



FACULTAD DE SALUD

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

TESIS DOCTORAL

**DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LAS CARGAS DE COMPETICIÓN
EN JÓVENES TENISTAS Y ESTRATEGIAS
PARA OPTIMIZAR SU RENDIMIENTO**

DOCTORANDO

CÉSAR GALLO SALAZAR

DIRECTORES

DR. DAVID SANZ RIVAS

DR. JUAN DEL COSO GARRIGÓS

Madrid, marzo de 2017

Agradecimientos

Gracias.

A todas las Instituciones, y sus responsables, que de una manera u otra han posibilitado que hoy esté escribiendo estas líneas. A la Universidad Camilo José Cela y a la Institución SEK por ser mi “casa” desde 2005, por permitirme llevar a cabo esta Tesis Doctoral. A la Federación de Tenis de Madrid, con “Tati” Rascón y Ana Salas como cabezas visibles, y a la escuela de tenis del UCJC Sports Club, con Alberto Díez y Alfonso García al frente, por su apoyo y colaboración, haciendo “míos” sus instalaciones y jugadores. A la Real Federación Española de Tenis, a través de David Sanz, por abrirme las puertas de esta institución y por su asesoramiento continuo. Al Centro de Investigación del Deporte de la Universidad Miguel Hernández de Elche, con Jaime Fernández-Fernández al frente, por su profesionalidad, colaboración y trabajo en equipo.

A todos los tenistas que han formado parte de las investigaciones, por entregarse al máximo en cada una de las pruebas. Habéis sido los verdaderos protagonistas.

A todos los coautores de las investigaciones incluidas en esta Tesis Doctoral, por su implicación en las distintas fases de los experimentos. Sin vuestra colaboración hubiera sido imposible llegar hasta aquí.

A Ricky Boxall y Adrian O'Connor por su ayuda con la revisión del idioma.

A Jaime Fernández-Fernández, por poner su equipo a nuestra disposición, por su grado de implicación en mi aprendizaje y por sus horas de dedicación y asesoramiento en una buena parte de este proceso.

Al grupo de investigación del Laboratorio de Fisiología del Ejercicio. Juan Del Coso, Juanjo Salinero, Francisco Areces, Beatriz Lara, Diana Ruiz-Vicente, Javier Abián-Vicén, Cristina González-Millán, por meterme el gusanillo de la Ciencia en el cuerpo. Por enseñarme todo lo que sabéis y permitirme aprender de vosotros. Por todos esos momentos duros, pero satisfactorios, de trabajo de campo en equipo.

A mis compañeros y amigos del “*chándal*”. Juanfran, Rober, Bea, David “*Fiti*”, Diana, Teresa, David Sanz, Juanjo, Pacho y Juanito. Porque gran parte de la motivación de seguir creciendo en la Universidad se debe a vuestra presencia. Gracias por todos vuestros consejos.

A Juanjo Salinero por su paciencia, predisposición y ayuda con todas las dudas. Un ejemplo de generosidad y actitud positiva.

A Diana por haberme enseñado en estos años que hay que trabajar haciendo las cosas bien sin otra recompensa final que la satisfacción personal del trabajo bien hecho.

A Pacho y Bea, porque cuando uno se embarca en una aventura desconocida en la que no hay referencias claras de por dónde avanzar, lo duro es ir en cabeza y abrir camino. Con migas de pan en el suelo es mucho más fácil avanzar. Gracias por vuestro apoyo, por marcar la ruta y servir de inspiración.

A mis directores de Tesis, Dr. Juan Del Coso y Dr. David Sanz Rivas, por confiar en mis posibilidades. Por concederme gran parte de su valioso tiempo. Por saber compaginar las facetas de directores, colegas de profesión y amigos. Por ser un referente académico y profesional. Gracias Juan, por tu enorme generosidad y por no conformarte solo con que pudiera llegar a obtener el título el Doctor, sino por hacerme comprender su significado y lo que lleva implícito. Gracias David, por transmitirme tanto conocimiento y pasión por este deporte al que tanto has aportado y por ofrecerme continuas oportunidades de desarrollo en él.

A mi familia. Paula, Paloma, Nena, Carmen, Nacho, Clau, Marti y Ñako. Por vuestro cariño y apoyo constante, y por esos ratos de desconexión juntos. Especialmente a mis padres, César y Paloma, por transmitirme tantos valores. Por permitirme fallar y darme el apoyo necesario para rectificar y dedicarme a esta pasión llamada deporte. Por estar siempre ahí. Por ser un referente. Os quiero.

A mi hija Daniela, porque a pesar de no ser aún consciente de todo esto, es uno de los motores más importantes de mi vida y la mayor motivación para cerrar esta etapa. Espero poder devolverte con creces este tiempo que te estoy robando.

A mi mujer, Cristina, por acompañarme en este viaje. Por estar a mi lado. Por aceptar mis manías. Por regalarme el proyecto más bonito de nuestras vidas. Sin duda, no habría podido llegar a este punto de no haber sido por tu ayuda, apoyo y comprensión. Somos el mejor equipo y podemos con lo que nos propongamos, y más ahora que vamos a ser cuatro... Te quiero.

ÍNDICE

Abreviaturas utilizadas	7
Índice de tablas	8
Índice de figuras	9
Resumen	13
Abstract	15
1. Justificación	19
2. Introducción	25
2.1. Desarrollo madurativo y pico de rendimiento en el tenis	25
2.2. Indicadores de rendimiento en el tenis	29
2.3. El tenis de competición como objeto de estudio	35
2.3.1. Estructura temporal y patrones de actividad y movimiento en un partido de tenis de competición real o simulada	35
2.3.2. Demandas fisiológicas en un partido de tenis	37
2.3.3. Factores influyentes en el patrón de actividad de un partido de tenis	38
2.3.4. Fatiga en un partido de tenis de competición real o simulada	42
2.4. La cafeína como ayuda ergogénica en el tenis	49
2.4.1. Cafeína	50
2.4.2. Cafeína y rendimiento deportivo	52
2.4.3. Cafeína en deportistas menores de edad	55
2.4.4. Tenis y cafeína	56
3. Objetivos e hipótesis	63

4. Estudios aplicados	67
4.1. Estudio 1	
EL TENIS PROFESIONAL ENVEJECE: EDAD DE LOS 100 PRIMEROS JUGADORES DEL RANKING	71
Objetivos	71
Material y métodos	71
Resultados	72
4.2. Estudio 2	
PATRONES DE ACTIVIDAD Y DESPLAZAMIENTO DE TENISTAS JÓVENES DE COMPETICIÓN EN UNA COMPETICIÓN SIMULADA CON DOS PARTIDOS EN UN MISMO DÍA	77
Objetivos	77
Material y métodos	77
Resultados	81
4.3. Estudio 3	
EFFECTO DE UNA COMPETICIÓN SIMULADA CON DOS PARTIDOS EN UN MISMO DÍA SOBRE EL RENDIMIENTO FÍSICO EN TENISTAS JÓVENES DE COMPETICIÓN	85
Objetivos	85
Material y métodos	85
Resultados	93
4.4. Estudio 4	
LAS BEBIDAS ENERGÉTICAS CON CAFEÍNA COMO AYUDA ERGOGÉNICA EN TENISTAS JÓVENES DE COMPETICIÓN	97
Objetivos	97
Material y métodos	97
Resultados	102
5. Discusión	107
6. Conclusiones	129
7. Bibliografía	133
8. Anexos	161

Abreviaturas utilizadas

ACC: Aceleraciones.

ABD: Abducción.

ADD: Aducción.

ANOVA: *Analysis of variance*, o análisis de la varianza, por sus siglas en inglés.

ATP: *Association of Tennis Players*, por sus siglas en inglés.

CI: Intervalo de confianza.

CK: Creatina quinasa.

CMJ: *Countermovement Jump*, o salto con contramovimiento, por sus siglas en inglés.

DEC: *Deceleraciones*.

DR: *Duration of Rally*, o duración del punto, por sus siglas en inglés.

EFSA: *European Food Safety Association*, por sus siglas en inglés.

EPT: *Effective Play Time* o tiempo efectivo de juego, por sus siglas en inglés.

ER: Rotación externa.

ES: *Size Effect*, o tamaño del efecto, por sus siglas en inglés.

FC: Frecuencia Cardíaca.

GPS: *Global Positioning System*, por sus siglas en inglés.

H⁺: iones de Hidrógeno.

ICC: Coeficiente de correlación intraclase.

ITF: *International Tennis Federation*, por sus siglas en inglés.

IR: Rotación interna.

JCR: *Journal Citation Report*.

lpm: Latidos por minuto.

Máx.: Máximo/a.

ML: Máquina lanzabolas.

pH: Potencial Hidrógeno o Potencial de Hidrogeniones.

Pi: Fosfato inorgánico.

Q: *Quartile*, o cuartil, por su sigla en inglés.

RAE: *Relative Age Effect* o efecto de edad relativa, por sus siglas en inglés.

RM: Repetición máxima.

ROM: *Range of Motion*, o rango de movimiento, por sus siglas en inglés.

RPE: *Rate of Perceived Exertion*, o percepción subjetiva del esfuerzo.

RSA: *Repeated Sprints Ability*, o capacidad de repetir sprints, por sus siglas en inglés.

RT: *Rest Time*, o tiempo de descanso entre puntos, por sus siglas en inglés.

SNC: Sistema Nervioso Central.

SR: *Shots per rally*, o golpes por punto, por sus siglas en inglés.

TPT: Tiempo total de partido.

u.a.: Unidades arbitrarias.

VO₂: Consumo de oxígeno.

W:R ratio: *Work to Rest ratio*, o ratio trabajo-descanso, por sus siglas en inglés.

WTA: *Women's Tennis Association*, por sus siglas en inglés.

Z: Zona.

[La]: Concentración de Lactato.

Índice de tablas

Tabla 1. Datos de asistencia, ingresos y premios en metálico de los cuatro torneos del <i>Grand Slam</i> de Tenis correspondientes al año 2015.	19
Tabla 2. Resumen sobre el patrón de actividad, patrón de desplazamiento y características fisiológicas en jugadores adultos y jóvenes en el tenis.	41
Tabla 3. Contenido de cafeína en alimentos de la dieta cotidiana.	51
Tabla 4. Resumen de las investigaciones sobre el efecto de la cafeína en el tenis hasta la fecha de escritura de la presente Tesis Doctoral.	58
Tabla 5. Resumen de la metodología llevada a cabo y principales resultados obtenidos en los cuatro estudios de la presente Tesis Doctoral.	68
Tabla 6. Resumen de la revista, año de publicación, cuartil y factor de impacto <i>Journal Citation Report</i> (JCR) de los artículos incluidos en la presente Tesis Doctoral.	69
Tabla 7. Distribución de frecuencias por franjas de edad de los jugadores del top100 de los rankings del circuito masculino y femenino en las últimas décadas.	76
Tabla 8. Diferencias en el patrón de actividad y compromiso fisiológico de tenistas jóvenes entre partidos de sesión de mañana y tarde jugados en un mismo día.	82
Tabla 9. Diferencias en el patrón de movimiento y compromiso fisiológico entre ganadores y perdedores de partido en una competición de jugadores jóvenes con dos partidos en un mismo día.	83
Tabla 10. Valores pre y post-competición de los test de sprint de 10 m, test de agilidad 5-0-5 modificado, test de altura de salto en CMJ y test de velocidad máxima de servicio.	94
Tabla 11. Valores pre y post-competición de los test de rango de movimiento (ROM) de hombro, test de fuerza de hombro, test de fuerza de prensión manual y fuerza isométrica de cadera.	95
Tabla 12. Fuerza de prensión manual, velocidad de servicio y velocidad máxima y media de carrera durante el test RSA (8x15m) con la ingesta de bebida energética con cafeína (dosis de 3 mg·kg ⁻¹ de peso) o la misma bebida sin cafeína (placebo).	102
Tabla 13. Variables de rendimiento físico y fisiológico durante un partido de competición simulada al mejor de 3 sets tras la ingesta de una bebida energética	

con un contenido de cafeína (dosis de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso), o con la misma bebida sin cafeína (placebo). 103

Tabla 14. Análisis notacional de un partido de competición simulada al mejor de 3 sets tras la ingesta de una bebida energética con un contenido de cafeína (dosis de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso), o la misma bebida sin contenido de cafeína (placebo). 104

Índice de figuras

Figura 1. Zona de test de sprint y agilidad en las instalaciones del UCJC Sports Club. 21

Figura 2. Clasificación de indicadores de rendimiento en el tenis en base a literatura científica revisada. 30

Figura 3. Mecanismos causantes de fatiga. 43

Figura 4. Efecto de la cafeína sobre los sistemas del cuerpo humano y sobre el rendimiento deportivo. Traducido de Sokmen et al. (2008). 53

Figura 5. Evolución de la edad media de los jugadores incluidos en el top100 del ranking de los circuitos ATP y WTA desde 1984 y 1998, respectivamente (Figura 5A). Edad de acceso por primera vez al top100 del ranking de ambos circuitos, desde el año 1985, masculino, y 1999, femenino (Figura 5B). 73

Figura 6. Edad media a la que los jugadores incluidos en el top100 del ranking de los circuitos ATP y WTA lograron su pico de rendimiento, de acuerdo al mejor ranking alcanzado en su carrera. 74

Figura 7. Distribución de la frecuencia por edades, en intervalos de 1 año, de los jugadores del top100 de los circuitos ATP y WTA en sus respectivos años de análisis. 75

Figura 8. Colocación del peto de neopreno en el que van incorporados el dispositivo GPS y el receptor de FC para la monitorización del patrón de movimiento en partido. 79

Figura 9. Diferencias en el patrón de movimiento de tenistas jóvenes entre partidos de sesión de mañana y tarde jugados en un mismo día. 81

Figura 10. Equipo investigador, equipo técnico y participantes del estudio 3. 86

Figura 11. Diseño del estudio 3 y protocolo experimental. 88

Figura 12. Momento de realización de los test de ROM de hombro y test de fuerza máxima voluntaria isométrica de hombro y cadera. 90

Figura 13. Botes con codificación alfanumérica utilizados para suministrar de manera ciega la bebida energética con contenido en cafeína o placebo y dispositivos GPS utilizados para la monitorización de los partidos. 99

Figura 14. Distancias recorridas en diferentes zonas de velocidad durante un partido de competición simulada al mejor de 3 sets tras la ingesta de una bebida energética con un contenido de cafeína ($3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso), o la misma bebida sin contenido de cafeína (placebo). 103



RESUMEN



El afán por la búsqueda de la excelencia deportiva y la llegada al profesionalismo está provocando en el tenis una cada vez más temprana especialización deportiva. Para ello, los jóvenes tenistas deben enfrentarse, a largo de una temporada, a calendarios enormemente exigentes sin un control adecuado de las cargas de trabajo. Estas situaciones implican la disminución del rendimiento, teniendo que recurrir a la búsqueda de estrategias que ayuden a mitigar estos efectos.

En la presente Tesis Doctoral se presentan cuatro estudios científicos de carácter multidisciplinar. Uno de ellos basado en jugadores y jugadoras profesionales. Los otros tres, todos ellos estudios ecológicos, llevados a cabo con tenistas jóvenes de competición. El primer estudio analizó el patrón evolutivo de la edad de los 100 mejores tenistas profesionales del circuito masculino y femenino en las últimas décadas. Se observó un incremento progresivo de la edad promedio en ambos circuitos, así como el retraso en el acceso y en el pico de rendimiento de los jugadores incluidos en estas posiciones de privilegio. El segundo estudio comparó los patrones de actividad y desplazamiento realizado por tenistas jóvenes a lo largo de una competición simulada con dos partidos en un mismo día. Ambos patrones fueron diferentes en los dos partidos (i.e., mayor duración, mayor distancia total recorrida, más acciones de aceleración y deceleración, mayores tiempos de descanso entre puntos y mayor esfuerzo percibido por los jugadores en el partido de la sesión de tarde frente al de la mañana). Se observaron escasas diferencias entre los ganadores y perdedores de los partidos (i.e., mayor velocidad máxima obtenida por aquellos que perdieron los partidos). El tercer estudio analizó el efecto provocado por un día de competición con dos partidos sobre el rendimiento de jugadores jóvenes, concluyendo que dicha carga competitiva provocó déficits neuromusculares en tren superior (i.e., disminución de la producción de fuerza y variación de rangos de movimiento de hombro) e inferior (i.e., disminución de la altura de salto, de la velocidad de sprint y de la velocidad de cambio de dirección). Por último, el cuarto estudio buscó determinar el posible efecto ergogénico que provoca una bebida energética con 3 mg de cafeína por kg de peso corporal sobre el rendimiento en tenistas jóvenes, evidenciando la mejora de variables implicadas en el rendimiento

neuromuscular (i.e., incremento de la fuerza de prensión manual, de la distancia recorrida a alta intensidad y del número de sprints) y técnico (i.e., mayor porcentaje de puntos ganados con el servicio).

A la luz de estos resultados, se podrían sugerir ciertas estrategias que podrían favorecer el desarrollo deportivo de los tenistas jóvenes, en aras de lograr un mejor rendimiento competitivo y carreras deportivas más saludables y longevas. En primer lugar, contemplar el inicio de la especialización deportiva teniendo en cuenta el pico de rendimiento del tenis profesional; en segundo lugar, monitorizar y adecuar las cargas de entrenamiento respecto a las cargas observadas en competiciones con más de un partido en el mismo día; en tercer lugar, inculcar el trabajo de recuperación y prevención neuromuscular inter y post-partido en ese tipo de competiciones, y llevarlas al entrenamiento; y por último, profundizar en el uso de la cafeína como posible estrategia nutricional de mejora del rendimiento en el tenis a través de la adaptación y el control de los posibles efectos secundarios.

