
	<b>2 MANOS</b>	<b>Brazo dominante:</b> Romboides, trapecios medios, deltoides posterior, deltoides medio, rotadores externos del hombro, tríceps, serrato anterior. <b>Brazo no dominante:</b> Pectorales, deltoides anterior, rotadores internos del hombro.	
<b>SERVICIO</b>	Flexores del hombro, pectorales, rotadores internos del hombro, tríceps, flexores de muñeca.		Roetert y Ellenbecker, 1998; Van Gheluwe y Hebbelink, 1986; Bartlett y cols., 1990.

**Figura 1.**

Evolución de la FDM relativa y el PMF para cargas inferiores a la FDM. (En sombreado se muestra la franja en la que posiblemente se debería realizar el entrenamiento de FDM relativa para el tenis.)



**Tabla 3.**

Sesiones de entrenamiento de fuerza semanales realizados por jugadores de tenis durante los torneos, según categorías, sexo y tipo de superficies de juego. (Modificado de Roetert y Ellenbecker 1999.)

CATEGORÍA DEL JUGADOR	SEXO	TIPO DE TORNEO	TIPO DE SUPERFICIE	N.º DE SESIONES SEMANALES
Profesional	Femenino	Gran Slams	–	–
		Circuito WTA	Clay	2
			Hard	2-3
	Grass	2		
	Varón	Gran Slams	–	1-2
Circuito ATP		Clay & Hard	2-3	
	Grass	1-2		
Junior Ranking Nacional	Varón	–	Clay & Hard	2-3
Collegiate player's (USA)	Femenino	Circuito de verano	Clay & Hard	2
		Torneos por equipos	–	3

**Tabla 4.**

Características generales de la jugadora de tenis antes de empezar el entrenamiento de FDM.

Edad (años)	15
Peso (kg)	60,8
Talla (cm)	171,5
VO <sub>2</sub> máx (ml·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	40

como cargas utilice para medirla y un pico de fuerza determinado para cada una de las cargas (figura 1). Pues bien, dentro de los picos de fuerza que podemos en-

contrarnos hay uno que tiene una especial relevancia en el rendimiento deportivo y es el que tiene que alcanzar el deportista cuando realiza un gesto técnico específico (González Badillo, 2000). Por lo tanto, uno de los objetivos del entrenamiento de fuerza en el tenis debería ser adaptar el pico de FDM relativa necesario para un óptimo golpeo de la pelota. A este respecto, habría que tener en cuenta los brevísimos tiempos de contacto de la pelota con la raqueta que se dan en los distintos tipos de golpe en el tenis (Brannigan y Adali, 1981; Liu, 1983; Grabiner y cols.,

1983), así como las demandas de fuerza según el peso de la raqueta, tipo de gesto técnico, tiempo para realizar el movimiento de golpeo, etc. Sin embargo, todavía no hay estudios suficientes como para conocer con exactitud estas demandas en el tenis, ni el entrenamiento de fuerza más adecuado (tipo de ejercicios y características generales del entrenamiento). Tal vez, una alternativa sería mejorar y controlar la evolución de la FDM a lo largo de la temporada, para que cuando se aproxime la competición únicamente haya que mejorar la capacidad para aplicar fuerza ante cargas más ligeras y conseguir valores de fuerza más elevados.

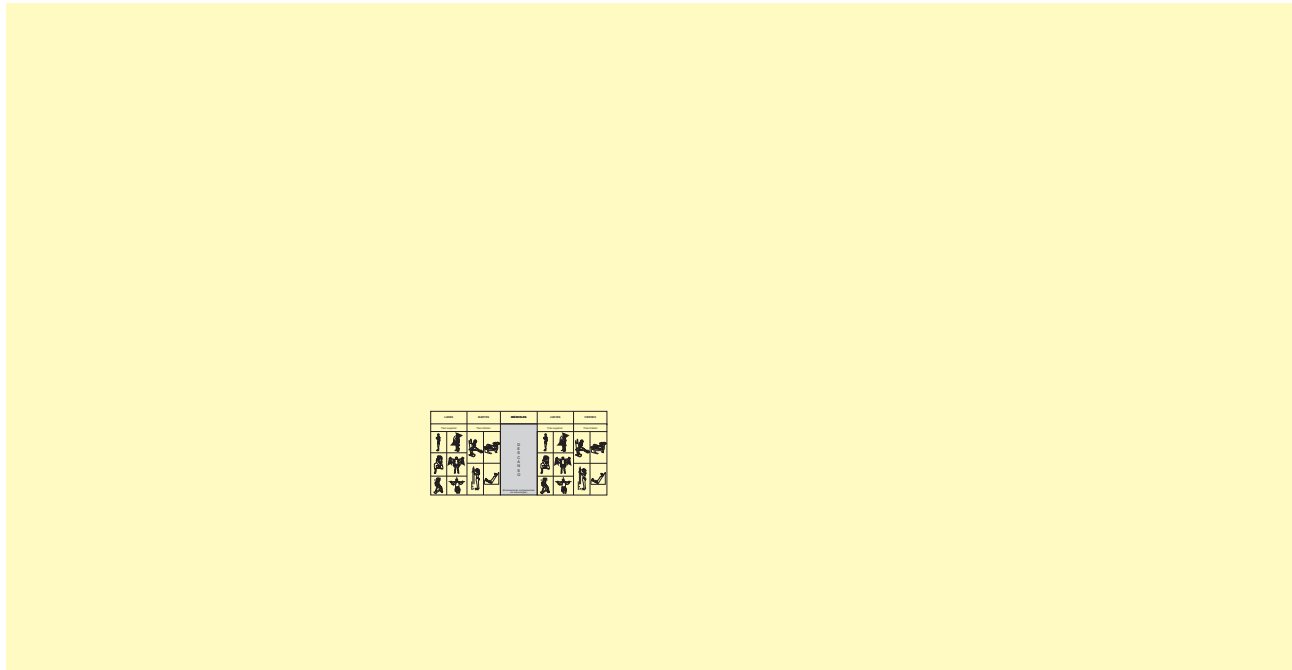
La pérdida de fuerza como consecuencia del desentrenamiento durante la competición es uno de los aspectos que se deberían tener en cuenta en la preparación física de los tenistas. No es difícil ver como muchos jugadores de tenis jóvenes de alto nivel que están en plena progresión no logran mejorar su condición física paralelamente. Un entrenamiento de fuerza adecuado en los periodos competitivos puede facilitar una transferencia mejor de las adaptaciones logradas con anterioridad a la competición. Algunos autores han observado que se puede controlar la pérdida de fuerza durante los periodos competitivos realizando dos sesiones de entrenamiento de fuerza semanales (Schmidtbleicher, 1992). Por otro lado, Groppe (1989) propuso que los jugadores de tenis debían realizar 1-2 series de 12-15 repeticiones de baja intensidad a la semana. Además, Roetert y Ellenbecker (1999) aportaron datos sobre el entrenamiento de fuerza que realizaron jugadores de tenis de distinto nivel en función del tipo de superficie sobre el que se disputara el torneo. (Tabla 3) Los objetivos de este trabajo son mostrar los resultados de un programa de entrenamiento de FDM en una jugadora de tenis de élite joven que está logrando importantes resultados deportivos. Así mismo, analizar los efectos de la competición sobre la FDM en el tenis.

### Material y métodos

En la tabla 4 se resumen las características generales de la jugadora de tenis an-

**Tabla 5.**

Distribución semanal de los ejercicios con sobrecargas realizados durante el entrenamiento de FDM (días de descanso: miércoles, sábados y domingos).



tes de empezar el entrenamiento de FDM. Se determinó el % de grasa corporal y la masa muscular del sujeto al finalizar el entrenamiento de FDM y al finalizar la temporada mediante absorciometría fotónica dual de rayos X (Hologic QDR-1500, Massachusetts), tal y como hemos descrito con anterioridad (Sanchis y cols., 1998).

La jugadora no había entrenado FDM antes de empezar el entrenamiento de fuerza. De acuerdo con lo previsto en la programación, se realizó un periodo de familiarización con los ejercicios seleccionados de 6 meses de duración, con una frecuencia de una o dos sesiones semanales, en las que se realizaron aleatoriamente los ejercicios mencionados pero sin sobrecargas y durante cortos periodos de tiempo. Durante el entrenamiento de FDM se realizaron cuatro sesiones de entrenamiento semanales (una diaria) y se alternaron las sesiones de trabajo de la musculatura del tren superior e inferior (tabla 5). En la tabla 6 se presentan las características generales del programa de entrenamiento de FDM. Se aleccionó a la jugadora sobre la importancia de realizar tanto el entrenamiento de FDM como los tests de control siempre a la máxima veloci-

**Tabla 6.**

Características generales del entrenamiento de FDM.

INTENSIDAD DE TRABAJO (% 1 RM)	N.º DE SERIES	N.º DE REPETICIONES	DESCANSO (min)	VELOCIDAD DE EJECUCIÓN
70-80 %	3-5	8	5	Muy alta

dad posible, además, ambas tareas siempre se realizaron en presencia del preparador físico. El programa de entrenamiento de FDM tuvo una duración de 12 semanas. (Tabla 7) En el tiempo que duró el entrenamiento también se disputaron torneos. Durante los torneos no se realizó ningún entrenamiento con sobrecargas. Al finalizar este periodo de entrenamiento la jugadora siguió entrenando FDM irregularmente en función de las posibilidades que ofrecía el calendario de competición.

Se realizaron ejercicios con sobrecargas de las extremidades superiores e inferiores (Tabla 8. Ejercicios 1-8 y 9-12, respectivamente). El criterio de selección de los ejercicios fue que la musculatura implicada estuviese específicamente relacionada con la ejecución técnica de alguno de los distintos tipos de golpe a excepción de los de la extremidad inferior para los que se utilizaron ejercicios de carácter general.