ABSTRACT

The eagerness in the pursuit of sporting excellence and professional careers is causing an increasing tendency for early sport specialization in tennis. This implies high levels of competitiveness from the early stages for young tennis players, resulting in compromising training sessions and long demanding competitive schedules through the year. All these situations lead to the increased likelihood of fatigue and hence performance decreasing.

This Doctoral Thesis presents four multidisciplinary scientific investigations. One of them was based on professional tennis players and the remaining three, all ecological, were based on young tennis players of national level. The first study focused on the age-related factors of the top100 ranked players over the last decades. It was observed that professional tennis players have progressively got older in recent decades and top100 ranking positions are achieved at older ages. Female tennis is more precocious than male tennis. The second study compared match activity and movement profile of young tennis players in a competition with two consecutive matches in the same day. Both profiles were different depending on the session of play (i.e., longer matches, higher total distance covered, higher number of accelerations/decelerations, longer recovery times between points and higher rates of perceived exertion during evening matches). There were observed slight differences between winners and losers (i.e., higher peak velocity in losers). The third study analyzed the effect of a competition with two consecutive matches in a day on performance in young tennis players. Impairments occurred in neuromuscular performance variables involving lower (i.e., decrements in jumping, sprinting and change of direction abilities) and upper (i.e., reduction in strength production and variations in range of motion) limbs the day after the competition. The fourth study aimed to determine the effectiveness of an energy drink with 3 mg of caffeine per kg of body mass on performance in young tennis players. In comparison to a placebo, energy drink ingestion showed improvements in neuromuscular (i.e., handgrip strength, high intensity distance and number of sprints) and technical (i.e., higher percentage of serving points won) performance.

Present outcomes might point to the need of putting into practice certain strategies which benefit young tennis players and their development, with improvement in their health and competitive performances. Firstly, looking upon the ages at which peak performance is achieved in professional tennis before recommending the beginning of sport specialization. Secondly, monitoring and adapting training loads to real competition loads overall in competitions with more than one match within a day; highlighting and emphasizing the importance of neuromuscular recovery and preventive work in-between and after-competition. Lastly, exploring the use of caffeine as a nutritional ergogenic strategy to improve performance and decrease fatigue in young tennis players, based on a maximal training and nutritional adaptation through side effect control.

1

JUSTIFICACIÓN



El tenis es un deporte cuya repercusión social y mediática ha ido creciendo en las últimas décadas, sobre todo en el ámbito profesional. Entre los datos más relevantes que confirman esta situación destacan, por un lado, el hecho de que siete de los veinte deportistas con más ingresos por patrocinio en 2016 son tenistas (e.g., con más de 215 millones de dólares (Forbes, 2016)); por otro, que los grandes torneos de categoría mundial (e.g., torneos de *Grand Slam*, e incluso Masters 1000), de igual modo que otros grandes eventos deportivos de otras modalidades (Bouchet, Hillairet, y Bodet, 2013), ya llegan a identificarse como marcas propias gracias a la conjunción de atención mediática, nivel deportivo de los participantes, atractivo para el público y su presencia global (Parent y Smith-Swan, 2013); y, finalmente, que la suma de las cifras de estos cuatro torneos “grandes” superan los 2 millones de asistentes o casi rozan los 900 millones de ingresos en público a lo largo de las 8 semanas de competición en la que se disputan, como se puede apreciar en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de asistencia, ingresos y premios en metálico de los cuatro torneos del *Grand Slam* de Tenis correspondientes al año 2015.

Torneo	Asistencia público (miles de personas)	Ingresos Público (millones \$)	Premios metálico (millones \$)
Australian Open	703,8	174,6	2,1
Roland Garros	463,3	204,7	1,9
Wimbledon	484,3	240,5*	2,6
US Open	691,2	253,0**	3,3

Fuente: Tabla de elaboración propia con datos obtenidos de Carter (2016).

*= datos de 2014; **= datos de 2013.

Coincidiendo con este incremento en la popularidad, en los últimos años se está observando en los circuitos profesionales la presencia de jugadores con edades superiores a los 30 años (e.g., 7 y 12 jugadores del top25 de los circuitos

profesionales femenino y masculino, respectivamente, sobrepasan esta edad en la fecha de cierre del ranking anual de 2016). Estos jugadores mantienen, hoy en día, altos niveles de rendimiento que se ven reflejados en las clasificaciones mundiales (Association of Tennis Players, 2017; Women Tennis Association, 2017).

En este sentido, la popularidad del deporte y la longevidad de los jugadores en los primeros puestos del ranking son factores que consideramos repercuten de forma directa en el tenis amateur, concretamente en los jugadores en etapas de formación que persiguen poder llegar al lugar donde hoy están sus ídolos. Este afán por llegar a convertirse en profesionales hace que los jóvenes jugadores, y sus entornos, cada vez más y desde edades más tempranas, estén sometidos a largas sesiones de entrenamiento y a calendarios competitivos excesivamente cargados. A lo largo de una temporada es frecuente encontrar semanas en las que los jugadores, además de competir durante varios días consecutivos, deben compatibilizar partidos y entrenamientos en un mismo día, llegando incluso a jugar más de un partido diario. Estas situaciones, aunque pueden ser soportadas durante un periodo de tiempo, llegan a provocar en muchos casos el efecto contrario al deseado, favoreciendo en ocasiones la aparición de lesiones reiteradas por estrés/sobreuso e incluso propiciando el abandono prematuro de la práctica deportiva (Brenner, 2007; Winsley y Matos, 2011).

El interés suscitado por todas estas cuestiones, la pasión personal del doctorando por el mundo del tenis, unidos a la posibilidad de acceso a tenistas jóvenes de competición hicieron posible plantear el objeto de estudio de la presente Tesis Doctoral, fundamentada en describir y analizar el comportamiento y el rendimiento de jugadores jóvenes de tenis de competición, y la búsqueda de estrategias de mejora de su rendimiento.

Llevar a cabo esta Tesis Doctoral a través de la modalidad de compendio de artículos, demuestra el gran interés por parte del autor, y sus directores, por trasladar los principales resultados y conclusiones a la comunidad científica y aplicarlos al mundo del tenis. En este sentido, los entrenadores y jugadores de los clubes en los que se llevaron a cabo los estudios ecológicos, Federación de Tenis de Madrid y escuela de tenis del UCJC Sports Club, recibieron informes personalizados con los resultados de cada participante y su comparación con respecto a la media obtenida por el resto de jugadores. En la Figura 1 se observa parte de la instalación del UCJC Sports Club en la que se llevaron a cabo algunos de los test del estudio 3.



Figura 1. Zona de test de sprint y agilidad en las instalaciones del UCJC Sports Club.





2

INTRODUCCIÓN

2.1

DESARROLLO MADURATIVO Y PICO DE RENDIMIENTO EN EL TENIS

La edad es uno de los parámetros que marca el inicio de la práctica deportiva. Diferentes autores incluyen la edad cronológica como uno de los principales factores que influye en el rendimiento físico de varias modalidades deportivas (Bongard, McDermott, Dallal, y Schaefer, 2007; Lara, Salinero, y Del Coso, 2014b; Malcata, Hopkins, y Pearson, 2014). En el tenis, el entrenamiento comienza en edades tempranas, implicando carreras deportivas a largo plazo en el desarrollo de aquellos jugadores que pretenden especializarse y alcanzar el máximo rendimiento deportivo. La especialización deportiva es aquella etapa en la que se entrena y compete única y exclusivamente en una modalidad deportiva durante más de 8 meses al año (Jayanthi, LaBella, Fischer, Pasulka, y Dugas, 2015; Jayanthi, Pinkham, Dugas, Patrick, y Labella, 2013). El tenis está incluido entre los deportes cuya especialización requiere la adquisición previa de ciertas habilidades y patrones motores generales (i.e., carrera, lanzamientos o golpes) que se consiguen a través de la práctica multideportiva variada previa al entrenamiento específico (Balyi y Hamilton, 2004). Recomendaciones recientes defienden no empezar a competir en tenis hasta los 12 años, entrenar menos de 12 h a la semana, participar en menos de 12 torneos al año, practicar otro deporte fuera de la temporada y participar en un programa de prevención de lesiones al menos 2 h semanales (Jayanthi et al., 2013). A pesar de esto, la realidad es que la especialización en este deporte se ha ido adelantando progresivamente, existiendo en la actualidad numerosas escuelas y clubes de tenis que ofertan entre sus servicios la iniciación al tenis para los más pequeños, con edades, incluso, por debajo de los 4 años (Sanz y Fernandez-Fernandez, 2014).

Galenson (1993) apuntó a la aparición de premios de gran cuantía económica en las competiciones, a mediados de los años 60, como uno de los motivos impulsores del entrenamiento desde etapas tempranas para alcanzar cuanto antes el máximo rendimiento. Este hecho pudo ser reforzado por los estudios que afirman que un deportista con talento necesita entre 8 y 12 años para conseguir alcanzar

la élite en su modalidad deportiva (Ericsson y Charness, 1994). Además, también pudo influir la aparición de teorías como la de la regla de las 10.000 h (Ericsson, Krampe, y Tesch-Römer, 1993), basada en la asunción de necesidad de acumulación de dicha cantidad de horas de práctica deliberada en un ámbito determinado como condición necesaria para alcanzar la excelencia en dicho ámbito. Sin embargo, dos meta-análisis recientes llevados a cabo sobre la relación entre el rendimiento y la práctica deliberada en el deporte, han puesto de manifiesto que alcanzar este número de horas de práctica deliberada tan solo explica un 18% del éxito posterior en el deporte en general (Macnamara, Hambrick, y Oswald, 2014), reduciéndose al 1% en deportistas de élite (Macnamara, Moreau, y Hambrick, 2016). Esta evidencia científica cuestiona, por tanto, la relevancia de tal regla, incidiendo en la importancia de otro tipo de factores (e.g., psicología cognitiva, psicología de la personalidad u otras áreas interdisciplinares de las Ciencias del Deporte) como responsables de la consecución del éxito.

A este respecto, también se ha estudiado el efecto que supone esta especialización temprana sobre el deportista, observándose que estas especializaciones tan precoces pueden conllevar no solo posibles desarrollos neuromusculares incompletos que impidan la prevención de lesiones físicas en una fase posterior (Myer et al., 2016), sino también perjuicios mentales. Sobreentrenamiento, lesión por sobreuso, disminución de la motivación e incluso retirada, son algunos de los efectos que se han descrito entre aquellos deportistas que se han focalizado demasiado pronto en una especialidad deportiva concreta frente a aquellos que han experimentado una mayor experiencia multideportiva temprana, siendo estos últimos a los que se asocian carreras deportivas a largo plazo más exitosas (Bahr, 2014). Fundamentada en estos datos, así como en la escasez de casos en el mundo del deporte que han conseguido éxito a nivel élite tras una especialización temprana (Epstein, 2013), la Asociación Americana de Ortopedia para la Medicina del Deporte pone de manifiesto en su posicionamiento de consenso la falta de evidencia acerca del beneficio futuro que genera una especialización excesivamente temprana en la mayoría de los deportes (LaPrade et al., 2016). En la mayoría de modalidades deportivas, los deportistas alcanzan su pico de rendimiento cuando la combinación de maduración y experiencia es óptima, aunque las edades a las que lo obtienen son diferentes para cada deporte, ya que el nivel de habilidad y demanda física que requiere cada modalidad deportiva es muy diferente (Schulz y Curnow, 1988). Los deportistas pertenecientes a deportes basados en fuerza y potencia alcanzan su pico de rendimiento en edades muy cercanas a los 20 años, mientras que deportes de resistencia y deportes basados en la habilidad obtienen su mejor rendimiento en edades más avanzadas (Berthelot et al., 2012; Bradbury, 2009; Gabbard, 2011; M. D. Hoffman y Wegelin,

2009; Hunter, Stevens, Magennis, Skelton, y Fauth, 2011; Knechtle, Rust, Rosemann, y Lepers, 2012; Schulz y Curnow, 1988). Tras alcanzar estos picos de rendimiento físico, todos los deportes presentan un descenso progresivo del rendimiento con la edad (Gabbard, 2011), asociado principalmente al progresivo descenso de las capacidades aeróbicas y anaeróbicas (Westerterp y Meijer, 2001). A este respecto, en un estudio realizado sobre los 10 mejores jugadores del ranking profesional de tenis a lo largo de casi 40 años, Guillaume et al. (2011) observaron cómo el rendimiento de estos jugadores, entendido éste como el porcentaje de victorias conseguidas a lo largo de su carrera, siguió una curva en forma de “n”, alcanzando un pico máximo a partir del cual el rendimiento comenzaba a disminuir. Esta curva, aunque más temprana en las mujeres, fue similar para ambos sexos, y para jugadores cuya carrera comenzó antes y después de 1985. Dicho pico máximo de rendimiento ha sido objeto de estudio en tenis por parte de diferentes autores (Guillaume et al., 2011; Mallet, 2010; McCraw, 2011; Reid, Crespo, Santilli, Miley, y Dimmock, 2007b; Schulz y Curnow, 1988). Todos ellos coinciden en señalar entre los 23 y 25 años en categoría masculina, y entre los 21 y 23 años en la categoría femenina (Guillaume et al., 2011; Schulz y Curnow, 1988) como franjas de edad donde se alcanza el máximo rendimiento físico y deportivo.

Mientras que Saligari (2010) sugiere que la edad media de los jugadores del top100 se ha mantenido constante desde que el ranking de la Asociación de Tenistas Profesionales (ATP) fue establecido en 1973, otros autores sugieren que la edad media de este grupo de jugadores se mantuvo relativamente estable hasta el final de los años 90, comenzando a incrementarse con el comienzo de siglo XXI (McCraw, 2009). Guillaume et al. (2011) observaron cómo, a partir de mediados de los 80, los tenistas alcanzaban su pico de rendimiento de una manera más temprana, teniendo a su vez carreras deportivas más cortas. En referencia a este hecho, concretamente a la permanencia de los jugadores en el top100, McCraw (2011) encontró que la media de años de permanencia dentro de esta clasificación era de unos 3,7 años, aunque esos datos correspondían a jugadores que previamente alcanzaron el top10 del ranking junior entre los años 1996 y 2005. Muchos de los estudios citados anteriormente están basados en análisis de datos en fechas puntuales, por lo que una investigación longitudinal podría aportar información científica sobre la evolución en los perfiles del tenista a lo largo de estos últimos años, tema que se aborda en el primer estudio de la presente Tesis Doctoral. La realización de un análisis de la tendencia y evolución de estas edades en jugadores profesionales podría suponer una información valiosa para entrenadores y jugadores de cara a mejorar programas de entrenamiento a largo plazo para tenistas jóvenes de competición. De cara a esa mejora, parece fundamental conocer cuáles son los indicadores que van a hacer que un tenista pueda llegar tener un mejor rendimiento, pasando a describirse en el siguiente capítulo.

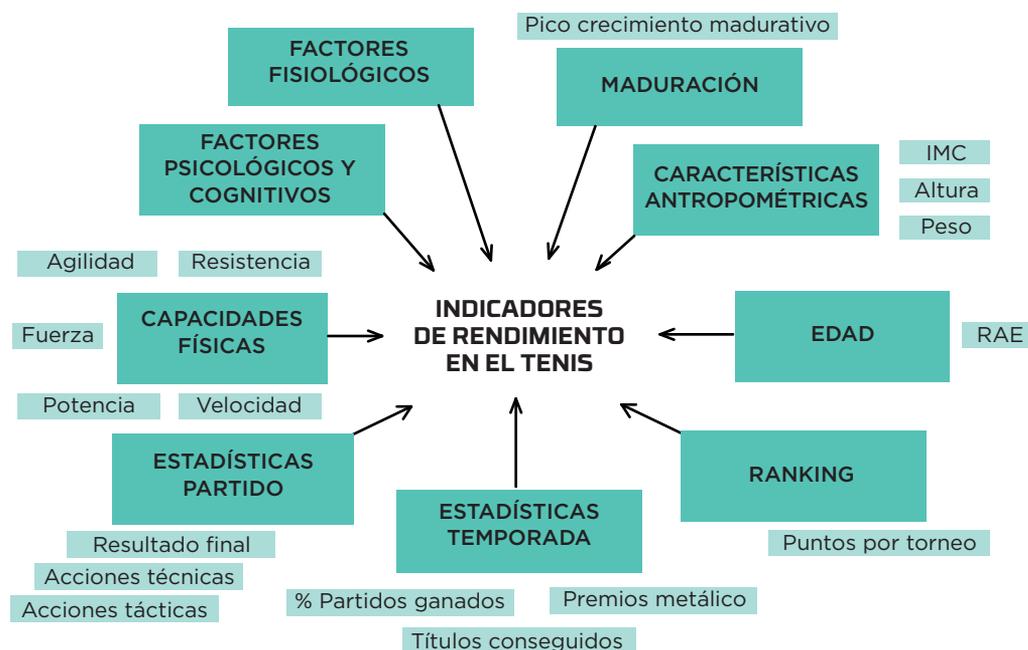


2.2

INDICADORES DE RENDIMIENTO EN EL TENIS

La evolución en las demandas fisiológicas y técnicas del tenis moderno ha contribuido a la modificación de las características físicas y morfológicas de los jugadores (Sanchez-Munoz, Sanz, y Zabala, 2007), así como a la variación en los indicadores de rendimiento asociados a la edad (Guillaume et al., 2011). Como se puede apreciar en la literatura científica relacionada con este tema, dentro del tenis se han estudiado diferentes factores que actúan como posibles indicadores del rendimiento de un tenista, entendiendo como indicador de rendimiento cualquier variable importante y válida que contribuye al éxito en este deporte (Hughes y Bartlett, 2002). Estos autores (Hughes y Bartlett, 2002) recopilaron las variables más utilizadas en estudios previos llevados a cabo en deportes de red, y partiendo de una clasificación de Hughes (1994) (i.e., indicadores técnicos, tácticos, de movimiento y bases de datos y modelos de éxito), clasificaron estos factores dentro de cuatro categorías de análisis (i.e., indicadores de clasificación de partido, indicadores técnicos, indicadores tácticos e indicadores biomecánicos). Por su parte, A. Filipcic y Filipcic (2006) sugirieron que el éxito de un tenista viene establecido por factores directos e indirectos. Los factores indirectos serían aquellos cuyo nivel de desarrollo podría tener un impacto elevado en la consecución de una mejor eficacia competitiva, (e.g., características antropométricas y madurativas, capacidades físicas, aspectos fisiológicos, capacidades psicológicas). Los factores directos serían aquellos que reflejan la eficacia competitiva de un jugador (e.g., datos estadísticos obtenidos en un partido -o una temporada-, y clasificación en las listas de rankings). Este último indicador (e.g., ranking) refleja de manera efectiva y práctica, según T. Filipcic, Filipcic, y Berendijas (2008), el nivel de rendimiento de un tenista. Una vez analizada la literatura en éste área, se observa que la clasificación en los rankings es el indicador de rendimiento más utilizado por diferentes autores (Brouwers, De Bosscher, y Sotiriadou, 2012; Crespo, Reid, Miley, y Atienza, 2003; Galenson, 1993; Reid et al., 2007b; Reid, Mcurtrie, y Crespo, 2010; Reid, Morgan, Churchill, y Bane, 2014; Schulz y Curnow, 1988). Además, según sugieren T. Filipcic et al. (2008), la posición en estos rankings viene determinada por el número de

torneos jugados y por los resultados obtenidos en los mismos. Además de los rankings, existen investigaciones que han relacionado el rendimiento con otros factores (Figura 2). Uno de los más estudiados es la edad, especialmente la fecha



IMC, índice de masa corporal; RAE, efecto de edad relativa.

Figura 2. Clasificación de indicadores de rendimiento en el tenis en base a literatura científica revisada.

de nacimiento dentro del año, conocido como efecto de edad relativa (RAE; (Baxter-Jones, Helms, Maffulli, Baines-Preece, y Preece, 1995; Dudink, 1994; Edgar y O'Donoghue, 2005; Kramer, Huijgen, Elferink-Gemser, y Visscher, 2017; Ulbricht, Fernandez-Fernandez, Mendez-Villanueva, y Ferrauti, 2015; Zhánel y Hubáček, 2013)). Otro es la maduración, concretamente el pico de crecimiento madurativo (Kramer et al., 2017; Kramer et al., 2016; Ulbricht et al., 2015). Además de éstos, también se ha relacionado el rendimiento con las capacidades físicas (Kramer et al., 2017; Ulbricht et al., 2015), con los datos estadísticos provenientes de las acciones de los partidos (e.g., puntos directos de servicio, servicios directos, dobles faltas, puntos de break, porcentaje de primeros y segundos servicios, puntos ganados, etc. (A. Filipcic et al., 2015; Gillet, Leroy, Thouvarecq, y Stein, 2009; O'Donoghue y Brown, 2008; Reid et al., 2010)), y con las estadísticas provenientes del conjunto de partidos de la temporada (e.g., porcentaje de partidos ganados, número de títulos conseguidos, premios en metálico obtenidos, etc. (Brouwers et al., 2012; Galenson, 1993; Geyer, 2010; Guillaume et al., 2011)).

El hecho de la existencia de un número tan elevado de factores predictores de rendimiento en el tenis hace que sea prácticamente imposible determinar el éxito futuro basándose en una sola observación en un momento puntual (Unierzyski, 2006). Además, según apuntan Hughes y Bartlett (2002) el uso de estas variables de manera aislada, sin tener en cuenta la referencia de los oponentes, puede llevar a confusión. Dependiendo del indicador y del momento del análisis, se obtendrá una mayor o menor precisión de predicción de rendimiento, pero siempre asumiendo un cierto error relacionado con el resto de variables no analizadas. Según Vaeyens, Lenoir, Williams, y Philippaerts (2008), esta precisión será mayor cuanto más cerca del pico de rendimiento del deportista se haga el análisis predictivo. Especial relevancia toman estos indicadores a la hora de realizar una identificación de talentos. Por ejemplo, MacCurdy (2006) apunta a la experiencia competitiva, a la habilidad técnica y a la maduración como factores principales que determinan el éxito a los 12 años de edad. Sin embargo, este autor también indica que esta edad es demasiado prematura para realizar una predicción acertada. Por otro lado, los resultados obtenidos en partido a partir de los 14 años son los que, según Unierzyski (2003), en Brouwers et al. (2012), mejor predicen el éxito futuro, aunque no deben ser usados como criterio único, especialmente en edades prepuberales (Unierzyski, 2006). El RAE es uno de los factores de rendimiento de referencia presentes en los mencionados procesos de selección en diferentes modalidades deportivas, habiéndose observado que aquellos deportistas nacidos en la primera mitad del año natural tienen mayor probabilidad de llegar a la élite que los nacidos en los últimos seis meses (Cobley, Baker, Wattie, y McKenna, 2009). En el tenis, se ha observado este efecto tanto en jugadores jóvenes (Baxter-Jones et al., 1995; Dudink, 1994; Edgar y O'Donoghue, 2005; Ulbricht et al., 2015; Zhánel y Hubácek, 2013) como en jugadores élite de edad adulta (Edgar y O'Donoghue, 2005; Ulbricht et al., 2015), no existiendo tal tendencia en jugadores zurdos de categoría profesional (Loffing, Schorer, y Cobley, 2010). Ulbricht et al. (2015) encontraron que el RAE es mayor cuanto más alto es el nivel competitivo del tenista (i.e., selección nacional vs selección regional), teniendo todos ellos, sin embargo, características antropométricas y forma física similares independientemente de su mes de nacimiento dentro del año natural. Ulbricht, Fernandez-Fernandez, Mendez-Villanueva, y Ferrauti (2016) estudiaron la posible correlación entre condicionantes físicos y el nivel de rendimiento -entendido éste como su posición en la clasificación en su respectivo ranking- en jugadores adolescentes de nivel nacional y regional. Dentro de una gran muestra de más de 900 tenistas, estos autores midieron pruebas específicas de tren inferior (e.g., velocidad, agilidad y potencia), de tren superior (e.g., fuerza y potencia) y pruebas específicas de resistencia y velocidad de servicio. Observaron que tanto la potencia de tren superior como la velocidad de servicio eran factores

predictivos de rendimiento en estas edades para ambos sexos. En cuanto al nivel de juego, observaron que los jugadores de mejor ranking eran más resistentes, tenían mayor potencia en tren superior y servían a mayor velocidad. Estos datos ofrecen información de interés a la hora de ver qué parámetros pueden ser considerados como indicadores de rendimiento en tenistas en un momento puntual. Por su parte, Kramer et al. (2017) quisieron comprobar si estos condicionantes físicos en la adolescencia eran predictores de rendimiento con la maduración y el incremento de edad. Tras valorar a más de 85 tenistas de categoría sub 13 a través de diferentes test físicos de tren inferior (potencia, velocidad y agilidad) y superior (potencia) realizaron una monitorización de su clasificación en el ranking nacional de la última semana del año de medición y 3 años después. Observaron que, a pesar de que la potencia de tren superior en chicos y la maduración en chicas eran indicadores de rendimiento en la adolescencia, ninguno de los factores estudiados a los 13 años fueron indicadores predictivos de buen rendimiento 3 años después, en etapa junior. Un año antes de ese estudio, Kramer et al. (2016) realizaron un estudio longitudinal durante 5 años a más de 250 tenistas de entre 10 y 15 años midiendo altura, índice de masa corporal, potencia explosiva de tren inferior y velocidad de desplazamiento en 5 m. Concluyeron que el rendimiento en velocidad aumenta con la edad, y que hasta los 13 años la diferencia por niveles de juego (e.g., jugadores de élite y sub-élite) estaba relacionada con la altura y la potencia de tren inferior.

Por otro lado, la relación que existe entre las estadísticas que se producen en un partido y el rendimiento o el éxito obtenido en el mismo ha sido también objeto de estudio por parte de numerosos autores (A. Filipcic et al., 2015; T. Filipcic et al., 2008; Gillet et al., 2009; Reid et al., 2010). El registro notacional de las acciones y tiempos de partido y su posterior análisis, como se detallará más adelante en el presente documento, es un método ampliamente estudiado (Fernandez-Fernandez, Sanz-Rivas, Fernandez-Garcia, y Mendez-Villanueva, 2008; O'Donoghue y Ingram, 2001; O'Donoghue, Liddle, y Lees, 1998), y es utilizado por entrenadores y jugadores para mejorar sus opciones de victoria (Over y O'Donoghue, 2008). De forma general, en la literatura existente hasta el momento de redacción de la presente Tesis Doctoral destaca el papel del servicio y del resto como indicadores de rendimiento fundamentales asociados al análisis notacional en el tenis moderno, debiendo resaltar como importante el hecho de que la mayoría de estos estudios citados están realizados sobre diferentes superficies, con temporalización y número de partidos analizados muy dispar, y con jugadores de primer nivel mundial, en torneos fundamentalmente de *Grand Slam*. A. Filipcic et al. (2015) compararon a los jugadores incluidos en el top300 del ranking mundial en tres momentos puntuales desde 1991 hasta 2010, concluyendo que el tenis ha evolucionado hacia un juego basado en la

efectividad de los servicios y restos (e.g., ganar un mayor número de puntos con el servicio y con el resto) que permiten ganar un mayor número total de puntos. A este respecto, Gillet et al. (2009) observaron cómo el efecto del servicio y la dirección del servicio y el resto influían en la probabilidad de ganar, independientemente de la superficie en la que se juegue. Observaron que los servicios planos a la zona de la central (i.e., zona de la “T”) permitieron ganar más puntos que los servicios *liftados*, y que restar a la zona central favoreció ganar más puntos a los jugadores que restaban. Un estudio llevado a cabo por T. Filipcic et al. (2008) apuntó a que los mejores indicadores de efectividad para ganar un partido fueron los porcentajes de puntos ganados con primer y segundo servicio. Yendo un paso más allá, asumiendo que el rendimiento de un jugador se define fundamentalmente por su efectividad competitiva (A. Filipcic et al., 2015), y que el criterio más utilizado en la actualidad para clasificar y evaluar dicha efectividad son los rankings, Reid et al. (2010) realizaron un estudio en el que relacionaban las estadísticas más relevantes de partido de los jugadores incluidos en el top100 del ranking mundial. Observaron que tanto los puntos ganados con segundo servicio como los puntos ganados al resto eran los indicadores que mejor predecían el rendimiento en estos jugadores.

Los rankings, cuya publicación periódica se lleva a cabo por las entidades asociativas (e.g., federaciones, asociaciones) que regulan las diferentes competiciones en sus respectivos niveles (e.g., nacional, continental, mundial, etc.), están basados en la suma del número de puntos que obtienen los jugadores a lo largo de la temporada, atendiendo a los puntos otorgados por las diferentes categorías de los torneos (Association of Tennis Players, 2015). En el caso del tenis profesional, son la ATP y la asociación femenina de tenistas (WTA) las encargadas de calcular el ranking y publicarlo con una periodicidad semanal. Estos rankings han sido utilizados previamente, además de como predictores del nivel tenístico de un país en base al número de torneos que organiza (Crespo et al., 2003), como predictores de éxito futuro en etapas tempranas de la carrera de un tenista a nivel individual (Brouwers et al., 2012; Reid, Crespo, y Santilli, 2009; Reid et al., 2007b; Reid et al., 2014). Así pues, estos autores, contrarios a la idea expuesta por Epstein (2013) acerca de que el éxito en etapas deportivas jóvenes no solo no predice éxito a largo plazo sino que a veces puede llegar a ser un factor limitante para llegar a la élite, observaron una correlación positiva entre alcanzar niveles excepcionales de rendimiento en edad joven (i.e., situarse entre los mejores en la clasificación mundial de categoría junior) y la consecución de éxito posterior como tenista profesional. Concretamente, Brouwers et al. (2012) y Reid et al. (2007b) observaron cómo más del 50% de los jugadores masculinos que alcanzaron el top10 y top20 de la categoría junior, y más del 65% de las jugadoras que alcanzaron el top20 en la misma categoría, consiguieron finalmente alcanzar

una posición dentro del top100 en el ranking mundial absoluto. Por su parte, Reid et al. (2014) analizaron las diferentes edades a las que los tenistas profesionales habían ido alcanzando determinadas posiciones en los rankings, y observaron que aquellos que consiguieron llegar a ser top10 lo lograron de manera más precoz que el resto de jugadores que alcanzaron posiciones entre el 11 y el 100 en dicho ranking. Geyer (2010) estudió la relación entre el rendimiento y los premios en metálico obtenidos por un tenista con su retirada del mundo profesional. Las conclusiones apuntaron que cuanto mayor fue la cuantía de premios ganada y cuanto mejor rendimiento tuvieron los jugadores, menores fueron sus posibilidades de retirada, favoreciendo así la permanencia de un jugador en activo y haciendo más longeva su carrera deportiva. Para este estudio, el rendimiento fue medido a partir del porcentaje de juegos ganados, del número de torneos ganados en un año, y de la posición de los jugadores en el ranking.

En este sentido, la realización de un análisis sobre la evolución de la edad en el tenis profesional a lo largo de los últimos años, objeto de estudio del primero de los artículos de la presente Tesis Doctoral, permitiría ver la realidad del tenis actual, ofreciendo información útil a jugadores, entrenadores y gestores deportivos en la que poder basarse a la hora de buscar una especialización deportiva, configurar el nivel de exigencia de la planificación de entrenamiento/competición, y desarrollar programas de entrenamiento acordes a las necesidades del jugador desde categorías inferiores hacia carreras deportivas a largo plazo.

Por otra parte, consideramos que es esencial conocer la estructura temporal del tenis de competición, así como el patrón de actividad y movimiento que realizan los tenistas en pista, para comprender mejor la carga física y fisiológica que llevan asociada. Este hecho hace que se profundice sobre estos aspectos en el siguiente apartado. Esta información podría ser de gran utilidad para poder llevar a cabo programas de acondicionamiento más efectivos, tanto a corto como a largo plazo (Mendez-Villanueva, Fernandez-Fernandez, Bishop, Fernandez-Garcia, y Terrados, 2007b).

2.3

EL TENIS DE COMPETICIÓN COMO OBJETO DE ESTUDIO

2.3.1. Estructura temporal y patrones de actividad y movimiento en un partido de tenis de competición real o simulada

El tenis es un deporte complejo que ha ido evolucionado con el tiempo, pasando a estar basado en ritmos de juego rápidos y acciones intermitentes de alta intensidad -principalmente sprints cortos, aceleraciones/deceleraciones y cambios de dirección continuos- que implican fuerza y velocidad, y resistencia aeróbica para permitir la realización continua de estas acciones de alta intensidad (Fernandez-Fernandez, Sanz-Rivas, y Mendez-Villanueva, 2009a; D. König et al., 2001; Kovacs, 2007). Además, el jugador no solo debe poseer una excelente habilidad técnica y táctica para ejecutar una enorme variedad de golpes -destacando el servicio, el resto y el juego de fondo (A. Filipcic et al., 2015)-, sino también una buena capacidad de reacción y anticipación, y una gran destreza cognitiva y mental, claves en los procesos de toma de decisiones que suceden de manera continua durante el juego (Hornery, Farrow, Mujika, y Young, 2007b).

A lo largo de los últimos años, la evolución en las características de juego en el tenis, y las demandas que lleva asociadas, se han descrito a partir de la monitorización de jugadores (e.g., en entrenamiento y en competición real y simulada), y el posterior análisis de los datos registrados. A este tipo de análisis se le denomina análisis notacional, y se caracteriza por medir indicadores de rendimiento a través de un procedimiento de cuantificación objetiva, fiable y consistente de aquellas variables de interés, y cuyos medios de interpretación son válidos (O'Donoghue, 2010). Los avances en la tecnología han jugado un papel muy relevante en la evolución de estos métodos de monitorización y análisis, convirtiéndose en uno de los principales objetos de estudio de este deporte. Los métodos de registro de datos más utilizados en la investigación en el tenis son, por un lado, las cámaras de vídeo (Fernandez-Fernandez et al., 2009a; Martínez-Gallego et al., 2013; Murias,

Lanatta, Arcuri, y Laino, 2007; T. J. Pereira et al., 2016c; Torres-Luque, Cabello-Manrique, Hernandez-Garcia, y Garatachea, 2011), incluyendo el ojo de halcón (Reid, Morgan, y Whiteside, 2016), y, por otro, los sistemas de posicionamiento global por satélite (GPS; (Hoppe et al., 2014; Hoppe, Baumgart, y Freiwald, 2016; L. A. Pereira et al., 2016b; Reid et al., 2013)). El acceso a estos datos ha permitido incrementar el conocimiento sobre el rendimiento en el juego (Hughes, 2004), capacitando a los entrenadores y preparadores físicos para diseñar mejores programas de entrenamiento (Barris y Button, 2008). Por otro lado, el análisis notacional del tenis ha permitido incrementar el conocimiento general sobre los patrones de juego y actividad del tenis actual de competición.