### Test de fuerza

Se midió la FDM mediante un test de repeticiones máximas antes de comenzar el programa de entrenamiento y cada 3-4 semanas. En algunos ejercicios se realizaron menos tests por circunstancias diversas. En la tabla 7 se presenta la periodización de los tests durante el programa de entrenamiento. Al finalizar cada semana de entrenamiento se realizaba un test de 3 RM para ajustar las cargas de entrenamiento de la semana siguiente. También se determinó la FDM al finalizar la temporada (11 meses después de haber iniciado el entrenamiento de FDM) en todos los ejercicios propuestos menos en el de "elevación de talones de pie", que no se pudo realizar.













Test de repeticiones máximas. Para conocer la 1 RM de cada sujeto se realizó un test de repeticiones máximas (de 3 a 12) con tres niveles de carga diferentes.

**Tabla 7.** Distribución del entrenamiento de FDM y competiciones en las que participó la tenista durante el período de entrenamiento, ubicación de los tests de fuerza (T1-T6).

NOVIEMBRE		DICIEMBRE			ENERO			FEBRERO			MARZO							
Entrenamiento FDM	Master Nike Fase Final (Holanda)	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Torneo Sub 16 (Francia)	Entrenamiento FDM	Campeonato Nacional por Equipos Cadetes "Copa de Invierno" (Noruega)	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM					
Entrenamiento FDM	WTA	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Orange Bowl	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM					
Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Copa Continental Junior	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM					
Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Campeonato de España Absoluto	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM					
Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM					
Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM	Entrenamiento FDM					
1. <sup>a</sup> semana (3-12)	14-16	2. <sup>a</sup> semana (18-27)	29-1	3. <sup>a</sup> semana (2-5)	6-8	10-13	14-24	4. <sup>a</sup> semana (22-4)	5. <sup>a</sup> semana (5-11)	6. <sup>a</sup> semana (12-18)	7. <sup>a</sup> semana (19-29)	31-8	8. <sup>a</sup> semana (9-21)	23-1	9. <sup>a</sup> semana (2-7)	10. <sup>a</sup> semana (8-14)	11. <sup>a</sup> semana (15-21)	12. <sup>a</sup> semana (22-28)
Trabajo general		T1=18/11/97 T2=22/11/97						T3=29/12/97			T4=19/01/98			T5=14/02/98				T6=16/03/98

**Tabla 8.**

Ejercicios con sobrecargas para el entrenamiento de la fuerza en el tenis.

DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL EJERCICIO	NOMBRE DEL EJERCICIO	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL EJERCICIO	GRUPOS MUSCULARES QUE INTERVIENEN
	1. Elevaciones frontales con mancuernas.	Se puede realizar de pie o sentado (mejor sentado). Se requieren dos mancuernas de igual peso, una en cada mano. Con los brazos extendidos y la palma de la mano en dirección al suelo elevar los brazos hacia delante alternativamente.	Deltoides (haz anterior y porción media), serrato mayor y romboides.
	2. Elevaciones laterales con mancuernas.	Se puede realizar de pie o sentado (mejor sentado). Se requieren dos mancuernas de igual peso, una en cada mano. Con los brazos extendidos y la palma de la mano en dirección al suelo elevar los brazos lateralmente simultáneamente.	Deltoides (haz anterior y porción media), trapecio.
	3. Press inclinado con mancuernas.	Tumbado en un plano inclinado (45°). Con una mancuerna en cada mano, los brazos extendidos a la altura del pecho y perpendiculares al suelo, flexionar los codos manteniendo los brazos en abducción de 90° y el antebrazo perpendicular al suelo al llegar a la máxima flexión.	Pectoral mayor, haz clavicular del pectoral mayor, serrato mayor, tríceps (porción larga, vasto interno), deltoides (porción media, haz anterior).
	4. Press con mancuernas en banco plano.	Tumbado paralelo al suelo. Con una mancuerna en cada mano, los brazos extendidos a la altura del pecho y perpendiculares al suelo, flexionar los codos manteniendo los brazos en abducción de 90° y el antebrazo perpendicular al suelo al llegar a la máxima flexión.	Pectoral mayor.
	5. Polea tras nuca.	Sentado, con las manos sujetando una barra, separadas más allá de la altura de los hombros y los brazos extendidos, flexionar los brazos llevando la barra hasta detrás de la cabeza.	Dorsal ancho, redondo mayor, flexores de antebrazos, romboides, trapecios.
	6. Remo horizontal a una mano con mancuernas.	Una mano y la pierna del mismo lado apoyadas en un banco, la pierna contraria en el suelo. Brazo libre extendido, perpendicular al suelo y sujetando una mancuerna, espalda recta. Flexionar el brazo paralelo al cuerpo elevando el codo por encima del cuerpo en el punto de máxima flexión.	Dorsal ancho, redondo mayor, deltoides posterior, trapecio, romboides.
	7. Extensión tras nuca con mancuerna.	Se puede realizar de pie o sentado (mejor sentado). Con un brazo extendido, pegado a la cabeza y perpendicular al suelo, sujetando una mancuerna. El brazo contrario controlando el desplazamiento lateral del brazo que realiza el ejercicio. Flexionar el codo hasta 100° aproximadamente sin separarlo de la cabeza y manteniendo la perpendicularidad.	Tríceps (vasto externo, porción larga), ancóneo.
	8. Curl de bíceps concentrado con apoyo en el muslo.	Se puede realizar con una rodilla en el suelo o sentado (mejor sentado). Un brazo extendido y perpendicular al suelo sujetando una mancuerna. El codo de ese brazo en contacto con la parte interna de la pierna del mismo lado. Realizar una flexión máxima del codo a la vez que se rota internamente el antebrazo.	Bíceps braquial, braquial anterior.
	9. Elevación de talones de pie en máquina.	De pie, con un peso situado sobre los hombros, las puntas de los pies apoyadas en una cuña. Realizar flexiones y extensiones de tobillo con máxima amplitud.	Gemelo (interno, externo), soleo.
	10. Extensiones de cuádriceps en máquina.	Sentado, con las piernas flexionadas y con un sobrepeso apoyado en la porción anterior de la pantorrilla. Realizar flexiones y extensiones de rodilla con amplitud.	Cuádriceps (vasto externo, crural).
	11. Curl de piernas acostado.	Tumbado boca abajo, piernas extendidas, con un sobrepeso apoyado en la porción inferior del gemelo. Realizar flexiones y extensiones de rodilla con amplitud.	Bíceps crural (porción larga y corta), semitendinoso, semimembranoso, gemelo.
	12. Prensa de piernas inclinada.	Con la espalda apoyada en un plano inclinado, cadera flexionada 90°, piernas extendidas y separadas a la altura de los hombros con un sobrepeso en la planta de los pies. Realizar flexiones y extensiones de rodilla con amplitud.	Cuádriceps (vasto interno y externo, crural, recto anterior), glúteo mayor.

La carga inicial se calculó de tal manera que el sujeto pudiese desplazarla como máximo 12 veces. A partir de ese momento se iba aumentando la carga progresivamente hasta que el sujeto sólo podía desplazarla correctamente aproximadamente 3 veces en la última serie (3 RM). En cada serie realizada se anotó la carga y el número de repeticiones realizados. Entre series se permitió un descanso de al menos 5 minutos, según las necesidades del sujeto, para alcanzar una recuperación completa. Posteriormente se determinó la carga correspondiente a 1 RM por extrapolación de la relación semilogarítmica (carga/ $\ln$  n.º repeticiones). Para una descripción más detallada ver Sanchis, 1998).

### Resultados

En las *figuras 2 y 3* se muestran los resultados de los tests realizados en las extremidades superiores e inferiores del cuerpo, respectivamente. El ajuste lineal entre la relación carga/ $\ln$  n.º repeticiones fue siempre muy bueno (en general,  $r^2 > 0,90$ ).

La FDM mejoró al finalizar el entrenamiento en todos los ejercicios realizados tanto en las extremidades superiores como inferiores. Sin embargo, en la mayoría de los ejercicios estos incrementos de fuerza no tuvieron una progresión continua sino que se alternaron periodos de ganancia y de pérdida de fuerza durante las semanas que duró el entrenamiento (*figuras 4 y 5*). Únicamente en los ejercicios de “prensa de piernas inclinada” y “pectorales en plano inclinado” aumentaron linealmente. En la *tabla 9* se muestran los porcentajes variación de la fuerza entre tests consecutivos para cada ejercicio, así como al finalizar el entrenamiento con respecto al nivel de fuerza inicial.

Al finalizar la temporada los valores de FDM disminuyeron tanto en los ejercicios de piernas como en los de las extremidades superiores, un promedio de un 18 % y un 22 %, respectivamente, en relación a la 1 RM realizado en el test 6 del programa de entrenamiento (*Tabla 10, Figuras 6 y 7*). Únicamente en el ejercicio de “polea tras nuca” la 1 RM del test 6 no varió. La masa magra total, el % de grasa corporal y el peso corporal disminuyeron ligeramente

desde el final del entrenamiento de FDM hasta el final de temporada. (*Tabla 11*)