Un partido de tenis de competición se disputa al mejor de 3 sets, salvo en torneos de *Grand Slam* y *Copa Davis* donde se juega al mejor de 5 sets. A pesar de que algunos partidos llegan a durar hasta 5 h, la duración media es de aproximadamente 1,5-2 h (Kovacs, 2007). La duración media de los puntos varía entre 5-8 s en los que se golpean una media de 2-3 golpes, existiendo descansos cortos de ~20 s entre ellos, y otros más prolongados (e.g., 90 y 120 s) al finalizar juego y set, respectivamente (Brown y O'Donoghue, 2008; Collomp, Ahmaidi, Chatard, Audran, y Prefaut, 1992; Fernandez-Fernandez et al., 2009a; Kovacs, 2007; Martin et al., 2011; Murias et al., 2007). Todos estos factores hacen que el tiempo efectivo de juego (EPT) oscile entre el 15-30% del tiempo real de partido, donde el ratio de trabajo-descanso se sitúa alrededor de ~1:2,5 (Fernandez-Fernandez et al., 2009a; Kovacs, 2004).

A lo largo de toda esta estructura temporal de juego, los jugadores llegan a recorrer aproximadamente 3 m por golpe, y entre 8-15 m y 3-4 cambios de dirección por punto, donde más del 80% de los golpes no requiere un desplazamiento mayor de 2,5 m desde la posición central/fondo de la pista (Ferrauti, Weber, y Wright, 2003). Estos patrones de movimiento por punto producen una distancia total de entre 1.300 y 3.600 m por hora de juego, dependiendo del nivel y la superficie de juego (Fernandez-Fernandez et al., 2009a; T. J. Pereira et al., 2016c). Además, el uso cada vez más frecuente de tecnología GPS, cuya validez y fiabilidad han sido demostradas para la monitorización de acciones específicas de tenis en pista, (e.g., distancias, velocidad y aceleraciones; (Vickery et al., 2014)), ha permitido registrar velocidades máximas de ~5,5 m·s⁻¹ en partidos de competición simulada (Hoppe et al., 2016; Reid y Morris, 2013), y velocidades medias de ~0,6 m·s⁻¹. Por otra parte, en un partido se llevan a cabo el doble de acciones que implican aceleraciones de alta intensidad frente a las que implican deceleraciones (~50 vs ~100, respectivamente; (Hoppe et al., 2016)).

2.3.2. Demandas fisiológicas en un partido de tenis

Los patrones de movimiento descritos anteriormente llevan asociados un importante compromiso fisiológico por parte del jugador, que va a influir en su rendimiento. El perfil fisiológico del tenista ha sido ampliamente estudiado, sobre todo en situaciones de partido de competición simulada, debido a la dificultad de realizar mediciones válidas en competición oficial real. Entre las variables fisiológicas más relevantes para el tenis destacan la frecuencia cardiaca -FC- (e.g., como indicadora del estrés psicofisiológico asociado a la competición (D. König et al., 2001)), la concentración de lactato -[La]- (e.g., como indicadora de intensidad de juego y producción metabólica a través de la glucólisis anaeróbica (Krustrup et al., 2006)), el consumo de oxígeno (e.g., como indicador de la intensidad del juego y producción de energía a través de vías aeróbicas (Fernandez, Mendez-Villanueva, y Pluim, 2006)) y las escalas de percepción subjetiva del esfuerzo -RPE- (e.g., como indicador de la intensidad promedio de partido (Mendez-Villanueva et al., 2007b)). Además de éstos, también se han investigado marcadores indirectos de daño muscular (e.g., creatina quinasa (CK) y/o la mioglobina) así como diferentes hormonas (e.g., cortisol y testosterona; (Fernandez-Fernandez et al., 2015a; Ferrauti, Neumann, Weber, y Keul, 2001b; Filaire, Alix, Ferrand, y Verger, 2009; Gomes et al., 2014b; Ojala y Hakkinen, 2013)). Como se ha indicado a lo largo de este capítulo, el tenis es un deporte de larga duración en el que se producen acciones intermitentes de alta intensidad durante el juego, intercaladas con numerosos periodos de descanso previstos por el reglamento (Fernandez-Fernandez et al., 2009a). Esa intensidad a la que se ven sometidos los jugadores en ciertas fases de un partido han llegado a provocar picos de [La] por encima de $8 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Mendez-Villanueva et al., 2007b), picos de consumo de oxígeno superiores al 80% del consumo máximo (Smekal et al., 2001), de FC rozando el 100% de la FC máxima (Fernandez et al., 2006; D. König et al., 2001; Kovacs, 2007; Murias et al., 2007) y de RPE de 17 puntos en una escala de Borg de 20 puntos de valoración máxima (Mendez-Villanueva et al., 2007b). El aporte energético en este tipo de acciones intensas durante el juego proviene principalmente de del metabolismo del trifosfato de adenosina y de la fosfocreatina (metabolismo anaeróbico aláctico). Sin embargo, los periodos de recuperación entre puntos permiten la reposición de las reservas de estas fuentes de alta energía a través del metabolismo oxidativo (metabolismo aeróbico). De esta manera, la realidad del compromiso fisiológico en un partido de tenis no se puede explicar únicamente a partir de los valores pico procedentes de los esfuerzos de alta intensidad mencionados (Fernandez et al., 2006), sino que se necesita entender los valores medios obtenidos a lo largo de todo un partido completo. En este sentido, los valores medios de RPE reportados por tenistas en partidos de competición real o simulada se corresponden con magnitudes de entre 6-8 puntos en la escala de Borg de 10 puntos, de entre

11-15 puntos en la escala de Borg de 15 puntos y de entre 10-16 puntos en la escala de Borg de 20 puntos de valoración máxima, respectivamente (Fernandez-Fernandez et al., 2015a; Fernandez-Fernandez et al., 2009a; Gomes, Coutts, Viveiros, y Aoki, 2011; Mendez-Villanueva, Fernandez-Fernandez, Bishop, y Fernandez-Garcia, 2010; Murphy, Duffield, Kellett, y Reid, 2016; Ojala y Hakkinen, 2013). Además, los valores promedio del consumo de oxígeno están en torno al 50% (20-30 mL·kg⁻¹·min⁻¹), de la FC alrededor del 70-80% (~140-160 ppm) y de [La] entre 1,8-3,4 mmol·L⁻¹ (Fernandez et al., 2006; Hornery, Farrow, Mujika, y Young, 2007a; Kovacs, 2007; Ojala y Hakkinen, 2013).

2.3.3. Factores influyentes en el patrón de actividad de un partido de tenis

Todas estas características comentadas en los apartados previos van a verse influidas por diferentes factores internos y externos asociados al juego. Los principales factores que pueden afectar al juego son el tipo de superficie (e.g., tierra batida vs pista dura), el nivel de juego (e.g., amateur vs profesional), el género (e.g., masculino vs femenino), el estilo de juego (e.g., juego ofensivo vs juego defensivo), la edad del jugador (e.g., adolescentes vs adultos) (Fernandez-Fernandez et al., 2009a) e, incluso, como se ha analizado recientemente, la influencia del resultado final del partido (e.g., ganador vs perdedor).

Por citar algunos ejemplos de manera breve, autores como Murias et al. (2007), Brown y O'Donoghue (2008), Fernandez-Fernandez et al. (2008) y Martin et al. (2011) estudiaron el patrón de actividad en diferentes superficies, y de sus resultados se observa cómo el número de golpes por punto, la duración media de los mismos y el EPT fueron más elevados en tierra batida que en superficie rápida (e.g., hierba o sintética). Sin embargo, estas diferencias, según indican Fernandez-Fernandez et al. (2009a), parecen haberse reducido en los últimos años tras la introducción de un nuevo tipo de bolas en el año 2006 con las que la Federación Internacional de Tenis (ITF) pretendía minimizar el efecto de las superficies en la dinámica del juego. Además, estos mismos autores sugieren que, en cierto modo, la introducción de este material pudo favorecer un cambio en los estilos de juego, siendo hoy en día la gran mayoría jugadores de fondo y quedando cada vez menos que empleen el juego de servicio-red. A este respecto, Smekal et al. (2001) y Bernardini, De Vito, Falvo, Marino, y Montellanco (1998), en estudios llevados a cabo con jugadores de nivel nacional y regional respectivamente, observaron que la duración de los puntos jugados por jugadores con perfil más ofensivo fue prácticamente la mitad que aquellos jugados por jugadores con perfil más defensivo o conservador. Esto hizo que los porcentajes de EPT fueran del ~20% y del ~40%, para jugadores ofensivos

y defensivos, respectivamente. Las dos investigaciones obtuvieron tiempos y porcentajes similares al hacer esta comparación tanto a nivel nacional como a nivel regional. Sin embargo, cabe destacar que la duración media de los puntos jugados por jugadores de patrón defensivo sí varió al comparar ambos niveles, siendo los puntos más largos en los jugadores de menor nivel (i.e., regional vs nacional), favoreciendo mayores porcentajes de EPT (~40% vs ~30%, respectivamente). En otro estudio, Fernandez-Fernandez et al. (2009b) no encontraron diferencias en el patrón de actividad entre jugadores adultos de nivel recreacional y avanzado, pero sí observaron que los jugadores de nivel avanzado recorrieron mayor distancia total en un partido, con una velocidad media más lenta que los de nivel recreacional. Estos autores justificaron estos hallazgos argumentando que cuanto mayor es el nivel de juego de un tenista mayor es su capacidad de ejecución técnica para mover la pelota y para abrir ángulos en pista, y además, su capacidad de anticipación es mayor. En esta línea, Martínez-Gallego et al. (2013) analizaron el patrón de movimiento de jugadores profesionales en pista dura con respecto a la estrategia de juego, viendo que los perdedores de juegos recorrieron menor distancia total, se desplazaron más rápido y pasaron menos tiempo en zonas ofensivas frente a las defensivas, concluyendo que los ganadores dominaron a los perdedores, forzándoles a tener un patrón de desplazamiento más característico de estrategias defensivas.

Dentro de este mismo nivel de juego, diferentes autores han estudiado las diferencias con respecto al género, concretamente en partidos de los 4 torneos de *Grand Slam* en diferentes años. O'Donoghue y Ingram (2001) analizaron 37.000 puntos de estos partidos, concluyendo que los hombres realizaron más golpes por segundo, jugaron puntos más cortos, y realizaron más servicios directos, puntos ganadores totales y puntos ganados con el resto. Por su parte, Brown y O'Donoghue (2008) analizaron más de 17.500 puntos de 144 partidos y concluyeron que las mujeres jugaban mayor número de puntos de fondo y además tenían menor precisión en el servicio que los hombres. Cross (2014) también encontró diferencias entre sexos, siendo mayor la velocidad de servicio en la categoría masculina, tras analizar 31 partidos de *Grand Slam*. Por último, Reid et al. (2016) realizaron la comparativa entre sexos respecto a aspectos de movimiento, centrándose en los partidos del *Australian Open* a lo largo de 3 años. Observaron diferencias en los patrones de movimiento y golpeo entre ambos, destacando que los hombres son más rápidos en carrera, sacan a mayor velocidad, ganan un mayor porcentaje de puntos al servicio y son menos restados que las mujeres. Por último, es importante destacar el papel de la edad como factor determinante en el tenis. Previamente se ha comentado que los jugadores que alcanzan puestos de relevancia en los rankings durante su etapa junior incrementan sus opciones de llegar a tener una carrera de éxito profesional en la edad adulta (Brouwers et al., 2012; Reid et al., 2009; Reid et al., 2007b). A

pesar de haberse comprobado que llegar a esas posiciones no puede considerarse un pre-condicionante definitivo para el éxito posterior (Brouwers et al., 2012), esa meta ha podido favorecer un incremento en la demanda del conocimiento del tenista joven por parte de entrenadores, escuelas y academias, con el objetivo de diseñar programas de entrenamiento más específicos desde edades tempranas, cruciales en el desarrollo del jugador y en las opciones de su carrera futura (Crespo y Miley, 1998). Un ejemplo del interés reciente suscitado por la monitorización y análisis del juego de los jugadores jóvenes es el elevado número de investigaciones que en los últimos años ha puesto el foco en el estudio de estos parámetros en este tipo de jugadores jóvenes. Torres-Luque et al. (2011) analizaron la estructura de juego en pista dura de tenistas adolescentes de ambos sexos durante una competición oficial y observaron que en esta categoría se efectuaban una media de ~5 golpes por punto, con una duración media de los mismos de ~9 s, con tiempos de descanso por punto de ~20 s, que provocaron ratios de trabajo-descanso de ~1:2,3 y un EPT algo superior al 30% del tiempo total de partido. Fernandez-Fernandez, Mendez-Villanueva, Fernandez-Garcia, y Terrados (2007) vieron cómo, en este mismo tipo de superficie, un grupo de chicas junior obtuvieron un patrón con valores inferiores a los reportados por Torres Luque (e.g., duración de puntos 8,2 s, 2,8 golpes por punto, descansos de menos de 18 s, ratios de trabajo-descanso de 21,9 s y tiempos de juego efectivos inferiores al 22%), pudiendo residir estas desigualdades en la diferencia de edad y nivel de juego de ambas muestras (e.g., jugadores de nivel nacional de 15 años vs jugadoras de nivel elite de 17 años, respectivamente). De los parámetros fisiológicos asociados al desarrollo de un partido, se han descrito, por un lado, en estas edades la FC media (~159-168 ppm, suponiendo un 80-85% sobre la FC máxima estimada) y máxima (~190 ppm, alrededor del 90% de su FC máxima estimada) (Fernandez-Fernandez et al., 2015a; Fernandez-Fernandez et al., 2007; Hoppe et al., 2014); los valores de [La], entre 2,0-2,2 mmol·L⁻¹ (Fernandez-Fernandez et al., 2007; Fernandez-Fernandez et al., 2008), siendo éstos similares a los encontrados en edad adulta; y por último los valores de RPE medios (con magnitudes de 6 puntos en la escala de Borg de 10 puntos de valoración máxima) y máximos (entre 13-15 puntos en la escala de Borg de 15 puntos de valoración máxima) (Fernandez-Fernandez et al., 2015a; Murphy et al., 2016). Recientemente, varios autores han descrito el patrón de movimiento del tenista joven (Hoppe et al., 2014; Hoppe et al., 2016; L. A. Pereira et al., 2016b). De entre las variables que describen dicho patrón, destacan los siguientes valores alcanzados por hora de juego: distancias totales recorridas (entre 1.900-2.600 m), número de acciones realizadas a alta aceleración (entre 38-270 acciones) y deceleración (~52 acciones), tiempos empleados en dichas acciones de alta aceleración (entre 58-74 s) y deceleración (entre 48-53 s), acciones realizadas a alta intensidad (entre 5-20 acciones), velocidades medias (0,7 m·s⁻¹) y velocidades máximas (4,4-5,5 m·s⁻¹). Todos

estos estudios ponen en evidencia las diferencias existentes en los patrones de juego en función de la superficie de juego (e.g., mayor distancia en tierra que en pista dura), de la edad, de los niveles de juego y del resultado final partido. Es difícil comparar unos estudios con otros debido en gran medida a las diferencias metodológicas existentes en los protocolos utilizados (e.g., categorización de rangos de las zonas de velocidad, aceleración y deceleración, etc.). En la Tabla 2 se incluye un resumen de los valores y/o rangos estudiados de las principales variables que conforman el patrón de actividad, patrón de desplazamiento y características fisiológicas de tenistas adultos y jóvenes en partidos de competición y simulada.

Tabla 2. Resumen sobre el patrón de actividad, patrón de desplazamiento y características fisiológicas en jugadores adultos y jóvenes en el tenis.

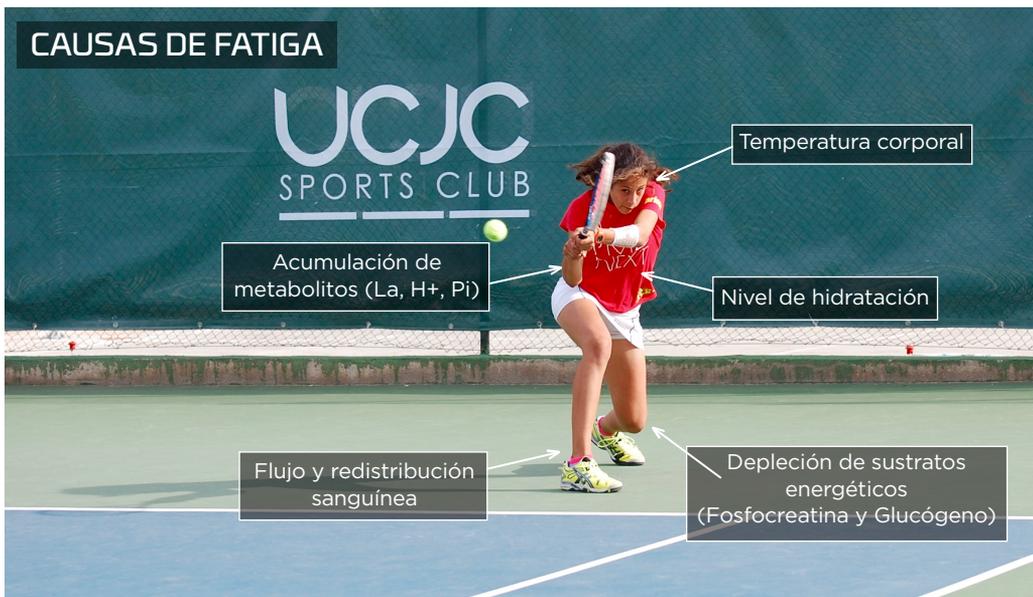
	Variables	Adultos	Jóvenes
PATRÓN ACTIVIDAD	DR (s)	5 - 8	8 - 9
	RT (s)	~20	18 - 21
	SR (n)	2-3	~5
	EPT (%)	15 - 30	22 - 31
	W:R ratio (s)	~1 : 2,5	~1 : 2,3
PATRÓN DESPLAZAMIENTO	Distancia total (m)	1.300 - 3.600	1.900 - 2.600
	Velocidad máxima ($m \cdot s^{-1}$)	~5,5	4,5 - 5,5
	Velocidad media ($m \cdot s^{-1}$)	~0,6	0,7
	ACC alta intensidad ($m \cdot s^{-2}$)	~50	38 - 270
	DEC alta intensidad ($m \cdot s^{-2}$)	~100	50
	FC media (lpm)	~140 - 160 (80%)	159 - 168 (80 - 85%)
	FC máx. (lpm)	(~100%)	~190 (~ 90%)
	[La promedio] ($mmol \cdot L^{-1}$)	1,8 - 3,4	2 - 2,2
	[La máx.] ($mmol \cdot L^{-1}$)	4 - 8	
	VO ₂ media ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	(~80% VO ₂)	
COMPROMISO FISIOLÓGICO	VO ₂ máx. ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	20 - 30 (50%)	
	RPE media (a.u.)	6 - 8/10	6/10
		11 - 14/15	
		10 - 16/20	
	RPE máx. (a.u.)	17/20	13 - 15/15

DR, duración de los puntos; RT, tiempo de descanso entre puntos; SR, golpes por punto; n, número; EPT, tiempo efectivo de juego; W:R, trabajo-descanso; máx., máximo; ACC, aceleración; DEC, deceleración; FC, frecuencia cardiaca; lpm, latidos por minuto; [La], concentración de Lactato; VO₂, consumo de oxígeno; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo; u.a., unidades arbitrarias.

2.3.4. Fatiga en un partido de tenis de competición real o simulada

En el tenis, un importante número de investigaciones ha estudiado el impacto que supone para un tenista la práctica de ejercicio prolongado, aunque la gran mayoría de ellas son situaciones de entrenamiento y han sido realizadas a través de test específicos (Baiget, Fernandez-Fernandez, Iglesias, Vallejo, y Rodriguez, 2014; Baiget, Iglesias, y Rodriguez, 2016; Fernandez-Fernandez, Kinner, y Ferrauti, 2010; Ferrauti, Bergeron, Pluim, y Weber, 2001a; Ferrauti, Kinner, y Fernandez-Fernandez, 2011; Ferrauti, Pluim, y Weber, 2001c; Girard, Chevalier, Leveque, Micallef, y Millet, 2006a; Girard, Lattier, Maffiuletti, Micallef, y Millet, 2008; Gomes et al., 2016; Smekal et al., 2000). Alguno de estos test incluso se ha observado eficaz a la hora de determinar el nivel de juego del participante (Baiget et al., 2016). Sin embargo, se ha demostrado que las respuestas psicofisiológicas del organismo no son las mismas cuando se afronta una situación de entrenamiento frente a una de partido de competición (Fernandez-Fernandez et al., 2015a; Murphy et al., 2016). Conocer, por tanto, qué ocurre con el rendimiento durante una situación de partido de competición real o simulada es fundamental para poder ajustar tipos de entrenamiento, cargas, y también estrategias que ayuden a prevenir posibles desajustes y desequilibrios potencialmente lesivos. A pesar de que el EPT de un partido es aproximadamente un tercio del tiempo de juego total (TPT), la reiteración de acciones de alta intensidad que se desarrollan en el juego (e.g., cambios de ritmo, sprints, aceleraciones y deceleraciones, golpes, servicios, etc.) es la que va a provocar desequilibrios en el cuerpo que pueden provocar una disminución del rendimiento a nivel neuromuscular, psicofisiológico y cognitivo, fundamentales como bien sugiere Hornery et al. (2007b) a la hora de afrontar momentos de presión y tomas de decisión durante el juego.

Desde un punto de vista neuromuscular, un partido de tenis prolongado (e.g., más de 2 h de duración) tiene un impacto sobre el jugador que provoca una disminución en su capacidad de contracción muscular voluntaria (Girard et al., 2008). A esta incapacidad del músculo de producir fuerza máxima se le denomina fatiga (Gandevia, 2001; St Clair Gibson et al., 2003), y se puede diferenciar entre “central”, como resultado de una reducción de reclutamiento de fibras musculares provocado por el ejercicio a nivel del Sistema Nervioso Central (SNC), o “periférica”, como resultado de la acumulación de metabolitos en el músculo que produce una disminución de la contractilidad de la fibra muscular o la aparición de daño muscular. De acuerdo con Noakes (2000), viene provocada por alcanzar uno, o la combinación de varios, de estos estados: acumulación de metabolitos, hipoglucemia, hipertermia y/o alteración del funcionamiento normal del SNC (Figura 3).



La, Lactato; H⁺, iones de Hidrógeno; Pi, Fosfato inorgánico.

Figura 3. Mecanismos causantes de fatiga.

Según Hornery et al. (2007b), en el tenis, algunos de los factores que favorecen la aparición de la fatiga son la duración de un partido, la temperatura ambiental a la que se disputa el mismo y el estado de hidratación y nutricional del jugador. Esta fatiga se ha observado en tenistas tanto a nivel de tren inferior (Fabre, Martin, Gondin, Cottin, y Grelot, 2012; Girard et al., 2008; Girard, Lattier, Micallef, y Millet, 2006b; Girard, Racinais, Micallef, y Millet, 2011; Ojala y Hakkinen, 2013) como de tren superior (Martin, Bideau, Delamarche, y Kulpa, 2016a) en partidos normalmente con más de dos horas de duración. Ojala y Hakkinen (2013) no apreciaron reducción de la capacidad de salto con contramovimiento (CMJ) y de sprint de 5 m tras un partido de 2 h, a pesar de haber observado reducciones significativas de más del 25% en la producción de fuerza y contracción de la musculatura extensora de las piernas, que llevaban asociados un aumento de casi el 200% en un marcador indirecto de daño muscular (e.g., CK). Por su parte, Martin, Kulpa, Ezanno, Delamarche, y Bideau (2016b) observaron una reducción significativa de la rotación interna (IR) y rango total de movimiento (ROM) en la articulación del hombro durante un partido de 3 h, afectando por tanto al rendimiento técnico del jugador, concretamente en su eficiencia de golpeo, a través de la reducción en la velocidad de servicio. Las correlaciones entre la reducción

del rango de movimiento en la articulación del hombro y la velocidad del servicio (Cohen, Mont, Campbell, Vogelstein, y Loewy, 1994), y entre la fuerza máxima isométrica y la velocidad del servicio (Baiget et al., 2016) ya habían sido reportadas previamente, aunque no tras la disputa de un partido. Sin embargo, la literatura no es concluyente acerca del efecto que provoca la fatiga neuromuscular en el rendimiento técnico, como sugieren Reid y Duffield (2014), ya que otras investigaciones no encontraron relación entre fatiga y reducción en la ejecución técnica de los golpes en tenis (Ferrauti et al., 2001c; Gescheit, Cormack, Reid, y Duffield, 2015; Reid, Duffield, Dawson, Baker, y Crespo, 2008).

El dolor muscular y el esfuerzo percibido por parte de los jugadores al finalizar este tipo de partidos prolongados presentan valores elevados (Girard et al., 2006b; Ojala y Hakkinen, 2013), probablemente como resultado de la fatiga acumulada tanto a nivel físico como psicológico (Girard et al., 2006b). En un estudio reciente llevado a cabo en jugadores jóvenes, se observó que tener una mayor fortaleza mental contribuyó a tener un mejor rendimiento competitivo (Cowden, 2016). Este estudio se realizó en competición real a través de análisis notacional de las acciones de partido y a través de cuestionarios. Por otro lado, Filaire et al. (2009) observaron cómo el estado de ansiedad y de autoconfianza de los jugadores al finalizar un partido están relacionados con el resultado final del mismo (e.g., mayor ansiedad y menor autoconfianza en perdedores, y viceversa, en ganadores).

Resulta sorprendente que, a pesar del gran número de estudios que se ha centrado en la monitorización y análisis de patrones de actividad y desplazamiento en el tenista joven, es prácticamente inexistente la literatura que hace referencia al impacto físico y fisiológico que tiene una competición sobre jugadores de estas edades, sobre todo teniendo en cuenta que ya en muchos casos, desde edades inferiores a 14 años, los jugadores dedican la mayor parte de sus entrenamientos a mejorar física, técnica y tácticamente, con volúmenes que a menudo sobrepasan las 15-20 h semanales (Reid, Crespo, Lay, y Berry, 2007a), horas recomendadas por la ITF para adquirir altos niveles competitivos (Crespo y Miley, 1998).

En este sentido, Gomes et al. (2014b) midieron el rendimiento neuromuscular y marcadores indirectos de daño muscular (e.g., CK y mioglobina) junto con percepción subjetiva de daño muscular y del esfuerzo percibido tras la disputa de un partido de 3 h en tenistas jóvenes. A nivel neuromuscular observaron que se produjo una disminución aguda en la capacidad de salto (7% y 10% en salto en sentadilla (SJ) y CMJ, respectivamente) y de producción de fuerza (-35% en

la 1RM en el ejercicio de sentadilla). A pesar de estos hallazgos, el daño muscular provocado por el partido fue clasificado como suave. A las 24 h post partido encontraron que los niveles de daño muscular fueron similares a los pre-partido, a pesar de que en ese momento la capacidad neuromuscular de algunos jugadores estaba aún disminuida. Todos recuperaron los niveles pre-partido a las 48 h.

En cuanto al rendimiento cognitivo, Fernandez-Fernandez et al. (2015a) encontraron una correlación de moderada a fuerte entre los marcadores psicofisiológicos (e.g., niveles de cortisol, autoconfianza y ansiedad), la carga de un partido y el resultado final del mismo en jugadores jóvenes. En este sentido, las jugadoras que ganaron el partido presentaron valores significativamente menores de FC, RPE, ansiedad cognitiva y somática y mayor autoconfianza. Estas mismas correlaciones no fueron positivas en situación de entrenamiento, lo que llevó a los autores a concluir que las respuestas psicofisiológicas de un jugador joven dependen de la importancia de la competición a la que se enfrentan y del resultado, siendo las situaciones reales de competición las que provocan respuestas más elevadas, sobre todo en los perdedores. Este tipo de información, como bien sugieren los autores, es de gran valor para entrenadores y jugadores a la hora de afrontar una temporada competitiva, donde ya en estas edades los niveles de competitividad entre jugadores son muy elevados y además los calendarios de juego pueden llegar a ser muy exigentes, compitiendo entre 15-25 torneos en una temporada y pudiendo llegar a superar los 100-120 partidos individuales al año (Crespo y Miley, 1998). En consecuencia, los niveles de entrenamiento a los que están sometidos hacen que, en muchas ocasiones, no se consigan recuperaciones óptimas, que la preparación no sea la más adecuada y que aumente el riesgo potencial de lesión. Asimismo, la compatibilización de entrenamientos con viajes a torneos, la distribución del calendario y la participación en múltiples modalidades (i.e., cuadro individual y dobles) obliga a los jugadores a llevar a cabo numerosos entrenamientos y partidos de competición en días consecutivos (Gescheit et al., 2015). En ocasiones, sobre todo en categorías inferiores (i.e., sub 12, sub 14, sub 16), los jugadores llegan a tener que afrontar más de un partido de competición en el mismo día (i.e., turno de mañana y turno de tarde), tal y como ocurre en los circuitos juveniles (e.g., circuito TTK, Babolat, etc.). Curiosamente, esta característica no se produce en el tenis profesional, cuando los tenistas jóvenes serían los que deberían tener unos periodos de descanso entre competiciones más elevados.

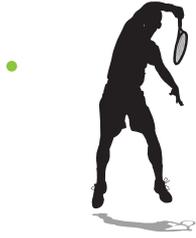
Varios estudios han mostrado el efecto que produce jugar un partido de competición simulada prolongado (e.g., de entre 2 y 4 h) a lo largo de varios días consecutivos (e.g., 3 y 4 días) sobre el rendimiento físico y fisiológico

(Brink-Elfegoun et al., 2014; Gescheit et al., 2015; Girard y Millet, 2009a; Ojala y Hakkinen, 2013; Peltier et al., 2013) y sobre el rendimiento técnico (Gescheit et al., 2015; Gescheit et al., 2016; Ojala y Hakkinen, 2013). Desde un punto de vista neuromuscular, hay contradicción entre los hallazgos obtenidos en diferentes investigaciones: mientras que unos autores han mostrado cómo esta acumulación de partidos provocaba la pérdida de fuerza en miembros inferiores (i.e., ratio de desarrollo de fuerza y fuerza máxima durante contracciones voluntarias de cuádriceps (Gescheit et al., 2015; Ojala y Hakkinen, 2013)), otros observaron cómo la capacidad de generar fuerza isométrica y potencia se mantenían intactas en esta musculatura extensora de la rodilla (Brink-Elfegoun et al., 2014). Gescheit et al. (2015) observaron que, partidos de competición simulada de 4 h de duración a lo largo de 4 días consecutivos, provocaban una reducción diaria aproximada del -5% en el patrón general de movimiento en pista, obteniendo reducciones totales, pre post-torneo, del -15%. Los miembros superiores también se vieron afectados por esta secuencia de partidos prolongados a lo largo de varios días, observándose una reducción significativa en la producción de fuerza así como en los rangos de IR y externa (ER) del hombro dominante (Brink-Elfegoun et al., 2014; Gescheit et al., 2015). Estas reducciones en la producción de fuerza y movilidad fueron acompañados por una mayor percepción subjetiva de dolor muscular en los tenistas (Brink-Elfegoun et al., 2014; Gescheit et al., 2015; Ojala y Hakkinen, 2013), y además por el incremento de los marcadores de daño muscular (e.g., CK) y la aparición de dolor muscular de aparición tardía tras el primer partido, y después de cada partido en los días posteriores, hasta marcar incrementos de ~500% tras el último día de ambas competiciones (Gescheit et al., 2015; Ojala y Hakkinen, 2013). Esta fatiga asociada al desarrollo de partidos en días consecutivos se plasma en la reducción progresiva observada de los tiempos efectivos de juego, sobre todo en los días 3 y 4 de competición.

En cuanto al rendimiento técnico, es interesante destacar también la discrepancia existente entre los resultados obtenidos en estos estudios. Mientras que Ojala y Hakkinen (2013) observaron un descenso en la velocidad de servicio tras 3 días consecutivos de partidos de 2 h, Gescheit et al. (2015) encontraron que la velocidad de servicio no veía afectada por la acumulación de partidos tras 4 días sucesivos de competición simulada. Sin embargo, en consonancia con Gescheit et al. (2016), Ojala y Hakkinen sí observaron una disminución en la precisión de servicio tras el segundo y tercer día de partido. La relación entre velocidad y precisión en el golpeo ha sido objeto de discusión por parte de diferentes autores, ya que se ha observado que reducciones en velocidad de servicio no implican reducciones en la precisión (Ferrauti et al., 2001c; Hornery et al., 2007b). De hecho, estos últimos

autores sugirieron que, en situación de fatiga, donde se ve afectada la capacidad de sprint y por tanto la precisión en el impacto, el jugador prefería asegurar el golpe, impactando con menos velocidad en busca de asegurar precisión.

De manera general, tras la lectura de este capítulo, se observa cómo la literatura sugiere la aparición y acumulación de fatiga neuromuscular durante partidos largos tanto de manera aguda -un día de competición- como a lo largo de varios días consecutivos de competición, relacionándola con alteraciones en las tareas del rendimiento físico en acciones explosivas (i.e., sprints, cambios de dirección, saltos, potencia de golpeo) y en algunas ocasiones con el rendimiento específico en acciones de precisión (servicio y golpes en juego). De este modo, es posible que la fatiga residual asociada a las recuperaciones limitadas entre partidos sucesivos podría comprometer el rendimiento de los jugadores y por tanto su capacidad de mantener los ritmos habituales de juego. Hasta el momento de la redacción de la presente Tesis Doctoral, no se ha realizado ninguna investigación que aborde los efectos fisiológicos de una competición de tenis a lo largo de varios días consecutivos o con más de un partido en el mismo día en jugadores jóvenes, ya que todas las investigaciones mencionadas con anterioridad han sido desarrolladas en jugadores de tenis de categoría absoluta. En este sentido, sería interesante describir qué ocurre y cómo afecta al rendimiento una competición donde se jueguen dos partidos consecutivos en el mismo día en tenistas jóvenes, convirtiéndose este tipo de tenistas en el objeto de estudio de los artículos 2 y 3 de la presente Tesis Doctoral.



2.4

LA CAFEÍNA COMO AYUDA ERGOGÉNICA EN EL TENIS

Atendiendo a capítulos anteriores, es una realidad que los tenistas jóvenes están sometidos hoy en día a altos volúmenes de entrenamiento y a exigentes calendarios competitivos. Si a esto se le añade el efecto que provoca un partido sobre el jugador (e.g., desequilibrios a nivel neuromuscular, fisiológico y cognitivo provocados por las cargas repetitivas procedentes de la reiteración de acciones a alta intensidad), parece necesario abordar estrategias que traten de disminuir la aparición de la fatiga.