### Discusión

Hasta que se pueda entrenar específicamente la FDM según el gesto técnico individual, una alternativa para mejorar esta cualidad física y para poder controlar su evolución es el entrenamiento con sobrecargas. Para ello, hemos seleccionado aquellos ejercicios con sobrecargas que según la bibliografía especializada trabajan específicamente la musculatura que interviene en movimientos propios del tenis. A este respecto, numerosos autores han analizado desde un punto de vista biomecánico y mediante electromiografía cual es la musculatura implicada en la ejecución de los distintos tipos de golpe en el tenis (*Tabla 2*). Aunque la mayor parte de las investigaciones se han centrado en estudiar la participación los músculos de la extremidad superior, todos los trabajos realizados coinciden en señalar que la intervención de los músculos de las piernas (soleo, gemelos, cuádriceps y glúteos, fundamentalmente) y del tronco (abdominales y lumbares), son de vital importancia para lograr mayor velocidad en el desplazamiento de la pelota (Quin, 1986). Con respecto a la musculatura abdominal, su entrenamiento es de vital importancia en el tenis por sus múltiples implicaciones (Adams y cols., 1980; Bogduk y Macintosh, 1984; Farfan, 1995; Shields y Heiss, 1997, para revisión ver Dorado y cols., 2001A, en prensa). Por un lado, permite estabilizar el cuerpo en los desplazamientos y al golpear la pelota, además incrementa la velocidad de rotación del tronco en el momento del golpeo y previene lesiones específicas de la columna lumbar (Knudson y Blackwell, 2000 y Elliot, 2001), posiblemente una de las lesiones que pueden resultar más perjudiciales en el tenis (para revisión ver *Clinics in Sports Medicine –Raquet Sports–*, 1995, Sanchis Moysi y cols., 1996). A este respecto, recientemente hemos comprobado que el contenido mineral óseo (BMC) y la densidad mineral ósea (BMD) en las vértebras lumbares (L2-L4), en la pelvis y en la cabeza y cue-

llo del fémur es mayor en tenistas profesionales que en sujetos sedentarios (López Calbet y cols., 1998; Sanchis Moysi y cols., 1998), diferencias que se prolongan hasta la edad adulta en varones que practican el tenis como hobby (Sanchis Moysi y cols., 1999), pero no en mujeres de la misma edad (Sanchis Moysi y cols., 2001, Dorado y cols., 2001B). Estas variaciones en el BMC y en la BMD también se han observado en el brazo dominante comparado con el no dominante de los jugadores de tenis (tanto en profesionales como en amateurs adultos de ambos sexos), acompañadas por un incremento de la masa muscular (Calbet y cols., 1998; Sanchis Moysi y cols., 1998; Sanchis Moysi y cols., 1999; Sanchis Moysi y cols., 2001, Dorado y cols., 2001B). En la *tabla 8* se proponen un conjunto de ejercicios con sobrecargas para el entrenamiento de fuerza en el tenis que han sido seleccionados de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente. Sin embargo, ¿Puede el entrenamiento con sobrecargas tener efectos positivos (transferencia) sobre el rendimiento en el tenis?, todavía no lo sabemos con exactitud. Existen pocos trabajos que hayan analizado los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en el tenis. Recientemente, en un excelente trabajo Kraemer y cols. (2000) analizaron los efectos de tres tipos de entrenamiento de fuerza realizados durante 9 meses sobre la velocidad de desplazamiento de la pelota en jugadoras de tenis jóvenes de nivel medio. Estos autores observaron pequeñas correlaciones entre la velocidad de la pelota y los ejercicios con sobrecarga seleccionados, al final del entrenamiento. Numerosas investigaciones con electromiografía se han centrado en analizar la activación neuromuscular de aquellos músculos mayormente implicados en la realización de los distintos tipos de golpe (ver revisión en Sanchis Moysi y cols., 1996). Así, se ha observado que determinados músculos se activan de forma máxima en las primeras fases de aceleración del movimiento durante los distintos tipos de golpe. Este aspecto podría influir significativamente en la velocidad de desplazamiento de la pelota, tan determinante



**Figura 2.**

Representación gráfica de los resultados de los tests de determinación del 1 RM realizados en las extremidades superiores, durante las 12 semanas de entrenamiento.

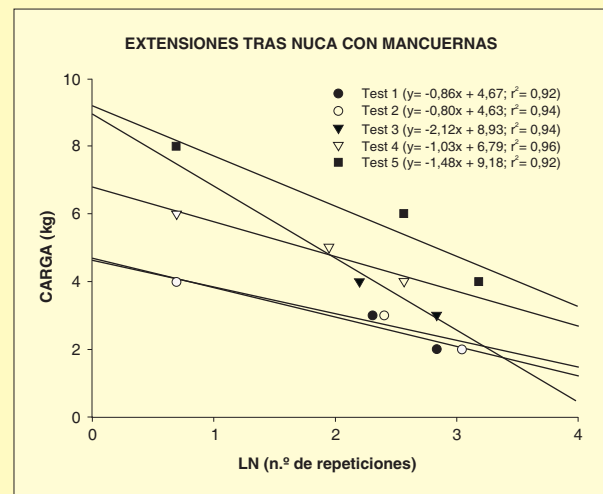
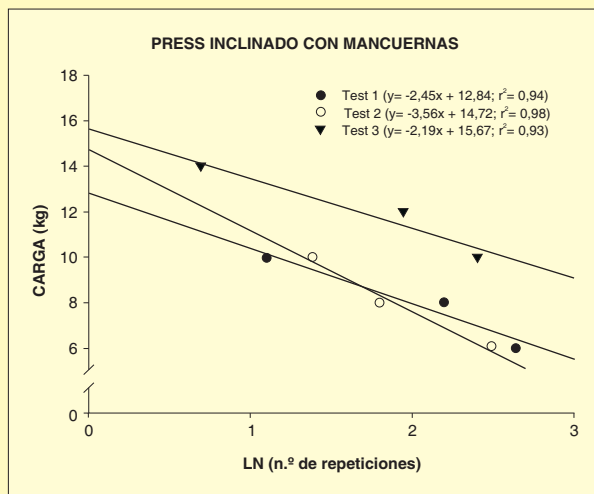
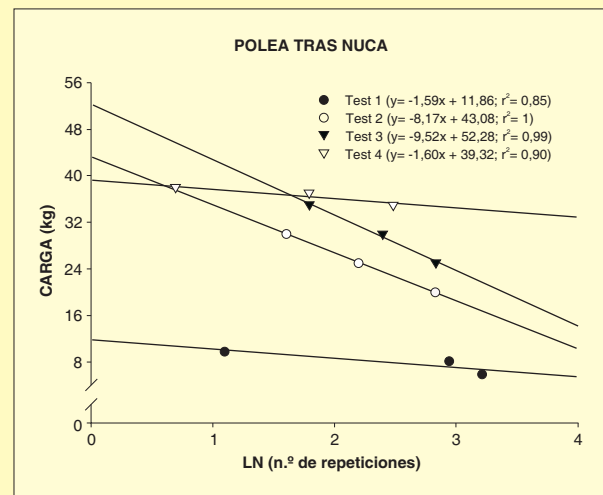
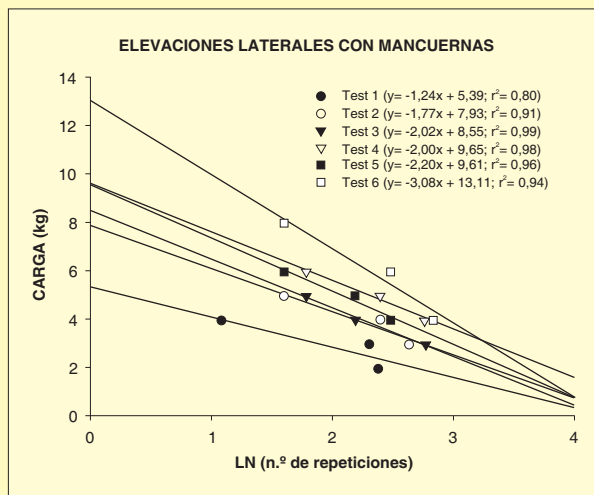
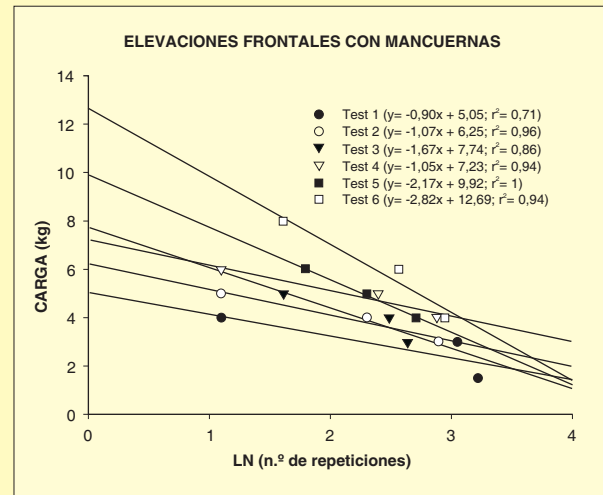
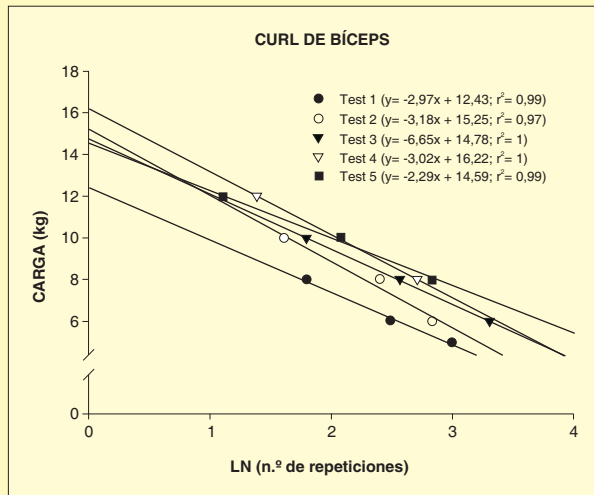




Figura 3.

Representación gráfica de los resultados de los tests de determinación del 1 RM realizados en las extremidades inferiores durante las 12 semanas de entrenamiento.