En un estudio reciente se detallan las mejores estrategias de recuperación post-partido utilizadas en el tenis, entre las que destacan las técnicas de enfriamiento, el uso de ropa compresiva y la reposición de fluidos (Kovacs y Baker, 2014). Sin embargo, es interesante poder anticiparse la aparición de la fatiga y a la consecuente reducción del rendimiento que provoca en entrenamiento/competición. En este sentido, desde el punto de vista nutricional, son varias las estrategias percompetitivas que se han planteado en este deporte para tratar de prevenir la aparición de la fatiga y el compromiso sobre el rendimiento físico y técnico. Una de ellas es llevar a cabo una correcta hidratación durante el partido, para evitar deshidrataciones mayores al 2% -contabilizado a partir de los cambios en la masa corporal pre-partido- que pudieran relacionarse con una reducción del rendimiento deportivo. Para ello, se ha recomendado la ingesta de 200 y 400 mL en cada descanso, entre juegos, de un partido de tenis en condiciones de temperatura suaves y extremas, respectivamente (Kovacs, 2008). Sin embargo, la recomendación sobre hidratación más acertada debería ser individualizada y tener en cuenta otros condicionantes como el ritmo de sudoración, la humedad, la radiación solar o la aclimatación al calor. Otra de ellas es el uso de fuentes exógenas de carbohidratos (CHO), cuya ingesta se ha visto efectiva como ergogénica en el ejercicio con base aeróbica (e.g., en dosis de 30-60 g·h⁻¹). En el tenis, no obstante, los resultados del uso de CHO para incrementar o mantener el rendimiento han resultado contradictorios, por lo que

no está clara su efectividad como rutina nutricional durante los partidos (Gomes et al., 2013; Gomes, Moreira, Coutts, Capitani, y Aoki, 2014a; Hornery et al., 2007a; McRae y Galloway, 2012; Peltier et al., 2013; Ranchordas, Rogerson, Ruddock, Killer, y Winter, 2013) pudiendo depender su efectividad de la duración de los partidos. Otras estrategias han sido el uso de suplementaciones con monohidrato de creatina u óxido nítrico a partir de L-arginina, aunque no existe suficiente evidencia científica al respecto que confirme el efecto positivo de estas sustancias en el tenis (Lopez-Samanes et al., 2015). Una de las estrategias más efectivas en otros deportes es el uso de cafeína, ya que el uso de dosis moderadas ha sido efectivo para incrementar el rendimiento tanto en deportes individuales como colectivos (Abian et al., 2015; Bruce et al., 2000; Collomp et al., 1992; Del Coso et al., 2012a; Del Coso et al., 2014; Del Coso et al., 2013; Del Coso, Salinero, Gonzalez-Millan, Abian-Vicen, y Perez-Gonzalez, 2012b; Diaz-Lara et al., 2016a; Diaz-Lara et al., 2016b; Glaister et al., 2008; Goldstein et al., 2010; Killen et al., 2013; Lara et al., 2014a; Lara et al., 2015; P. W. Mumford et al., 2016; Perez-Lopez et al., 2015; Stuart, Hopkins, Cook, y Cairns, 2005). Además, en los últimos años, las bebidas energéticas se han convertido en una de las maneras de consumir este estimulante, no solo a nivel deportivo sino también a nivel social (European Food Safety Authority, 2015). Entre adolescentes, existe una prevalencia en el consumo de estas bebidas energéticas de entre el 30-50% (Seifert, Schaechter, Hershorin, y Lipshultz, 2011), llegando a superar estos niveles cuando lo usan para sobreponerse a la pérdida de energía tras un entrenamiento o una competición (Buxton y Hagan, 2012).

Como sugiere J. R. Hoffman (2010) en su revisión sobre bebidas energéticas y cafeína, los efectos positivos de una bebida energética se producen principalmente por la acción de dos de sus componentes, los CHO, en menor medida, y sobre todo por la cafeína. El efecto de estos dos componentes permite, según la National Federation of State High School Associations (2011), mitigar la aparición de fatiga y mejorar el rendimiento de una manera sencilla gracias, por un lado, a la estimulación del SNC que provoca su alto contenido de cafeína, y por otro, al aporte nutricional que provoca los CHO. Por este motivo, en los siguientes capítulos se van a investigar las consecuencias del uso de la cafeína en tenistas jóvenes.

2.4.1. La cafeína

La cafeína (1,3,7- trimetilxantina) es un alcaloide natural presente en hojas, frutas y semillas de varias plantas (café, cola, te, mate, etc.) en cantidades diferentes, como se aprecia en la Tabla 3. La cafeína también se puede sintetizar en laboratorios como componente de ciertos medicamentos, cosméticos, suplementos nutricionales y bebidas comerciales (Magkos y Kavouras, 2005).

Tabla 3. Contenido de cafeína en alimentos de la dieta cotidiana.

Alimento / Bebida	Contenido total (ml)	Contenido de cafeína (mg)
Taza de café colado	200	90
Lata de bebida energética	250	80
Taza de café negro (<i>espresso</i>)	60	80
Taza de té negro	220	50
Lata de refresco de cola	355	50
Barra de chocolate con leche	50	10

Fuente: (European Food Safety Authority, 2015).

A pesar de no ser una sustancia clave para los procesos fisiológicos ni ser considerada un nutriente, la cafeína tiene una acción estimulante muy potente en el SNC que aumenta el nivel de alerta, activación y vigorosidad, y produce una disminución de la somnolencia (Heckman, Weil, y Gonzalez de Mejia, 2010). Además, la cafeína produce una serie de efectos indirectos sobre el organismo, como la relajación del músculo liso, el aumento del flujo renal y producción de orina en reposo, el incremento de la lipólisis, el incremento de la concentración de catecolaminas en sangre y el aumento de la FC y de la fuerza de contracción muscular (Graham, 2001; Magkos y Kavouras, 2005). No obstante, existe evidencia científica actual que sugiere que el consumo de bebidas energéticas o alimentos con contenido en cafeína es seguro en población sana (Campbell et al., 2013), al menos en una dosis menor a los 200 mg·día⁻¹.

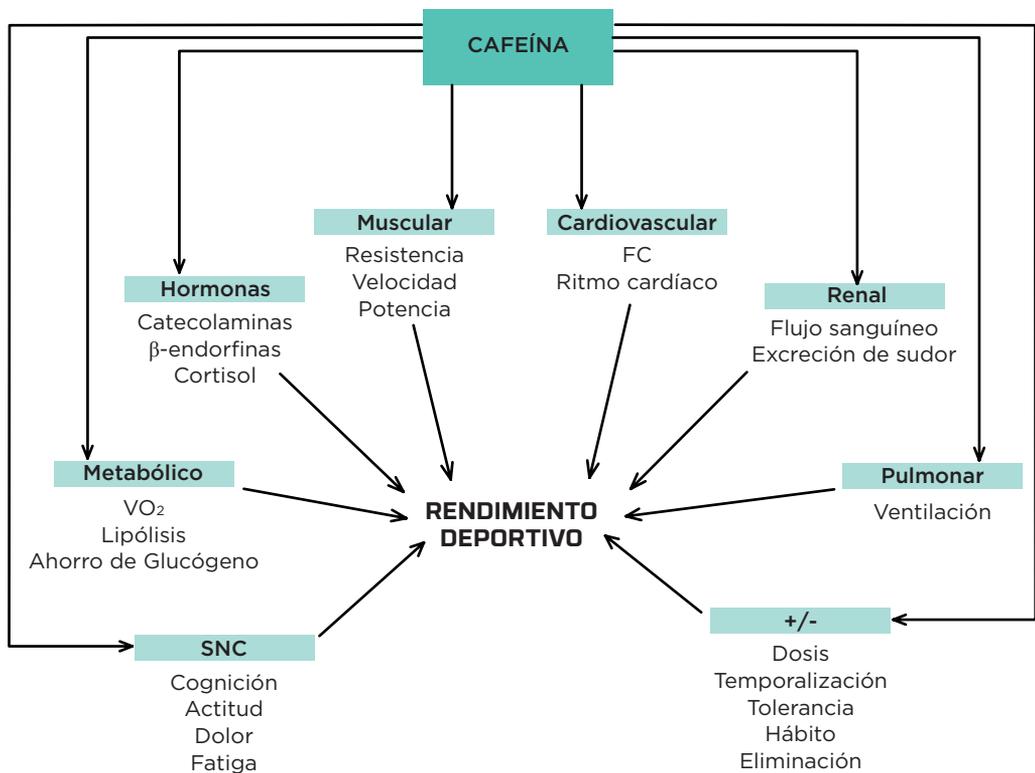
El efecto que produce la cafeína viene determinado por lo habituado que esté el cuerpo a su ingesta (Attwood, Higgs, y Terry, 2007), ya que es una sustancia que produce tolerancia, hecho que puede reducir su capacidad ergogénica (Beaumont et al., 2016). La velocidad con la que el organismo la absorbe, hecho que tiene lugar en el aparato digestivo, viene determinada por varios factores: dosis ingerida, composición (volumen, pH; (Bonati et al., 1982)) y por el formato en el que se consume. En este sentido, diversos estudios han comparado las velocidades de absorción en función de diferentes formas de ingesta, concluyendo que la forma de absorción de más lenta a más rápida es a través de bebidas de cola, bebidas de café o té, cápsulas y chicles de cafeína (Kamimori et al., 2002; Magkos y Kavouras, 2005; Marks y Kelly, 1973). El tiempo de absorción se completa sobre los 45-60 min (G. Mumford et al., 1996), aunque ya a partir de los 15 min, y hasta los 120 posteriores a su ingesta, se empieza a alcanzar el pico de concen-

tración en plasma (Kamimori et al., 2002; G. Mumford et al., 1996). La vida media en el cuerpo es de aproximadamente 2,5 h tras la ingesta, y la excreción total se produce después de aproximadamente 10 h, para dosis no superiores a $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína, aunque esta velocidad, vendrá influida por la actividad del citocromo CYP1A2 (Magkos y Kavouras, 2005) -encargado de su metabolización en el hígado (Hakooz, 2009)- y del tipo de consumidor (e.g., habitual o esporádico; (Van Soeren, Sathasivam, Spriet, y Graham, 1993)).

2.4.2. Cafeína y rendimiento deportivo

A pesar de que las primeras evidencias científicas que relacionan cafeína y deporte datan de hace más de 100 años (Rivers y Webber, 1907), y de que ya finalizando el último cuarto de siglo XX se recoge cómo a principios del mismo ya se mencionaban recomendaciones sobre la prohibición o control del uso de la cafeína debido a la mejora de rendimiento que provocaba su ingesta (Perkins y Williams, 1975), no ha sido hasta los últimos 40 años cuando se han ido multiplicando exponencialmente las investigaciones sobre el uso de la cafeína en la población deportiva. Tanto es así, que hoy en día ya existen un gran número de textos en los que se revisa la influencia de esta sustancia en el organismo en el ejercicio físico general y el rendimiento deportivo en diferentes modalidades (Goldstein et al., 2010; Graham, 2001; Magkos y Kavouras, 2005), así como también específicamente en el tenis (Hornery et al., 2007b; Lopez-Samanes et al., 2015). Sokmen et al. (2008) realizaron una revisión en la que recopilaron los posibles mecanismos relacionados con el efecto ergogénico de la cafeína en el deporte (Figura 4). Entre ellos, destaca el efecto sobre el SNC, sobre variables metabólicas, sobre la producción de hormonas y sobre los sistemas cardiovascular, pulmonar y muscular.

Aunque la cafeína tiene un efecto más potente cuando se ingiere en forma anhidra incluida en cápsulas (Goldstein et al., 2010), la gran mayoría de los deportistas recurren al café o a las bebidas energéticas para su consumo (J. R. Hoffman, 2010), probablemente por la mejor accesibilidad comercial a estos productos. En sendos estudios sobre el análisis de muestras de orina procedentes de controles antidopaje realizados a deportistas lo largo de los periodos de 1993-2002 (Van Thuyne, Roels, y Delbeke, 2005) y 2004-2008 (Del Coso et al., 2013), con más de 11.000 y 20.000 muestras respectivamente, se observó que aproximadamente 3 de cada 4 deportistas ingería cafeína antes de la competición. Por esta razón, muchos investigadores han recurrido al estudio de la cafeína, y de las bebidas energéticas en particular, para analizar los resultados tanto positivos como negativos que se derivan de su ingesta.



FC, frecuencia cardíaca; VO₂, consumo de oxígeno.

Figura 4. Efecto de la cafeína sobre los sistemas del cuerpo humano y sobre el rendimiento deportivo. Traducido de Sokmen et al. (2008).

Con respecto a su efecto de mejora en el rendimiento, la cafeína se ha demostrado efectiva cuando se consume a partir de dosis bajas-moderadas (e.g., entre 3 y 6 mg·kg⁻¹) en deportes de resistencia y en deportes de alta intensidad tanto de duración prolongada (Goldstein et al., 2010), como intermitentes (Killen et al., 2013). Por encima de estas dosis (e.g., >9 mg·kg⁻¹), a pesar de haberse observado mejoras del rendimiento, no han sido mayores que las encontradas con dosis de entre 3-6 mg·kg⁻¹, por lo que no se recomiendan al no existir evidencia de dosis-respuesta. Para hacernos una idea sobre las cantidades mencionadas, según la European Food Safety Authority (EFSA), esa dosis de 3 mg·kg⁻¹ de cafeína la excede un 4% de la población adulta, en forma de bebida energética, al realizar ejercicio físico (European Food Safety Authority, 2015).

Con respecto al rendimiento deportivo, se encontró que 3 mg·kg⁻¹ de cafeína en forma de bebida energética, frente a la ingesta de placebo, incrementó la

distancia total recorrida y la distancia recorrida en sprint en fútbol femenino (e.g., $>18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; (Lara et al., 2014a)), en fútbol masculino (e.g., $>13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; (Del Coso et al., 2012a) y rugby masculino de élite (e.g., $>20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; (Del Coso et al., 2013)). Asimismo, esa misma dosis aumentó el número de desplazamientos realizados en un partido simulado de bádminton de 45 min de duración (Abian et al., 2015).

También se hallaron resultados que demuestran el efecto ergogénico de la cafeína en la velocidad en deportes individuales como el remo (e.g., incremento en la potencia media de remada en un test de 2.000 m y disminución del 1,2% del tiempo de realización de la prueba, con ingestas de 6 y 9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Bruce et al., 2000)) y la natación (e.g., disminución del tiempo de finalización de pruebas de 100 m libre (Collomp et al., 1992), y 50 m en diferentes estilos (Lara et al., 2015), con dosis de 250 mg y 3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente). Ingestas de 5-6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína encapsulada, o en forma de bebida energética, fueron efectivas a la hora de mejorar el rendimiento en situaciones de sprints repetidos en diferentes deportes colectivos como fútbol femenino y masculino, rugby y rugby 7 (Del Coso et al., 2012a; Glaister et al., 2008; Lara et al., 2014a; Stuart et al., 2005). Dosis más bajas (3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en forma de bebida energética aumentaron el ritmo de carrera tanto en test de sprints repetidos como en partido simulado de rugby 7 (Del Coso et al., 2013), sin afectar a la velocidad máxima alcanzada.

Dosis de 3 y 6 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína también mostraron una mejora en la velocidad de contracción dinámica máxima en acciones de corta duración en tren superior (Bazzucchi, Felici, Montini, Figura, y Sacchetti, 2011; Del Coso et al., 2012b). En cuanto a potencia, se observó como la ingesta de 3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína mejoró la potencia de salto de jugadores de rugby 7 (Del Coso et al., 2012a), de fútbol masculino (Del Coso et al., 2013), de jugadoras de fútbol femenino (Lara et al., 2014a), de atletas de Brazilian Jiu-jitsu (Diaz-Lara et al., 2016a), de jugadores y jugadoras de voleibol (Del Coso et al., 2014; Perez-Lopez et al., 2015) y de jugadores de bádminton de élite, a quienes esta dosis también hizo incrementar la altura de vuelo en remate (Abian et al., 2015).

Cabe destacar también, por último, cómo la ingesta de 1,9 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína, frente a un placebo, produjo una mejora en el rendimiento técnico específico de golfistas, mejorando su precisión y su distancia total de golpeo así como el resultado final en competición, reduciendo significativamente su percepción de fatiga y aumentando la de energía (P. W. Mumford et al., 2016). Por su parte, la ingesta de 3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ mejoró la precisión de acciones de juego en competición en voleibol masculino (Del Coso et al., 2014) y femenino (Perez-Lopez et al., 2015)

aunque no supuso la mejora del porcentaje total de puntos ganados en una competición simulada de bádminton con partidos de 45 minutos de duración (Abian et al., 2015).

Aparte de tener este efecto ergogénico sobre el rendimiento físico, la cafeína puede provocar una serie de efectos secundarios sobre los deportistas, principalmente en las horas siguientes a su ingestión. Según indican Pallares et al. (2013), la frecuencia en la aparición de efectos secundarios como insomnio (54%), problemas gastrointestinales (38%) o incremento en la producción de orina (54%) incrementaron drásticamente entre ingestas agudas ($9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y bajas o moderadas (de 3 a $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). A este respecto, frente al placebo, los efectos observados por Salinero et al. (2014) tras suministrar dosis bajas-moderadas de cafeína ($3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a 90 deportistas en diferentes modalidades deportivas, fueron la prevalencia de insomnio (20,8%), nerviosismo (13,2%) y activación (13%). No encontraron diferencias en la prevalencia de efectos secundarios entre hombres y mujeres.

2.4.3. Cafeína en deportistas menores de edad

Como se ha observado en el apartado anterior, la literatura científica en torno al efecto de la cafeína en el rendimiento deportivo en diversas modalidades deportivas es extensa. Sin embargo, hasta el conocimiento del autor, las investigaciones acerca de su efecto ergogénico en deportistas jóvenes (e.g., menores de edad) son escasas. A pesar de las recomendaciones de la National Federation of State High School Associations (2011) de evitar el uso de bebidas energéticas como bebida de hidratación antes, durante y después de realizar actividad física, el consumo de estas bebidas con contenido en cafeína se ha incrementado notablemente en los jóvenes en los últimos años, y más concretamente en los jóvenes atletas, en busca de esa posible mejora del rendimiento deportivo de una manera fácil y rápida. A este respecto, dos investigaciones realizadas en los Estados Unidos (Forman, Dekker, Javors, y Davison, 1995) y Canadá (Temple, 2009), mostraron que el 27% de los jóvenes entre 11 y 19 años en estos dos países consumen cafeína antes de sus competiciones.

Una de las investigaciones que ha relacionado cafeína, rendimiento físico y deportistas jóvenes, se ha comprobado que una dosis de $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína produjo un efecto positivo sobre el tiempo de reacción en un equipo de fútbol de jugadores adolescentes. A través de un test de agilidad, encontraron que obtenían tiempos más rápidos de reacción cuando el sprint lo realizaban hacia el lado de su pierna no dominante (Jordan, Korgaokar, Farley, Coons, y Caputo, 2014). En cuan-

to al patrón de desplazamiento, Pettersen et al. (2014) llevaron a cabo una investigación con dos equipos junior de fútbol en la que, tras suministrarles $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína, no observaron diferencias frente a la ingesta de placebo en la distancia total recorrida, distancia total esprintada o distancia recorrida a alta intensidad. Por su parte $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína, tampoco fueron suficientes para mejorar la distancia total recorrida en el Yo-Yo test en jugadores de baloncesto de categoría junior, aunque sí produjeron un incremento en la potencia de salto (Abian-Vicen et al., 2014). En este mismo estudio, se analizó el efecto de la cafeína sobre el rendimiento técnico, pero se obtuvo que la precisión de tiro de corta (e.g., test de tiros libres) y larga (e.g., test de tiros de 3 puntos) distancia no varió con respecto a la ingesta de placebo.

2.4.4. Tenis y cafeína

En base a estos datos, y teniendo en cuenta las características y exigencias propias del tenis, los incrementos en la velocidad, en la potencia y en la fuerza muscular derivados de la ingesta de dosis moderadas de cafeína podrían resultar fundamentales a la hora de mejorar el rendimiento neuromuscular en el tenis, pudiendo repercutir de manera positiva en los resultados en los partidos.

A pesar de ser una de las sustancias más consumidas en el ámbito deportivo (Del Coso, Munoz, y Munoz-Guerra, 2011), las investigaciones que han estudiado la eficacia de la ingesta de cafeína como mejora del rendimiento en el tenis son escasas. Vergauwen, Brouns, y Hespel (1998) trataron de observar el efecto de la cafeína sobre el rendimiento neuromuscular y técnico de tenistas. Tras la realización de dos protocolos diferentes (calidad de golpeo y test de sprints), encontraron que, en comparación con el placebo, la ingesta de un compuesto de CHO y cafeína ($5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) produjo una mejora en la velocidad-precisión del servicio, en golpes en intercambios defensivos y en el rendimiento de carrera en la fase final de un partido de tenis fatigante. Sin embargo, observaron que la mayoría de estos efectos fueron los mismos que los obtenidos tras la ingesta de una solución compuesta solamente de CHO. De este modo, estos autores concluyeron que la cafeína no produjo ningún tipo de beneficio adicional que no hubiera provocado la ingesta de CHO. En otro estudio en el que la dosis fue prácticamente similar a la del estudio anterior (e.g., ligeramente inferior a $5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), se observó que dicha dosis fue insuficiente para mejorar el rendimiento de hombres y mujeres en un test de sprints repetidos (RSA) de velocidad y en precisión de golpeo en test con una máquina lanzabolas (ML), tras un perio-

do de juego prolongado (tres partidos de 70 min con descanso de 30 min tras el segundo partido). Frente al placebo, o a los CHO, sí incrementó el número total de juegos ganados durante el partido por las mujeres, no así por parte de los hombres (Ferrauti, Weber, y Struder, 1997). Por otro lado, la ingesta de dosis muy similares ($4,48 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) de cafeína, con el mismo protocolo y tiempos que el estudio anterior, no mostró beneficio sobre el rendimiento técnico, test de ML, ni sobre el número de juegos ganados con respecto a la ingesta de placebo o CHO (Struder, Ferrauti, Gotzmann, Weber, y Hollmann, 1999). Ya en la última década, Strecker (2007), suministró una dosis de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína para observar su efecto a lo largo de un partido simulado contra una ML, a través de un test de rendimiento de golpeo de tenis. Esta investigación concluyó que el rendimiento técnico obtenido con la ingesta de cafeína fue mayor en la parte final del partido con respecto a la ingesta de placebo. Hornery et al. (2007a) comprobaron que, frente a la ingesta de placebo y/o CHO, la ingesta de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína redujo parcialmente los efectos de la fatiga en partidos simulados de tenis y aumentó la velocidad de servicio en el set final en los 4 partidos analizados, en tenistas junior bien entrenados. Por su parte, el consumo de $6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína, frente al de placebo, mejoró la precisión de golpeo durante un test de habilidad en tenistas universitarios, tras la realización de 45 minutos de ejercicio intermitente en cinta simulando gestos de tenis (Klein et al., 2012). Por último, Reyner y Horne (2013) estudiaron el efecto de la ingesta de 80 mg de cafeína, frente a un placebo, sobre el rendimiento técnico de tenistas que habían sido sometidos a una reducción del 33% del tiempo de sueño (5 h vs 8 h). Los resultados reflejaron que aquellos que durmieron menor número de horas fueron menos precisos en el golpeo, y que la ingesta de cafeína no compensó esta falta de sueño, obteniendo el mismo decremento en la precisión que con la ingesta de un placebo.

Como se puede observar en la Tabla 4, las muestras, los protocolos empleados y las dosis suministradas en estos estudios son muy diferentes, donde algunos combinan la cafeína con otras sustancias (e.g., CHO). De este modo, basándonos en estas evidencias científicas, la eficacia de la cafeína como ayuda ergogénica en tenis resulta, cuanto menos, contradictoria. Sumando a este hecho la falta de literatura en este ámbito en etapas juveniles, edades claves a la hora de desarrollar la carrera deportiva del jugador, surge la necesidad de realizar una investigación sobre la efectividad de esta sustancia en el rendimiento deportivo de tenistas jóvenes, objeto de análisis del cuarto estudio de la presente Tesis Doctoral. Los objetivos e hipótesis de la misma pasan a describirse en el siguiente capítulo.

Tabla 4. Resumen de las investigaciones sobre el efecto de la cafeína en

Estudio	Muestra	Protocolo	Dosis (mg·kg ⁻¹)
(Vergauwen et al., 1998)	13 ♂ adultos	1 partido 2 h (vs placebo vs CHO+cafeína)	3
(Ferrauti et al., 1997)	8 ♂, 8 ♀	3 partidos 75 min (vs placebo vs CHO)	♂ 4,5 ♀ 4
(Struder et al., 1999)	8 ♂ adultos	3 partidos 70 min (vs placebo vs CHO)	4,48
(Strecker, 2007)	10 ♂ adultos	1 partido 90 min (ML) (vs placebo)	3
(Hornery et al., 2007a)	12 ♂ junior	4 partidos 60 min (ML) (vs placebo)	3
(Klein et al., 2012)	8 ♂, 8 ♀ adultos	45 min ejercicio intermitente en cinta (vs placebo)	6
(Reyner y Horne, 2013)	6 ♂, 6 ♀ adultos	Restricción 33% sueño (5h vs 8h) (vs placebo)	80 mg

ML, máquina lanzabolos; ♀, mujeres; ♂, hombres; ↑, aumento; ↔, sin mejora; ↓, disminución.
Adaptada de Hornery et al. (2007b) y Lopez-Samanes et al. (2015).

el tenis hasta la fecha de escritura de la presente Tesis Doctoral.

Variables medidas

Efecto sobre el rendimiento

Test golpeo (ML)
Sprints

vs placebo: ↑ todas
vs CHO: ↔ Precisión y velocidad golpeo
↔ Tiempo en sprints

Test golpeo (ML)
Juegos ganados
RSA

↔ ♂ y ♀
↔ ♂ y ↑ ♀
↔ ♂ y ↑ ♀ tiempo en sprints

Test golpeo (ML)
Juegos ganados

vs CHO o placebo:
↔ Precisión golpeo
↔ Juegos ganados

Test golpeo (ML)

vs placebo: ↓ errores no forzados en la última
fase de partido

Test golpeo (ML)
Servicio

vs CHO o placebo:
↔ Velocidad y precisión golpeo
↑ Velocidad servicio set final

Test de golpeo

↑ Precisión golpeo

Test de servicio

vs 8h: ↓ Precisión servicio
vs placebo: ↔ Precisión servicio



3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS



Los objetivos de esta Tesis Doctoral fueron describir y analizar el comportamiento y el rendimiento de jugadores adolescentes con nivel de competición en diferentes situaciones de competición simulada, así como investigar el efecto en el rendimiento físico a través de una ayuda ergogénica -cafeína, en forma de bebida energética-. De cara a la consecución de estos objetivos se llevaron a cabo cuatro investigaciones en las que se plantearon diferentes objetivos específicos, que se detallan a continuación:

1. Estudio 1:

Determinar la edad media, edad de entrada y edad de obtención del pico rendimiento de aquellos jugadores clasificados entre los 100 primeros del ranking mundial absoluto profesional a lo largo de los últimos 30 años en categoría masculina y de los últimos 16 años en categoría femenina.

La hipótesis fue que la edad media de los jugadores clasificados dentro de dichas posiciones en ambos circuitos ha aumentado a lo largo de estos periodos temporales, siendo más tardía la entrada a estas posiciones del ranking, y alcanzando el pico de rendimiento con edades más avanzadas.

2. Estudio 2:

Describir y comparar los patrones de actividad, desplazamiento y el compromiso fisiológico en la pista de tenistas jóvenes con nivel de competición en una competición simulada con dos partidos en el mismo día, en función de la sesión de juego (e.g., sesión de mañana vs sesión de tarde) y del resultado final obtenido en los partidos (e.g., ganadores vs perdedores).

La hipótesis de partida fue que los patrones de desplazamiento y de actividad, así como el compromiso fisiológico, serían diferentes entre los partidos de sesión de mañana y de tarde y entre ganadores y perdedores.

3. Estudio 3:

Analizar los efectos producidos sobre el rendimiento físico (e.g., potencia de tren inferior, velocidad, agilidad, fuerza y rangos de movilidad de tren superior e inferior) y técnico (e.g., velocidad máxima de servicio) el día posterior a una competición simulada con dos partidos en un mismo día en tenistas jóvenes.

La hipótesis inicial fue que este tipo de competición, con dos partidos en el mismo día, produciría una reducción en el rendimiento físico y técnico de estos jugadores.

4. Estudio 4:

Determinar el efecto de una bebida energética con $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína sobre el rendimiento físico en tenistas jóvenes con nivel de competición, tanto en situación de test como en un partido de competición simulada.

La hipótesis fue que esta dosis de cafeína, frente al placebo, incrementaría el rendimiento físico, tanto en los test específicos como durante el partido de competición simulada, favoreciendo un mayor número de puntos ganados.

— A continuación, se incluye un cuadro resumen donde se detallan las principales características metodológicas y resultados más destacados de los cuatro estudios que engloban la presente Tesis Doctoral (Tabla 5). Para la realización del primer estudio (estudio 1) se consultaron diferentes bases de datos de acceso público, mientras que los 3 experimentos siguientes (estudios 2, 3 y 4) fueron realizados en condiciones ecológicas de competición simulada. En el momento de impresión de esta Tesis Doctoral tres de los cuatro estudios (estudio 1, 3 y 4) habían sido publicados en revistas científicas dentro del área de conocimiento de las Ciencias del Deporte con factor de impacto Journal Citation Report (JCR), y uno de ellos se encontraba bajo revisión en una revista de este mismo factor. Además, uno de los artículos ya publicados (estudio 1), fue también publicado en un diario de información generalista, versión papel y digital, de tirada nacional para la divulgación de los resultados obtenidos en el mismo (Ciriza, 2016). La Tabla 6 incluye las revistas científicas en las que se han publicado los artículos incluidos en la presente Tesis Doctoral, indicando también el año de publicación, el cuartil en el que se encuentra la revista dentro del área de conocimiento y el factor de impacto JCR correspondiente al año de publicación. —

Tabla 5. Resumen de la metodología empleada y principales resultados obtenidos en los cuatro estudios de la presente Tesis Doctoral.

	ESTUDIO 1	ESTUDIO 2	ESTUDIO 3	ESTUDIO 4
DISEÑO	Estudio descriptivo y longitudinal.	Estudio experimental de medidas repetidas y entre grupos. Estudio ecológico.	Estudio experimental de medidas repetidas (pre-post test) Estudio ecológico.	Estudio experimental aleatorizado, doble ciego de medidas repetidas. Estudio ecológico.
MUESTRA	4.600 posiciones del top100 ranking ATP y WTA. 1.040 tenistas profesionales (647 hombres y 393 mujeres).	12 tenistas jóvenes, todos ellos chicos, con nivel de competición.	12 tenistas jóvenes con nivel de competición (8 chicos y 4 chicas).	14 tenistas jóvenes con nivel de competición (10 chicos y 4 chicas).
VARIABLES MEDIDAS	Edad y clasificación en el top100 del ranking.	Competición simulada: Distancia total y por zonas de velocidad, sprints, velocidad carrera, aceleraciones / deceleraciones FC, RPE.	Test: Tiempo sprint 10m y agilidad 5-0-5, altura CMJ, velocidad servicio, ROM de cadera y hombro, fuerza de hombro, cadera y prensión.	Test: Fuerza prensión, RSA. Competición simulada: distancia total y por zonas, sprints velocidad carrera y servicio, FC, puntos ganados con servicio y resto.
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	ANOVA de dos vías, ANOVA de medidas repetidas y Chi-Cuadrado de Pearson con SPSS.	Magnitud del Tamaño del Efecto 90% CI con Hoja de Cálculo de Hopkins.	Magnitud del Tamaño del Efecto 90% CI con Hoja de Cálculo de Hopkins.	T-Student y ANOVA de 2 vías con SPSS.
PRINCIPALES RESULTADOS	La edad media de los top100 y su edad de acceso a estas posiciones aumentaron en ambos sexos. El pico de rendimiento fue logrado de manera más precoz en mujeres que en hombres.	Los patrones de actividad y desplazamiento fueron diferentes en el partido de la mañana frente al de la tarde. La velocidad máxima fue mayor en los perdedores que en los ganadores de partido.	El día después a dos partidos los jugadores saltaron menos, fueron más lentos en sprint y cambios de dirección, produjeron menos fuerza y se modificó su rango de movilidad (hombro y cadera).	La ingesta de 3 mg·kg ⁻¹ de cafeína incrementó las variables implicadas en el rendimiento neuromuscular mejorando el patrón de desplazamiento y favoreciendo el incremento del rendimiento técnico.

ATP, asociación de tenistas profesionales; WTA, asociación de mujeres tenistas; ANOVA, análisis de la varianza; FC, frecuencia cardiaca; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo; CI, intervalo de confianza; CMJ, salto con contramovimiento; ROM, rango de movimiento; RSA, test de capacidad de sprints repetidos.

Tabla 6. Resumen de la revista, año de publicación, cuartil y factor de impacto *Journal Citation Report* (JCR) de los artículos incluidos en la presente Tesis Doctoral.

	Nombre de la revista	Año	Cuartil	Factor de Impacto JCR
Estudio 1	International Journal of Performance Analysis in Sport	2015	Q3	1,01
Estudio 2 En revisión			
Estudio 3	Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism	2017	Q2	1,91
Estudio 4	International Journal of Sports Physiology and Performance	2017	Q1	3,04

Q, cuartil; JCR, Journal Citation Report.

4.1 ESTUDIO 1

EL TENIS PROFESIONAL ENVEJECE: EDAD DE LOS 100 PRIMEROS JUGADORES DEL RANKING

Objetivos

El objetivo fundamental de esta investigación fue determinar la edad media, edad de entrada y edad de logro del pico rendimiento de aquellos jugadores clasificados entre los 100 primeros del ranking mundial absoluto profesional a nivel a lo largo de los últimos 30 años en categoría masculina y de los últimos 16 años en categoría femenina.

La hipótesis fue que la edad media de los jugadores clasificados dentro dichas posiciones en ambos circuitos a lo largo de estos periodos temporales ha aumentado, siendo más tardía la entrada a estas posiciones del ranking, y alcanzando el pico de rendimiento con edades más avanzadas.

Material y métodos

Participantes

Para llevar a cabo el estudio se analizaron las fechas de nacimiento de los jugadores que ocupaban las 100 primeras posiciones (top100) de los rankings masculino y femenino de tenis absoluto profesional. El periodo de análisis fue de 30 años (desde 1984 hasta 2013) en el ranking ATP, masculino, y de 16 años (desde 1998 hasta 2013) en el ranking WTA, femenino. En total se analizaron 4.600 posiciones de ranking (3.000 masculinas y 1.600 femeninas), correspondientes a una muestra total de 1.040 tenistas (647 hombres y 393 mujeres).

Protocolo Experimental

El diseño de este estudio fue longitudinal y descriptivo. Los datos fueron obtenidos de las páginas web oficiales de ambas asociaciones (Association of Tennis Players, 2015; Women Tennis Association, 2014). Los periodos de análisis se centran en esos años debido a que las webs oficiales no incluían datos

completos de los 100 primeros jugadores de ambos rankings previos a 1984 (masculino) y 1998 (femenino). De cara a estandarizar el análisis, se tomó como referencia la clasificación del ranking de la última semana de cada año, que es la que incluye la totalidad de puntos obtenidos a lo largo de toda la temporada. El pico de rendimiento se estableció a través de la mejor clasificación obtenida por un jugador en el ranking en la última semana de cada año. De igual manera, tan solo se tuvo en cuenta la edad más temprana en conseguir una mejor clasificación en el ranking, para aquellos jugadores que la hubieran obtenido (por ejemplo, número 1) en más de una ocasión al finalizar el año. Los datos de las clasificaciones obtenidas de los años iniciales de estudio, 1984 y 1998 respectivamente, fueron excluidos del análisis del pico de rendimiento. El estudio fue revisado por un Comité de Ética de acuerdo con la última versión de la Declaración de Helsinki. Dicho Comité indicó que esta investigación no requería aprobación por parte del Comité.