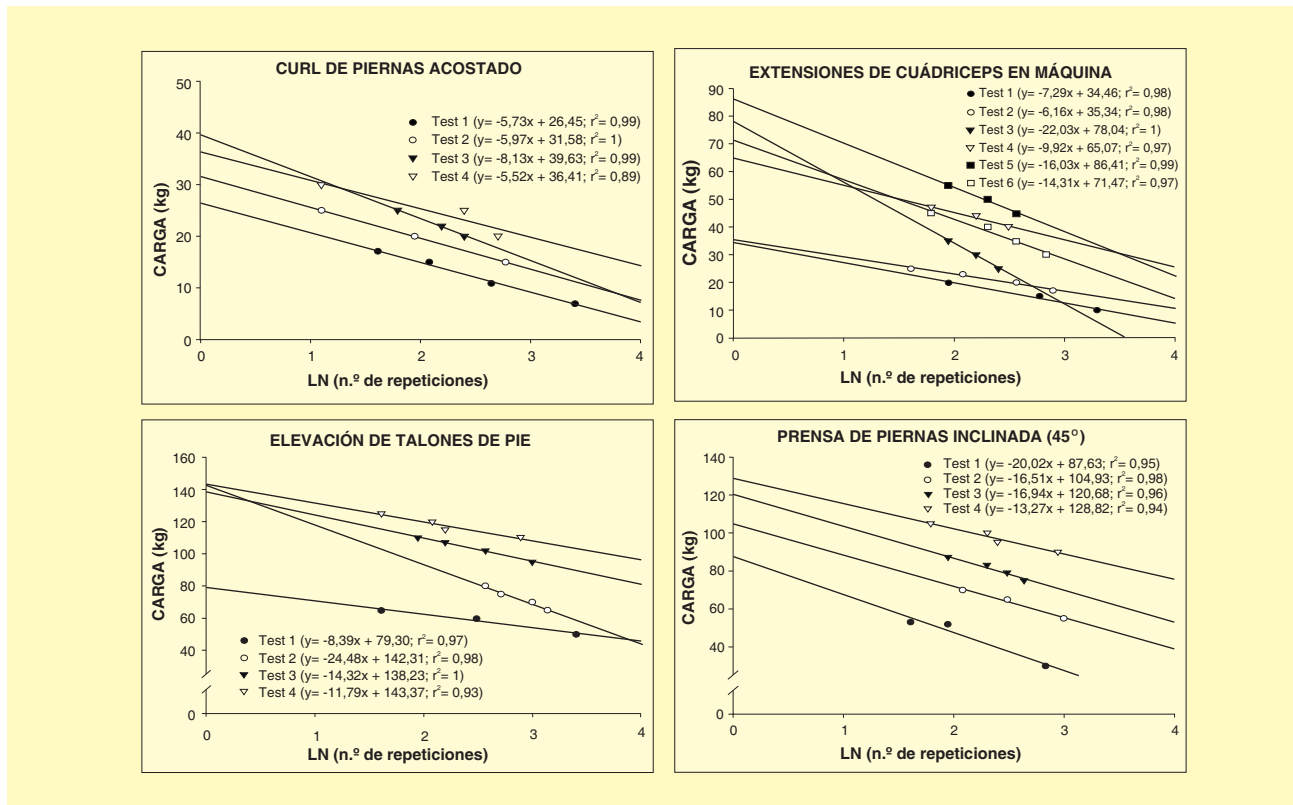
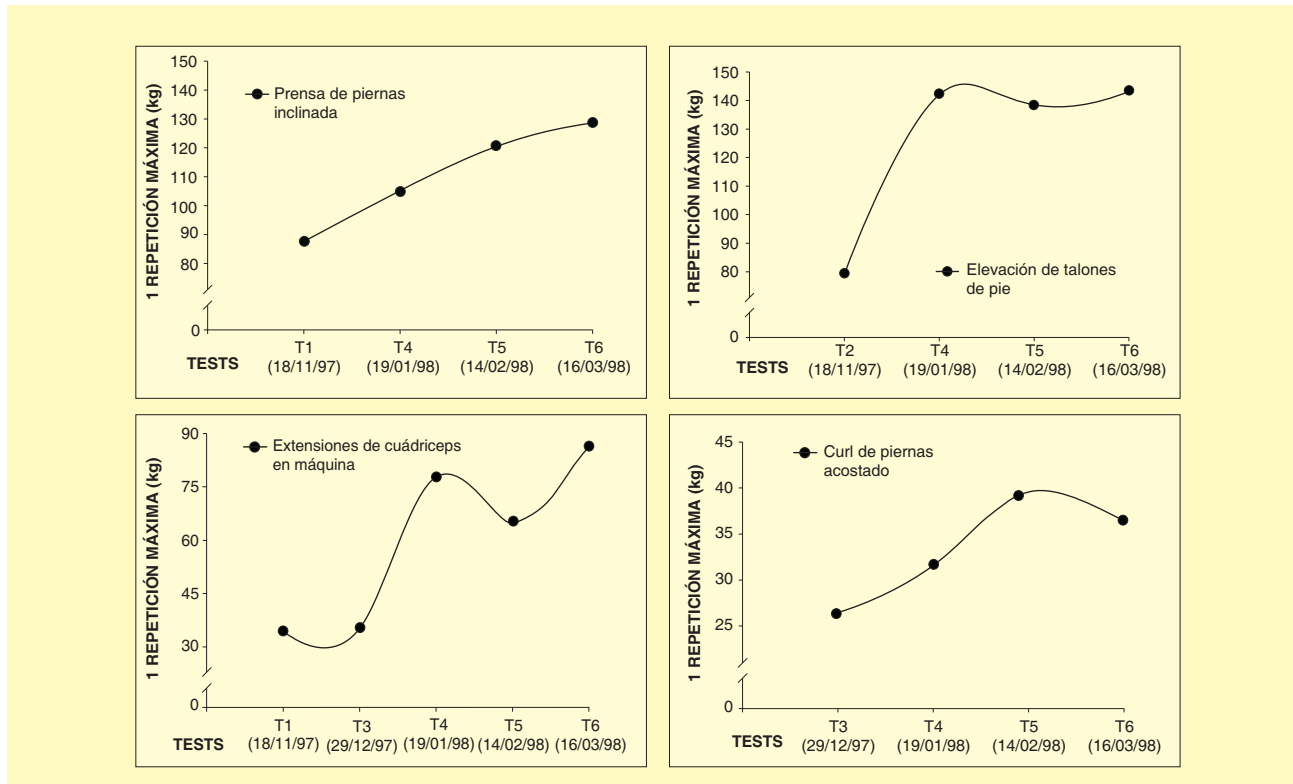


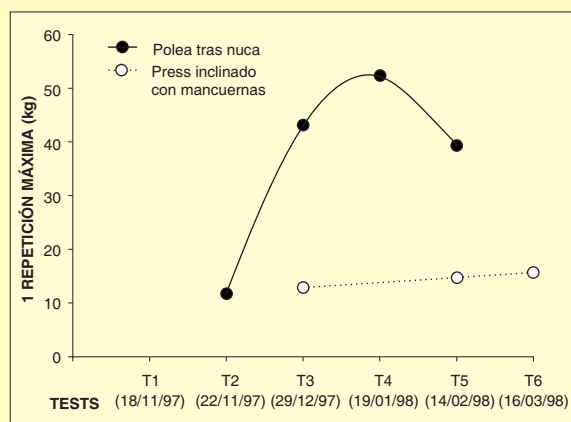
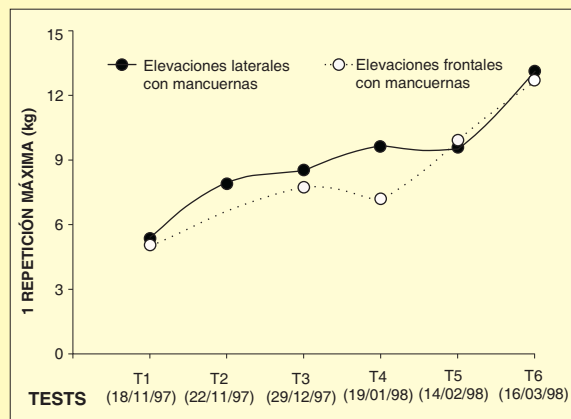
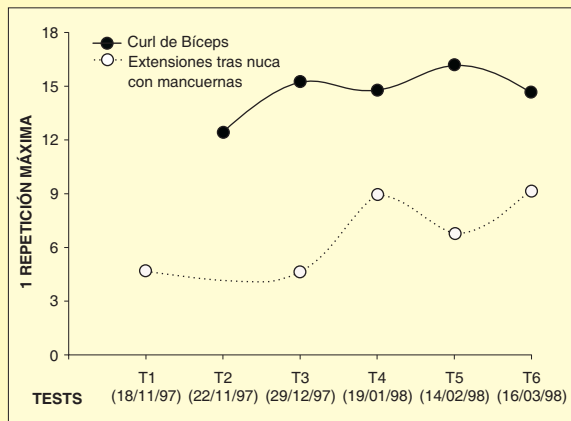
Figura 4.

Evolución del 1 RM en los ejercicios correspondientes a las extremidades inferiores durante las 12 semanas de entrenamiento de FDM.



**Figura 5.**

Evolución del 1 RM en los ejercicios correspondientes a las extremidades superiores durante las 12 semanas de entrenamiento de FDM.

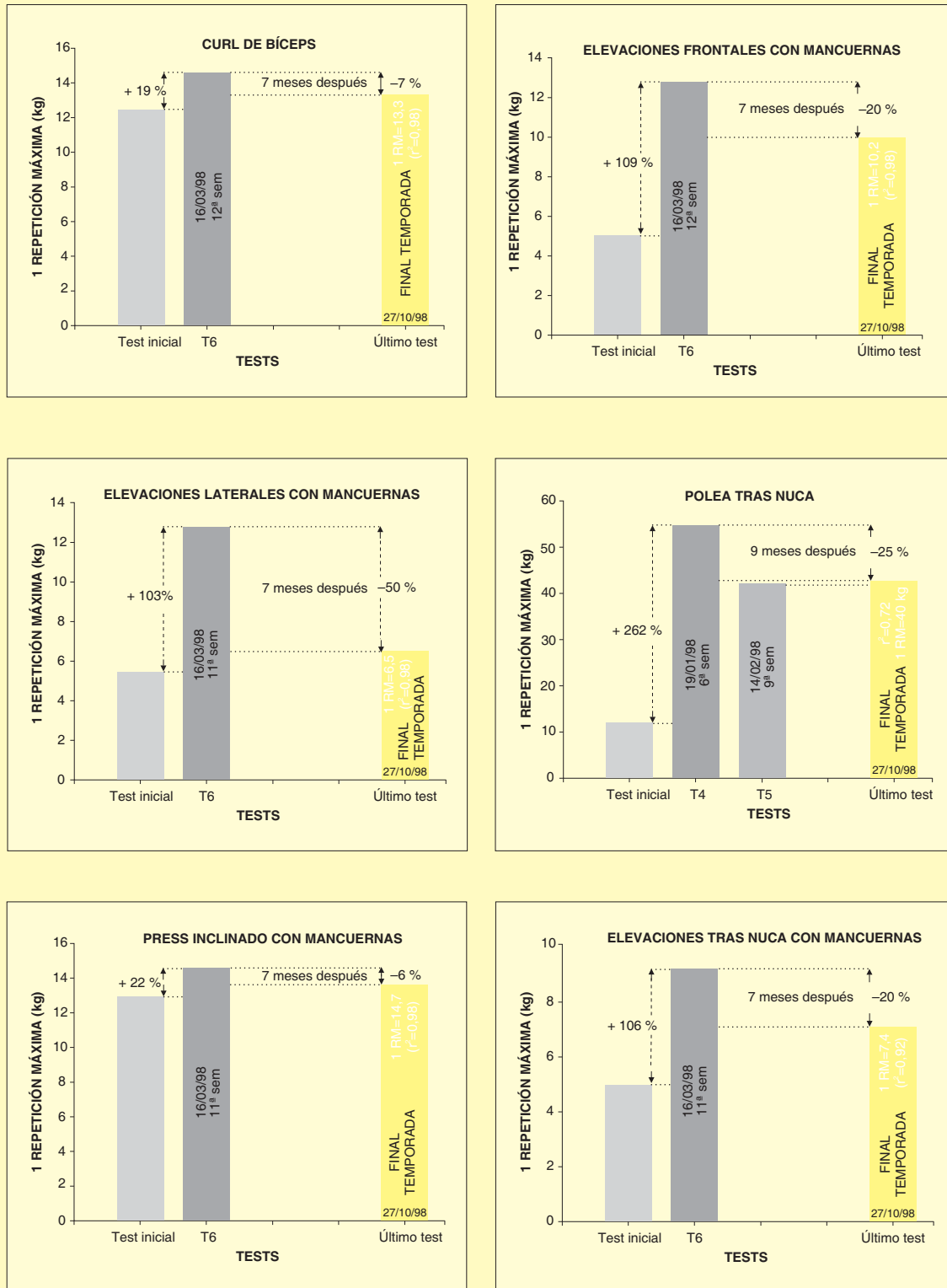


**Tabla 9.**

Variación del 1 RM al comparar las mediciones realizadas en tests consecutivos (expresado en porcentaje sobre el valor de 1 RM del test anterior). Incremento total de fuerza al finalizar las 12 semanas de entrenamiento (%).

EVOLUCIÓN DE LA FDM (%)							
	TEST 1 (18/11/97)	TEST 2 (22/11/97)	TEST 3 (29/12/97)	TEST 4 (19/01/98)	TEST 5 (14/02/98)	TEST 6 (16/03/98)	TOTAL
Curl de Bíceps	—	Test inicial	+22	-3	+10	-10	+19
Extensiones tras nuca con mancuernas	Test inicial	—	+2	+93	-24	+35	+106
Elevaciones laterales con mancuernas	Test inicial	+46	+9	+13	-1	+36	+103
Elevaciones frontales con mancuernas	Test inicial	—	+51	-7	+37	+28	+109
Polea tras nuca	—	Test inicial	+241	+21	-25	—	+237
Press inclinado con mancuernas	—	—	Test inicial	—	+15	+7	+22
Prensa de piernas inclinada	Test inicial	—	—	+20	+15	+7	+42
Elevación de talones de pie	—	Test inicial	—	+79	-3	-4	+72
Extensiones de cuádriceps en máquina	Test inicial	—	+2	+121	-17	+33	+139
Curl de piernas acostado	—	—	Test inicial	+19	+25	-8	+36

**Figura 6.** Variación del 1 RM entre el inicio y el final de la temporada (extremidades superiores).



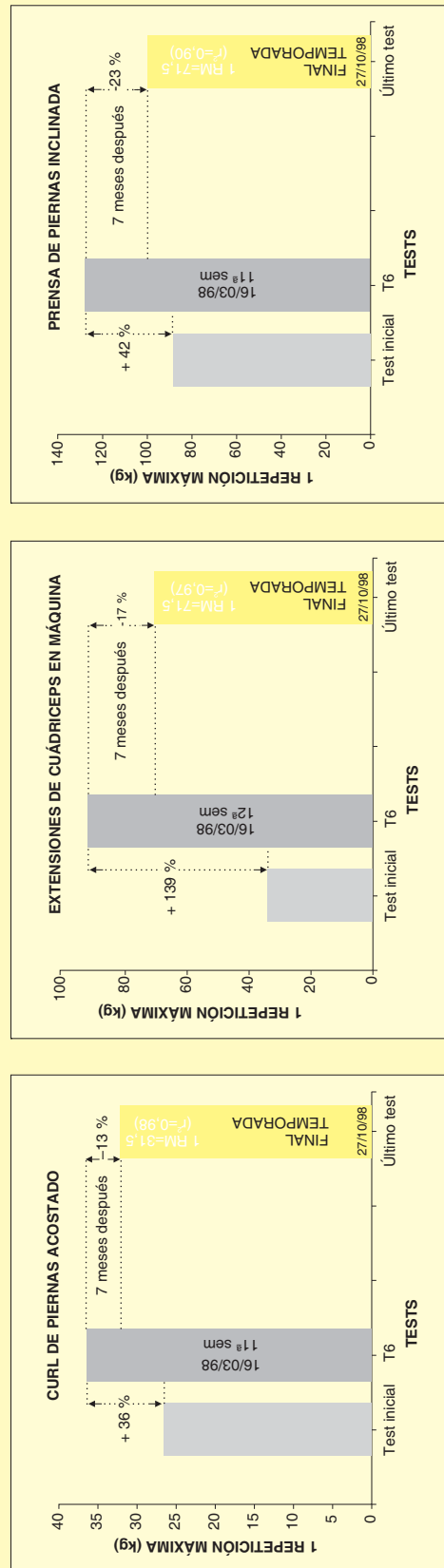
**Tabla 10.**

1 RM en el test inicial, último test del programa de entrenamiento (test 6) y al finalizar la temporada.

	CURL DE BICEPS	EXTENSIONES TRAS NUCA CON MANCUERNAS	ELEVACIONES LATERALES CON MANCUERNAS	ELEVACIONES FRONTALES CON MANCUERNAS	POLEA TRAS NUCA	PRES INCLINADO CON MANCUERNAS	PRESA DE PIERNA INCLINADA	ELEVACIÓN DE TALONES DE PIE	EXTENSIONES DE CUÁDRICEPS EN MÁQUINA	CURL DE PIERNAS ACOSTADO
<b>TEST INICIAL</b>	12,4	4,7	5,4	5,1	11,9	12,8	87,6	79,3	34,5	26,5
<b>TEST 6</b>	14,6	9,2	13,1	12,7	39,3	15,7	128,8	143,4	86,4	36,4
<b>FINAL TEMPORADA</b>	13,3	7,4	6,5	10,2	40,0	14,7	99,0	-	71,5	31,5

**Figura 7.**

Variación del 1 RM entre el inicio y el final de la temporada (extremidades inferiores).



**Tabla 11.**

Características generales de la jugadora de tenis al finalizar el entrenamiento de FDM y 7 meses después.

REGIÓN CORPORAL	MASA MAGRA (g)		% GRASA CORPORAL		PESO		TALLA
	AL TERMINAR FDM	7 MESES DESPUÉS	AL TERMINAR FDM	7 MESES DESPUÉS	AL TERMINAR FDM	7 MESES DESPUÉS	AL FINAL DE TEMPORADA
Brazo izquierdo	1.942,1	1.877,5	24,7	26,5			
Brazo derecho	2.196,5	2.186,7	23,8	25,2			
Tronco	2.343,0	2.363,0	12,5	10,3			
Pierna izquierda	7.966,4	7.175	28,7	32,2			
Pierna derecha	7.574,5	7.647,9	31,2	30,8			
<b>TOTAL</b>	<b>4.597,4</b>	<b>4.544,3</b>	<b>20,6</b>	<b>20,3</b>	<b>61,6</b>	<b>61,4</b>	<b>171,5</b>

del rendimiento en el tenis. Aunque no podemos olvidar que los golpes en el tenis son el resultado de una cadena cinética formada por el tronco, la cadera y las piernas (Anderson, 1970). Además, se ha comprobado que los jugadores más depurados técnicamente registran menor actividad muscular en cada golpe a pesar de imprimirle más velocidad a la pelota (Gunderson, 1972; McLaughlin, 1978). Este tipo de contracciones musculares de alta intensidad repetidas de forma intermitente durante las 1-5 horas que dura un partido de tenis, aproximadamente, deberían disminuir considerablemente las reservas energéticas presentes en el músculo, especialmente la fosfocreatina, tan de moda en el tenis actual. Al lector interesado le recomendamos consultar una revisión bibliográfica publicada recientemente que sintetiza los principales mecanismos de actuación de la fosfocreatina y los efectos de su suplementación sobre el rendimiento (Dorado y cols., 1997).

Algunos estudios han observado que en los distintos tipos de golpe, en las fases de impacto de la pelota y deceleración del movimiento la actividad electromiográfica es menor que en las fases de iniciales de aceleración del movimiento (Gunderson, 1972; McLaughlin, 1978; Van Gheluwe y Hebbelink, 1986; Groppe, 1986). Esto posiblemente sea debido a que el músculo se contrae excéntricamente. A este respecto, estudios recientes han comprobado que el sistema nervioso utiliza un comando espe-

cífico y único durante las contracciones musculares excéntricas (Enoka, 1996, ver revisión en Sanchis Moysi, 1999). Es decir, la activación muscular durante las contracciones musculares excéntricas es distinta que para las contracciones concéntricas e isométricas. Este planteamiento implicaría que para movimientos que necesiten sucesivas contracciones excéntricas y concéntricas como es el caso del tenis, debería haber también un cambio en la estrategia de control nervioso de los dos tipos de contracción. Tal vez, para ser específicos con el entrenamiento con sobrecargas en el tenis posiblemente se debería trabajar concéntricamente en determinados movimientos y con contracciones musculares excéntricas en otros. Además, estudios recientes han comprobado que incluyendo contracciones musculares excéntricas durante el entrenamiento de fuerza los incrementos de fuerza son mayores que entrenando sólo concéntricamente (Colliander y Tesh, 1990; Dudley y cols., 1991 y Hortobágyi y cols., 1996, para revisión ver Sanchis Moysi, 1998).

El entrenamiento de FDM podría tener efectos positivos sobre el rendimiento en el tenis, según el tipo de activación muscular que se da durante los distintos tipos de golpe en el tenis. Este tipo de entrenamiento (Tabla 6) produce adaptaciones neuromusculares y no ocasiona grandes hipertrofias musculares en el

sujeto (otros entrenamientos similares pueden verse en el excelente libro de Komi, 1992, capítulo 18: "Training for Power Events"). Asimismo, contribuye a un incremento del "rate of force development" (RFD) o velocidad de desarrollo de fuerza y a mejorar la activación neuronal. Todo ello debería permitir una mayor explotación del potencial muscular con efectos mínimos sobre el incremento de masa muscular o el peso corporal (Schmidbleicher, 1992). Aunque nosotros no pudimos determinar masa magra antes de empezar el entrenamiento de FDM, pudimos observar una ligera disminución de la masa magra, porcentaje de grasa corporal y peso corporal desde el final del entrenamiento de FDM hasta el final de temporada (7 meses).

Antes hemos visto que la potencia refleja la capacidad del músculo para generar un impulso mecánico en el menor tiempo posible. Es posible mejorar la potencia muscular si aumenta la fuerza máxima, pero también es posible mejorar la potencia muscular en gestos deportivos específicos como por ejemplo el salto, sin mejorar la fuerza máxima, siempre y cuando mejore el RDF. Durante la contracción dinámica sólo es posible mejorar la potencia media desarrollada si se consigue generar un mayor impulso mecánico en el mismo tiempo, o bien si se genera el mismo impulso mecánico pero en menos tiempo (en ambos casos esto sólo es posible si mejora el RDF). En nuestro caso, la jugadora

aumentó la fuerza dinámica máxima notablemente, pero además este tipo de entrenamiento también debería haber contribuido a incrementar el RFD y por tanto, a la capacidad para generar la máxima fuerza en el menor tiempo posible en los distintos tipos de golpe. A este respecto, tal vez habría que adaptar posteriormente esas ganancias de FDM con cargas elevadas a las características específicas del tenis (peso de la raqueta, tipo de gesto técnico, tiempo para realizar el movimiento de golpeo, tiempo de contacto con la pelota etc.). Son necesarias nuevas investigaciones para conocer los efectos del entrenamiento de FDM sobre el rendimiento en el tenis, así como para diseñar entrenamientos de fuerza más específicos para este deporte (tipo de ejercicios y características generales del entrenamiento). El entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes y sus efectos nocivos sobre el crecimiento ha sido un tema ampliamente debatido en la literatura especializada (para revisión ver Guy y Micheli, 2001). En la actualidad está comprobado que tanto los niños como los adolescentes de ambos sexos pueden mejorar la fuerza muscular con el entrenamiento (Pfeiffer y Francis, 1986; Sewal y Micheli, 1986; Sailors y Berg, 1987; Ramsay y cols., 1990; Faigenbaum y cols., 1993; Lillgard y cols., 1997; Faigenbaum y cols., 1999 y Papadopoulos y cols., 2001). Estos incrementos en la fuerza muscular parecen estar más relacionados con mejoras en la activación y en la coordinación neuromuscular que con hipertrofias musculares (Sale, 1989; Ramsay y cols. 1990; Ozmun y cols., 1994 y Gardiner 2001), igual que sucede en adultos no entrenados. Además, a estas edades las ganancias de fuerza como consecuencia del entrenamiento se pueden perder rápidamente si este entrenamiento no tiene continuidad (Faigenbaum y cols., 1986). Ambos factores pudieron influir tanto en las importantes mejoras logradas en los tests de 1 RM (Komi, 1986; Häkkinen y Kallinen, 1994), como en la pérdida de fuerza como consecuencia del desentrenamiento (Häkkinen y cols., 1985; Faigenbaum y cols. 1986 y Narici 1989). Otros trabajos realizados con niños y ado-

lescentes han encontrado importantes ganancias de fuerza en la extremidad superior (Sewal y Micheli, 1986; Sailors y Berg, 1987; Blimkie, 1989 y Faigenbaum y cols., 1993) e inferior (Sewal y Micheli, 1986; Sailors y Berg, 1987 y Faigenbaum y cols., 1996). Sin embargo, en nuestro trabajo las ganancias de fuerza tanto de la extremidad superior como inferior fueron en general superiores a las encontradas en estos estudios. Diferencias en el volumen de entrenamiento realizado, el número de repeticiones por serie, la velocidad de ejecución, la carga desplazada, así como los instrumentos de medida utilizados para determinar la 1 RM o la motivación, entre otras cosas pueden ocasionar resultados contradictorios en este tipo de investigaciones (Faigenbaum y cols., 1999). En nuestro caso, otro factor a tener en cuenta es que los sujetos experimentales que participaron en los trabajos citados anteriormente no eran deportistas de élite, mientras que en nuestro caso de estudio la jugadora se dedicaba semi-profesionalmente al tenis a pesar de su corta edad. Así, el volumen de entrenamiento realizado por nuestra deportista fue superior al de los estudios citados y posiblemente la intensidad del entrenamiento fue también superior, sin tener en cuenta las diferencias individuales que se pueden dar en este tipo de entrenamiento. Además, aunque la tenista estudiada era realmente joven (15 años) al inicio del programa de entrenamiento, su estado de maduración (Taner = 5) la coloca en el grupo de adolescentes postpuberales. Aún así, se tomaron precauciones dada su juventud. En general, se recomienda que durante las primeras semanas de entrenamiento se realicen ejercicios con muchas repeticiones y de alta intensidad en lugar de ejercicios con pocas repeticiones y desplazando cargas pesadas, debido a que las ganancias de fuerza en las etapas iniciales de un entrenamiento de fuerza parece ser que se deben fundamentalmente a adaptaciones neuronales. Por otro lado, para prevenir lesiones graves a estas edades son necesarios programas de entrenamiento adaptados a las características del niño/adolescente, así como la supervisión de profesionales cualificados. Finalmente,

se recomienda la utilización de cargas ligeras o moderadas en lugar de cargas excesivamente pesadas que pudieran lesionar estructuras óseas íntimamente relacionadas con el crecimiento.

La medición de la velocidad de la pelota en los distintos tipos de golpe o la determinación de la curva fuerza-velocidad antes y después del entrenamiento de fuerza, podrían aportar información adicional muy interesante durante este tipo de entrenamiento. La medición del tiempo de ejecución durante los tests de 1 RM nos podría haber orientado a cerca de la evolución de la curva fuerza-velocidad de la tenista en cada ejercicio, es decir, de la relación entre ese valor máximo de fuerza dinámica (1 RM) y el tiempo necesario para desarrollarla. Por otro lado, siguiendo las recomendaciones de Ferrauti (comunicación personal) y de acuerdo con trabajos recientes realizados por su excelente grupo de investigación (Ferrauti y cols., 2001), el control de la evolución de la velocidad de la pelota en los distintos tipos de golpe podría haber aportado datos relevantes para conocer los efectos del entrenamiento de fuerza realizado sobre el rendimiento.

El procedimiento empleado para determinar la 1 RM en este estudio nos parece interesante porque permite obtener una relación matemática individual entre el número de repeticiones posible y el peso aplicado que resulta muy útil para el entrenador. Este procedimiento se basa en la misma técnica que se ha seguido para determinar las múltiples ecuaciones que se han propuesto para estimar 1 RM a partir de repeticiones submáximas. El fundamento es el siguiente: la relación que existe entre el número de repeticiones máximas y el peso levantado es curvilínea, de tal manera que linealizando la relación mediante una transformación semilogarítmica, se puede obtener un valor aproximado de 1 RM, con un error en la estimación que es individual. ¿Por qué no emplear alguna de las muchísimas ecuaciones ya existentes? Sencillamente, porque aunque esta alternativa habría sido más simple, eso habría comportado sin duda un mayor error debido a las siguientes razones:

- Existen muchas ecuaciones porque ninguna ha demostrado ser excepcionalmente buena (pasa algo parecido a lo que ocurre con las ecuaciones antropométricas para determinar el porcentaje de grasa corporal). Véase el libro de Maud y Foster, *Physiological assessment of physical fitness*, Human Kinetics, p. 127.
- Es mejor determinar los parámetros matemáticos directamente que utilizar los parámetros fijos de las ecuaciones.
- La mayoría de las ecuaciones se han desarrollado con el ejercicio de press de banca. Muchas de ellas fallan notablemente en otros ejercicios distintos al press de banca.
- Ninguna de las ecuaciones ha sido específicamente desarrollada para su aplicación en mujeres adolescentes.

En realidad lo mejor habría sido medir la 1 RM, pero al tratarse de una tenista de elite tal vez no habría sido prudente, dada su nula experiencia previa en trabajo de fuerza.

Nos parece importante destacar los resultados obtenidos en este trabajo, dadas las características excepcionales de la jugadora de tenis objeto de estudio, así como las enormes dificultades que entraña estudiar a jugadores de alto nivel. Continuamente echamos en falta publicaciones de otros entrenadores/preparadores físicos relacionados directamente con el alto rendimiento deportivo.

### Limitaciones e interés del estudio

La principal limitación de este estudio es que se centra en la descripción de un caso, por lo que las observaciones efectuadas en cuanto a la eficacia del programa de entrenamiento no son generalizables a todos los tenistas. La mejora observada en algunos ejercicios en los que los valores estimados de 1 RM se han duplicado es realmente espectacular. Incrementos de fuerza muscular de esta magnitud son excepcionales pero no imposibles especialmente en grupos musculares no sometidos con anterioridad a entrenamiento de fuerza. De hecho, las mejoras fueron mucho más im-

portantes en los ejercicios efectuados con las extremidades superiores que en los realizados con las extremidades inferiores. Hay que tener en cuenta que la musculatura de las extremidades inferiores es muy activa en el tenis (saltos, carreras, cambios de dirección, etc.) mientras que sólo el brazo dominante efectúa contracciones intensas y estas son muy "peculiares" en el tenis. Datos recogidos en nuestro laboratorio han demostrado que el brazo dominante de los tenistas tiene un 20 % más de masa muscular, mientras que la masa muscular del brazo no dominante es similar a la masa muscular del brazo no dominante de sujetos sedentarios de características étnicas y corporales similares a los tenistas de élite (Sanchis Moysi y cols., 1998 y López Calbet y cols., 1998). No debe sorprendernos pues, que en ejercicios bilaterales efectuados con los miembros superiores las mejoras de fuerza puedan ser espectaculares.

### Conclusiones

Los resultados de los tests al finalizar las 12 semanas de entrenamiento nos indican que la fuerza dinámica máxima mejoró con el entrenamiento realizado. En nuestro caso de estudio, la tenista obtuvo excepcionales resultados deportivos durante el año que en el que se realizó el entrenamiento de FDM, paralelamente al incremento en la FDM. Dadas las características de este deporte donde cada vez más se demandan acciones de gran potencia y explosividad no sólo al golpear la pelota sino también al desplazarse por la pista, el entrenamiento de fuerza debería tener mayor consideración en el entrenamiento físico del jugador de tenis. Son necesarias nuevas investigaciones que analicen los efectos del entrenamiento de fuerza tradicional, con ejercicios en el gimnasio, sobre el rendimiento en el tenis.

Las mejoras en la FDM pudieron verse limitadas por el desentrenamiento que ocasiona la competición sobre la FDM (Häkkinen y Komi, 1983a y 1983b; Häkkinen y cols., 1985 y Schmidtbleicher 1992). Es posible que la eliminación total del en-

trenamiento de fuerza durante la competición pueda afectar negativamente al rendimiento físico el resto de la temporada, en tenistas de alto nivel. Tal vez, el entrenamiento controlado de FDM en tenistas más jóvenes que están en progresión ayudaría a mejorar su rendimiento.

### Bibliografía

- Adams, M. A.; Hutton, W. C. y Stott, M. A.: "The resistance to flexion of the lumbar intervertebral joint", *Spine*, 5 (1980), pp. 245-253.
- Anderson, J. P.: *An electromyographic study of ballistic movement in the tennis forehand drive*, tesis doctoral no publicada, University of Minnesota, 1970.
- Asmussen, E.; Bonde-Petersen, F. y Jorgensen, K.: "Mechano-elastic properties of human muscles at different temperatures", *Acta Physiol Scand*, 96 (1976), pp. 83-93.
- Aura, O. y Komi, P. V.: "Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise", *Int J Sports Med*, 7 (1986), pp. 137-143.
- Bartlett, R. M.: "The definition, design, implementation and use of a comprehensive sports biomechanics software package for the Acorn Archimedes computer", en M. Nosek; D. Sojka; W. E. Morrison y P. Susanka, *Biomechanics in Sports: Proceedings of the VIIIth International Symposium of the Society of Biomechanics in Sports*, Conex, Prague, 1990, pp. 273-278.
- Beillot, J.; Rochongar, P.; Briend, M. G. y Le Bars, R.: "Tennis: Etude Cinematographique et electromyographique d'un gest: Le service", *Medicine du sport*, 52 (1978), pp. 199-204.
- Berger, R.: "Effect of varied weight training programs on strength", *Res Q*, 33 (1962), pp. 168-181.
- Blimkie, C.: "Age-and sex-associated variation in strength during childhood: anthropometric, morphologic, neurologic, biomechanical, endocrinologic, genetic, and physical activity correlates", en C. V. Gisolfi; D. R. Lamb, *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, 2, Youth, Exercise and Sport, Indianapolis, Benchmark Press, 1989, pp. 99-163.
- Bogduk, N. y Macintosh, J. E.: "The applied anatomy of the thoracolumbar fascia", *Spine*, 2 (1984), pp. 164-170.



- Brannigan, M. y Adali, S.: "Mathematical modelling and simulation of a tennis racket", *Med Sci Sports Exerc*, 13(1) (1981), pp. 44-53.
- Cavagna, G. A.; Thys, H. y Zamboni, A.: "The sources of external work in level walking and running", *J. Physiol*, 262 (1976), pp. 639-657.
- Cavagna, G. A.: "Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle", *Exerc Sports Sci*, 5 (1978), pp. 89-129.
- "Clinics in sports medicine", *Raquet sports*, 14 (enero de 1995).
- Colliander, E. B. y Tesh, P. A.: "Bilateral eccentric and concentric torque of the quadriceps and hamstring muscles in females and males", *Eur J Appl Physiol*, 59 (1989), pp. 227-232.
- : "Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training", *Acta Physiol Sca*, 140 (1990), pp. 31-39.
- Delavier, F.: *Guía de los movimientos de musculación*, Paidotribo, 2ª ed., 2000.
- Dorado García, C.; Sanchis Moysi, J.; Chavarren Cabrero, J. y López Calbet, J. A.: "Efectos de la administración de suplementos de creatina sobre el rendimiento", *Archivos de Medicina del Deporte*, 14 (1997), pp. 213-221.
- Dorado García, C.; Dorado García, N. y Sanchis Moysi, J.: *Análisis funcional de la musculatura abdominal. Propuesta práctica de ejercicios*, Barcelona: Paidotribo, 2001 (A).
- Dorado García, C.; Sanchis Moysi, J. y López Calbet, J. A.: "Bone mineral content and density in master tennis players: gender differences", *Book of abstracts, 6Th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Departamento de Educación Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España, 2001 (B), p. 1263.
- Dudley, G. A.; Tesh, P.; Miller, B. y Buchanan, P.: "Importance of eccentric actions in performance adaptations to resistance training", *Aviat Espace Environ Med*, junio de 1991, pp. 543-550.
- Edman, K. A. P.; Elcinga, G. y Noble, M. I. M.: "Enhancement of mechanical performance by stretch during tetanic contractions of vertebrate skeletal muscle fibres", *J. Physiol*, 281 (1978), pp. 139-155.
- Elliot, B.: "Biomechanics: the key to performance optimisation and injury reduction in tennis", *Book of abstracts, 6Th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Department of Human Movement and Exercise Science, The University of Western Australia, 2001, p. 169.
- Faigenbaum, A.; Westcott, W. y Micheli, L.: "The effects of strength training and detraining on children", *J. Strength Conditioning Res.*, 10 (1996), pp. 109-114.
- Faigenbaum, A.; Zaichkowsky, L.; Westcott, W.; Micheli, L. y Fehlandt, A.: "The effects of a twice per week strength training program on children", *Pediatr Exerc Sci.*, 5 (1993), pp. 339-346.
- Faigenbaum, A. D.; Wayne, L.; Westcott, W.; Loud, R. L.; Longk, C.: "The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children", *Pediatrics*, 104 (1) e5, julio de 1999.
- Farfan, H. F.: "Biomechanics of the Spine in Sports", en R. G. Watkins (eds.), *The Spine in Sports*, Mosby, St. Louis Missouri, 1995, pp. 13-22.
- Ferrauti, A.; Pluim, B. M. y Weber, K.: "The effect of recovery duration on running speed and stroke quality during intermittent training drills in elite tennis players", *J Sports Sci*, 19 (4) (abril de 2001), pp. 235-42.
- Gardiner, P. F.: "Endurance training of the neuromuscular system", *Neuromuscular aspects of physical activity, Human Kinetics*, Cap. 4, 2001, pp. 112-128.
- González Badiño, J. J.: "Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento", *Revista de Entrenamiento Deportivo (RED)*, tomo XIV, 1 (2000), pp. 5-16.
- Grabner, M. D.; Groppe, J. L. y Campbell, K. R.: "Resultant tennis ball velocity as a function of off-center impact and grip firmness", *Med Sci Sports Exerc*, 15 (6) (1983), pp. 542-544.
- Groppe, J. L.: *A kinematic analysis of the tennis one-handed and two-handed backhand drives of highly-skilled female competitors*, Tesis doctoral no publicada, Florida State University, 1978.
- : "The Biomechanics of Tennis: An Overview", *International Journal of Sport Biomechanics*, 2 (1986), pp. 141-155.
- Groppe, J.; Loehr, J.; Melville, S. y Quinn, A.: "Science of coaching tennis", *Human Kinetics*, 1989, Campaign, III.
- Gunderson, B. S.: *An electromyographic study of selected muscles in the tennis backhand drive*, Tesis doctoral no publicada, Texas Woman's University, 1972.
- Guy, J. A. y Micheli, L. J.: "Strength training for children and adolescents", *J Am Acad Orthop Surg*, 9 (1) (enero-febrero de 2001), pp. 29-36.
- Hakkinen, K. y Komi, P. V. (A): "Electromyographic changes during strength training and detraining", *Med Sci Sports Exerc*, 15 (6) (1983), pp. 455-460.
- (B): "Alterations of mechanical characteristics of human skeletal muscle during strength training", *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50 (2) (1983), pp. 161-72.
- Hakkinen, K.; Alen, M. y Komi, P. V.: "Changes in isometric force – and relaxation-time, electromyographic and muscle fibers characteristics of human muscle during strength training and detraining", *Acta Physiologica Scandinava*, 125, 1985, pp. 573-85.
- Hakkinen, K. y Kallinen, M.: "Distribution of strength training volume into one or two daily sessions and neuromuscular adaptations in female athletes", *Electromyogr Clin Neurophysiol*, 34 (2) (marzo de 1994), pp. 117-124.
- Hakkinen, K.; Kallinen, M.; Linnamo, V.; Pastinen, U. M.; Newton, R. U. y Kraemer, W. J.: "Neuromuscular adaptations during bilateral versus unilateral strength training in middle-aged and elderly men and women", *Acta Physiol Scand*, 158 (1), septiembre de 1996, pp. 77-88.
- Horita, T.; Komi, P. y Avela, J.: "Neuromuscular adaptation pattern during exhaustive stretch-shortening cycle exercise", *Book of abstracts, 6Th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Department of Physical Education, Faculty of Education, Toyama University, Japan, 2001, p. 298.
- Hortobágyi, T.; Hill, J. P.; Houmard, J. A.; Fraser, D. D.; Lambert, N. J. y Israel, R. G.: "Adaptative responses to muscle lengthening and shortening in humans", *J Appl Physiol*, 80 (1996), pp. 765-772.
- Knudson, D. y Blackwell, J.: "Trunk muscle activation in open stance and square stance tennis forehands", *Int J Sports Med*, 21 (5) (julio de 2000), pp. 321-324.
- Komi, P. V.: "Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic and mechanical factors", *International Journal of Sports Medicine*, 7 (1986), pp. 10-15.
- Kraemer, W. J.; Ratamess, N.; Fry, A. C.; Triplett-Mcbride, T.; Koziris, L. P.; Bauer, J. A.; Lynch, J. M. y Fleck, S. J.: "Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players", *Am J Sports Med*, 28 (5) (septiembre-octubre de 2000), pp. 626-633.
- Kunttgen, H. G. y Komi, P.: "Basic definitions for exercise. Strength and power in sport", en P. Komi (eds.), *Blackwell Scientific Publications*, parte 1, 1 (1992), pp. 3-9.



- Liu, Y. K.: "Mechanical analysis of racket and ball during impact", *Med Sci Sports Exerc*, 15 (5) (1983), pp. 388-92.
- Lillegard, W.; Brown, E.; Wilson, D.; Henderson, R. y Lewis, E.: "Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: effects of gender and maturity", *Pediatr Rehabil*, 1 (1997), pp. 147-157
- López Calbet, J. A.; Arteaga Ortiz, R.; Dorado García, C. y Chavarren Cabrero, J.: "Comportamiento mecánico del músculo durante el ciclo estiramiento-acortamiento. I Aspectos biomecánicos", *Arch Med Deporte*, 12 (1995a), pp. 133-142.
- : "Comportamiento mecánico del músculo durante el ciclo estiramiento-acortamiento. II Factores neuromusculares", *Arch Med Deporte*, 12 (1995b), pp. 219-223.
- López Calbet, J. A.; Sanchis Moysi, J.; Dorado García, C. y Rodríguez, L. P.: "Bone mineral content and density in professional tennis players", *Calcif Tissue Int*, 62 (1998), pp. 491-496.
- Mc Laughlin, T.: "Load sharing in the forearm muscles prior to impact in tennis backhand strokes", *Unpublished doctoral dissertation*, University of Illinois, 1978.
- Moritani, T. y Devries, H.: "Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain", *Am J Phys Med*, 58 (3) (junio de 1979), pp. 115-130.
- Moritani, T.; Muramatsu, S. y Muro, M.: "Activity of motor units during concentric and eccentric contractions", *Am J Phys Med*, 66 (6) (diciembre de 1987), pp. 338-50.
- Moritani, T. y Muro, M.: "Motor unit activity and surface electromyogram power spectrum during increasing force of contraction", *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56 (3) (1987), pp. 260-265.
- Moritani, T.: "Time course of adaptations during strength and power training", *Strength and power in sport*, en P. Komi (eds.), *Blackwell Scientific Publications*, part 3, 9B (1992), pp. 266-279.
- Naciri, M. V.; Roi, G. S.; Landoni, L.; Minetti, A. E. y Cerretelli, P.: "Changes in force, cross sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human cuadriceps", *Eur J Appl Physiol*, 59 (1989), pp. 310-319.
- Ozmun, J.; Mikesky, A. y Surburg, P.: "Neuromuscular adaptations following prepubescent strength training", *Med Sci Sports Exerc*, 26 (1994), pp. 510-514.
- Papadopoulos, C.; Prassas, S.; Gkantiraga, E.; Emmanouilidou, M.; Komsis, G. y Kazakas, P.: "Evaluation of a specific training program on characteristics of physical conditioning relating to strength and speed in young tennis players", *Book of abstracts, 6Th Annual Congress of the European College of Sport Science*, Köln 2001, p. 1239, Aristoteles University of Thessaloniki, Serres, Greece; Colorado State University, Fort Collins, USA.
- Pfeiffer, R. y Francis, R.: "Effects of strength training on muscle development in prepubescent, pubescent and postpubescent males", *Phys Sports Med*, 14 (1986), pp. 134-143.
- Quinn, A. M.: *Abdominal and lower back muscle involvement in selected tennis strokes*, Master's Thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1986.
- Ramsay, J.; Blimkie, C.; Smith, K.; Garner, S. y Macdougall, J.: "Strength training effects in prepubescent boys", *Med Sci Sports Exerc*, 22 (1990), pp. 605-614.
- Roetert, P. y Ellenbecker, T. S.: "Testing Tennis Fitness. Complete conditioning for tennis", en *United States Tennis Association*, Human Kinetics (eds.), cap. 2, 1998, pp. 7-31.
- Roswal, G.: *A cinematographic analysis of one-handed and two-handed tennis backhand strokes*, tesis de master no publicada, 1974, University of Florida.
- Sailors, M. y Berg, K.: "Comparison of responses to weight training in pubescent boys and men", *J Sports Med*, 27 (1987), pp. 30-37.
- Sewall, L. y Micheli, L.: "Strength training for children" *J Pediatr Orthop*, 6 (1986), pp. 143-146.
- Silvester, L.; Stiggins, C. y MCGown, C.: "Effect of variable resistance and free weight training programs on strength and vertical jump", *Natl Strength Conditioning Assoc J*, 3 (1981), pp. 30-33.
- Sale, D.: "Strength training in children", en C. V. Gisolfi, D. R. Lamb (eds.), *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, Indianapolis, Benchmark Press, 1989, pp. 165-216.
- Sanchis Moysi, J.; García-Lleó, F.; Dorado García, C.; Chavarren Cabrero, J. y López Calbet, J. A.: "Factores condicionales determinantes del rendimiento en el tenis", *Revista de Entrenamiento Deportivo (RED)*, Tomo XI, 1 (1996), pp. 33-39.
- Sanchis Moysi, J.; Dorado García, C. y Calbet, J. A. L.: "Regional body composition in professional tennis players", en A. Lees, I. Maynard, M. Hughes, T. Reilly (eds.), *Science and Racket Sports II*, E. & F. N. Spon, London, 1998, pp. 34-39.
- Sanchis Moysi, J.: *Fatiga muscular y eficiencia energética en seres humanos*, Tesis Doctoral, Departamento de Educación Física, 1998, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Sanchis Moysi, J.: "Control nervioso de las contracciones musculares excéntricas. Avances en Ciencias del Deporte", en: J. A. López Calbet y C. Dorado García (eds.), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 1999, pp. 81-91.
- Sanchis Moysi, J.; Dorado García, C. y Calbet, J. A. L.: "High femoral neck bone mass and density in master tennis players", *Medicine and Science in Tennis*, 5 (1) (2000), p. 7.
- Sanchis Moysi, J.; Dorado García, C. y López Calbet, J. A.: "La evaluación de la condición física en el tenis", *Revista de Entrenamiento Deportivo (RED)*, tomo XIV, 2 (2000), pp. 27-39.
- Sanchis Moysi, J.; López Calbet, J. A. y Dorado García, C.: "Lack of improvement in bone mass at the lumbar spine and hip with life-time tennis participation in post-menopausal tennis players", *3rd European Congress on Sports Medicine and Science in Tennis*, Book of abstracts, Barcelona, 2001 (A), p. 129.
- Schantz, P. G.; Moritani, T.; Karlson, E.; Johansson, E. y Lundh, A.: "Maximal voluntary force of bilateral and unilateral leg extension", *Acta Physiol Scand*, 136 (2) (junio de 1989), pp. 185-192. Department of Physiology III, Karolinska Institute, Stockholm, Sweden.
- Schmidtbleischer, D.: "Strength training", Partes 1 y 2, *Sports-Science Periodical on Research and Technology in Sport*, Strength W4.
- Schmidtbleischer, D.: "Training for power events. Strength and power in sport", en P. Komi (eds.), *Blackwell Scientific Publications*, part 5, 18 (1992), pp. 381-394
- Shields, R. K. y Heiss, D. G.: "An Electromyographic comparison of abdominal muscle synergies during curl and double straight leg lowering exercises with control of the pelvic position", *Spine*, 22 (1997), pp. 1873-1879.
- Van Gheluwe, B. y Hebbelinck, M.: "Muscle Actions and Ground Reaction Forces in Tennis", *International Journal of Sport Biomechanics*, 2 (1986), pp. 88-99.
- Westcott, W.: "Female response to weight lifting", *J Phys Educ*, 77 (1979), pp. 31-33.