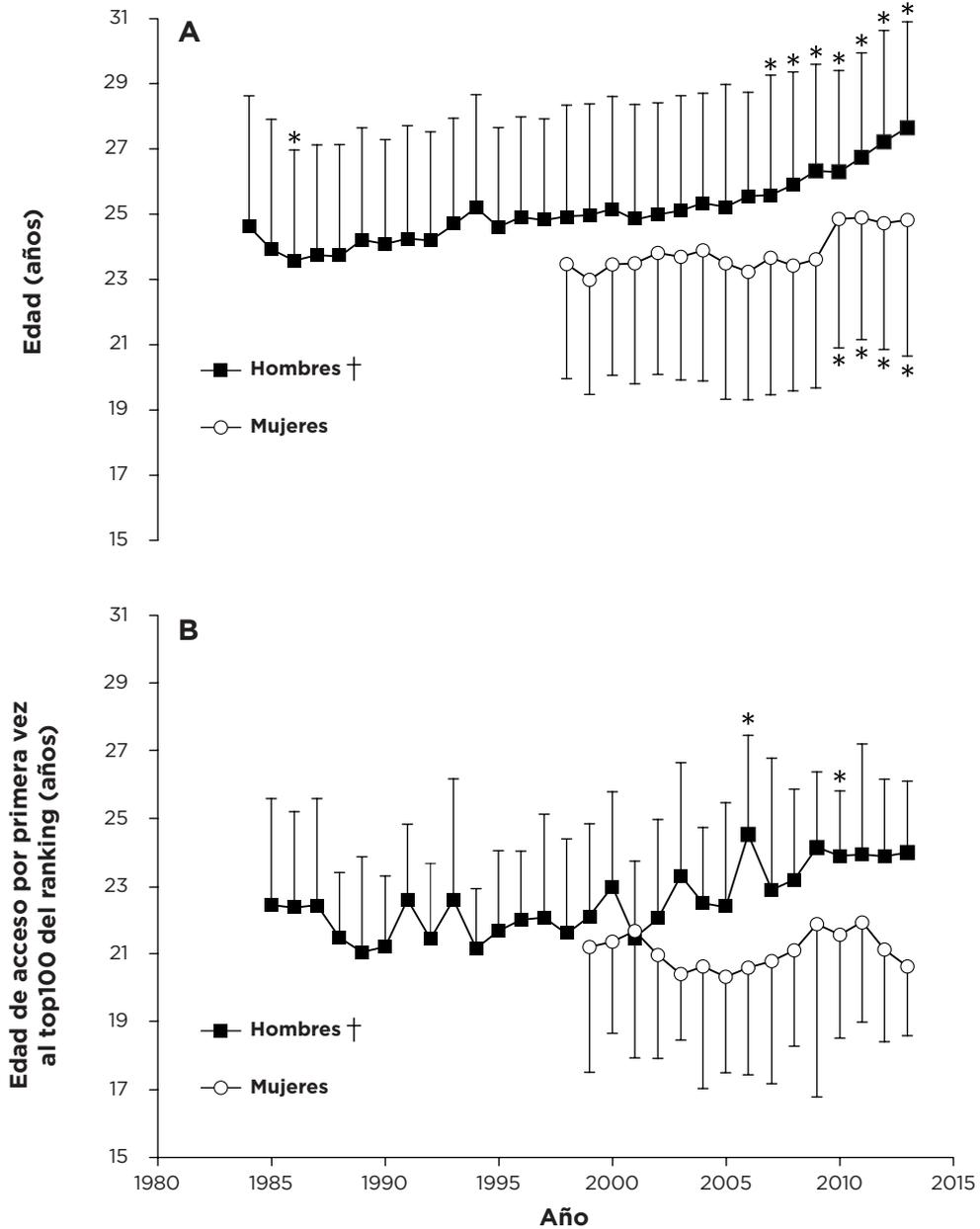
Análisis Estadístico

Los resultados se presentaron como media \pm desviación estándar (SD). Se calcularon las diferencias entre grupos de ranking (top100, top50, top25, etc.) y entre sexos (masculino y femenino) a través de una ANOVA de dos vías, y se realizó una ANOVA de medidas repetidas para calcular las diferencias de edad entre sexos y años analizados. En aquellos casos en los que hubo diferencias significativas, se usaron ajustes de Bonferroni. Para calcular la distribución de frecuencias, se realizó un análisis a través de la prueba de Chi-cuadrado. Todos los análisis comentados se realizaron a través del paquete estadístico SPSS versión 20,0 (SPSS Inc, Estados Unidos). El nivel de significación se fijó en $P < 0,05$.

Resultados

La Figura 5 muestra la evolución de edad de los tenistas incluidos en el top100 del ranking ATP del periodo de 30 años comprendido entre 1984-2013 y de las jugadoras incluidas en el top100 del ranking WTA del periodo de 16 años comprendido entre 1998-2013.

Se observó cómo la media de edad de los 100 mejores tenistas de ambos sexos ha ido incrementando de manera progresiva a lo largo del periodo estudiado. Comparando con el primer año de análisis, se observó cómo las medias de edad eran significativamente superiores desde 2007 hasta 2013 para hombres (al compararlo con el año 1984; $P < 0,05$) y desde 2010 a 2013 para mujeres (al compararlo con el año 1998; $P < 0,05$).



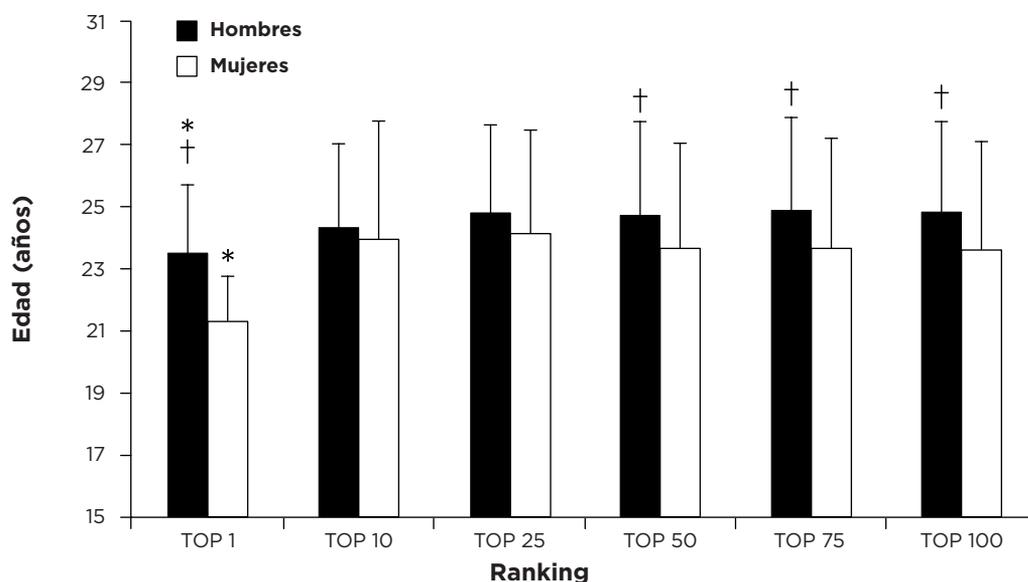
(*) Diferente del primer año de análisis ($P < 0,05$).

(†) Diferente de las mujeres en datos pareados ($P < 0,05$).

Figura 5. Evolución de la edad media de los jugadores incluidos en el top100 del ranking de los circuitos ATP y WTA desde 1984 y 1998, respectivamente (Figura 5A). Edad de acceso por primera vez al top100 del ranking de ambos circuitos, desde el año 1985, masculino, y 1999, femenino (Figura 5B).

Concretamente, la edad media del circuito masculino incrementó significativamente de $24,6 \pm 3,9$ años en 1984 a $27,6 \pm 3,2$ años en 2013 ($P < 0,01$). Algo similar ocurrió en el circuito femenino, donde la edad media pasó de ser de $23,5 \pm 3,5$ años en 1998 a $24,8 \pm 4,2$ años en 2013 ($P < 0,01$). Al comparar la edad media de top100 entre las categorías masculina y femenina, se observó que había diferencias significativas en cada uno de los años pareados de análisis, siendo mayor la edad media del circuito ATP (de media, $25,1 \pm 3,5$ años en hombres vs $23,9 \pm 3,9$ años en mujeres; $P < 0,01$).

De media a lo largo de esos 30 años, los jugadores del top100 del ranking masculino alcanzaron su pico de rendimiento (mejor clasificación en el ranking) a los $24,8 \pm 2,9$ años, mientras que este pico fue alcanzado significativamente antes ($23,6 \pm 3,5$ años) en el circuito femenino ($P < 0,01$), a lo largo de los 16 años analizados en este caso. En la Figura 6, donde se muestran las edades de obtención del pico de rendimiento de los jugadores que consiguieron alcanzar como máximo diferentes posiciones en los rankings (top1, top10, top25, top50, etc.), se observa cómo aquellos jugadores que consiguieron alcanzar el número 1 del ranking lo realizaron de una manera más precoz que el resto de jugadores que



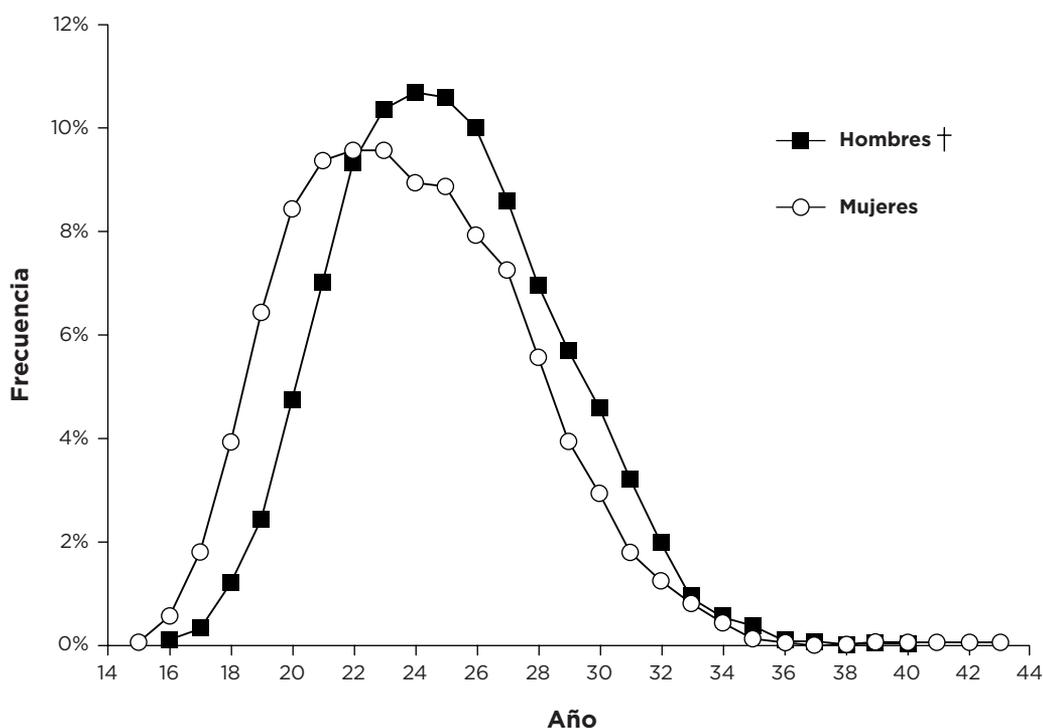
(*) Diferente del top100 ($P < 0,05$).

(†) Diferente de las mujeres ($P < 0,05$).

Figura 6. Edad media a la que los jugadores incluidos en el top100 del ranking de los circuitos ATP y WTA lograron su pico de rendimiento, de acuerdo al mejor ranking alcanzado en su carrera.

no llegaron a tal puesto (top10, top25, etc.). Además, se observaron diferencias significativas entre ambos circuitos en los jugadores que consiguieron alcanzar el número 1, el top50, el top75 y el top100. En todos esos casos, las mujeres siempre lograron alcanzar el pico de rendimiento a una edad más temprana que los hombres (Figura 6; $P < 0,05$).

La Figura 7 representa la distribución de la frecuencia por edades, en intervalos de 1 año, de ambos circuitos (ATP y WTA) a lo largo de sus respectivos periodos de análisis. Ambas curvas presentaron una distribución de U invertida, aunque se observó que estadísticamente eran diferentes, siendo la franja de edad 22 a 28 años la más frecuente entre los jugadores del circuito masculino y de 18 a 26 años la del circuito femenino ($P < 0,01$). Concretamente, la edad más frecuente de jugadoras de la WTA se encontró en los 21 años, frente a los 24 años del circuito masculino ($P < 0.01$).



(†) Diferente de las mujeres ($P < 0,05$).

Figura 7. Distribución de la frecuencia por edades, en intervalos de 1 año, de los jugadores del top100 de los circuitos ATP y WTA en sus respectivos años de análisis.

En la Tabla 7 se puede observar la evolución de la distribución de frecuencias de edad de ambos circuitos en las últimas décadas. En los años 80 la mayoría de los jugadores del circuito masculino (55,2%) se encontraban en una franja de edad de 22 a 25 años, mientras que menos del 30% eran jugadores mayores de esas edades. En la década de 2010, la mayoría de los jugadores del top100 se encontraba por encima de los 26 años (65%), con un sustancial incremento -más del triple que en los 80- de los jugadores con más de 30 años. En general se aprecia como en el tenis masculino se produjo una traslación de la franja de edad de sus jugadores top100, a través de un movimiento incremental significativo del número de jugadores pertenecientes a la franja de edad los 16-20 años hacia la de los 26-30. Un efecto ascendente similar se observa en el top100 femenino, donde también se produjo un incremento desde la década de los 90 hasta la década de 2010, aunque la distribución fue significativamente diferente a la de los hombres (Tabla 7). Con respecto al tiempo de permanencia de los jugadores entre los 100 mejores, se observó que los hombres que lograron llegar a estas posiciones fueron capaces de mantenerse entre ellas un tiempo ligeramente mayor que las mujeres ($4,6 \pm 3,8$ vs $4,1 \pm 3,1$ años; $P < 0,01$). Más del 50% de los jugadores de ambos circuitos que alcanzaron estas posiciones de privilegio se mantuvieron en ellas entre 1 y 3 años, mientras que tan solo el 10% fueron capaces de permanecer más de 10 años.

Tabla 7. Distribución de frecuencias por franjas de edad de los jugadores del top100 de los rankings del circuito masculino y femenino en las últimas décadas.

Sexo	Edades	Décadas			
		80's	90's	00's	10's
Hombres	16-20 años (%)	15,7*	9,5 [†]	6,8 [†]	1,8 [†]
	21-25 años (%)	55,2*	52,1*	45,6*	33,3 [†]
	26-30 años (%)	24,2*	34,0 [†]	39,5 [†]	49,0 [†]
	> 30 años (%)	5,0*	4,4*	8,1 [†]	16,0 [†]
Mujeres	16-20 años (%)	-	24,5*	24,5*	12,3
	21-25 años (%)	-	48,0	45,5	47,3
	26-30 años (%)	-	25,0*	25,7*	34,3
	> 30 años (%)	-	2,5*	4,3	6,3

([†]) Diferente de las mujeres ($P < 0,01$).

(*) Diferente de la década de los 10's ($P < 0,01$).

4.2 ESTUDIO 2

PATRONES DE ACTIVIDAD Y DESPLAZAMIENTO DE TENISTAS JÓVENES DE COMPETICIÓN EN UNA COMPETICIÓN SIMULADA CON DOS PARTIDOS EN UN MISMO DÍA

Objetivos

Los propósitos principales de esta investigación fueron describir y comparar los patrones de actividad y desplazamiento y el compromiso fisiológico en pista de tenistas jóvenes con nivel de competición en una competición simulada con dos partidos en el mismo día, en función de la sesión de juego (e.g., sesión de mañana vs sesiones de tarde) y del resultado final obtenido en los partidos (e.g., ganadores vs perdedores).

La hipótesis de partida fue que los patrones de desplazamiento y de actividad, así como el compromiso fisiológico, serían diferentes entre los partidos de sesión de mañana y de tarde y entre ganadores y perdedores.

Material y métodos

Participantes

Doce jugadores de tenis entrenados (edad $14,5 \pm 0,8$ años, peso $52,3 \pm 6,3$ kg, altura $163 \pm 7,1$ cm) accedieron a tomar parte en el estudio. Su experiencia en el tenis de competición era de $5,0 \pm 1,4$ años y entrenaban una media de $11,8 \pm 2,7$ h semanales, entre pista y entrenamiento físico. Los jugadores estaban clasificados entre los 50 mejores del ranking individual nacional de su categoría. Todos los participantes estaban sanos (e.g., libres de cualquier enfermedad pulmonar y/o cardiovascular, lesión musculo esquelética) y no tomaban medicación en el momento del estudio. Antes del inicio de la investigación, los padres/tutores de los participantes fueron informados de los posibles riesgos asociados a la realización del estudio a través de un informe escrito, que devolvieron firma-

do con su consentimiento para la participación de los jugadores. El estudio fue aprobado por un Comité Ético de Revisión e Investigación de acuerdo a la última versión de la Declaración de Helsinki.

Diseño Experimental

El diseño de este estudio fue experimental de medidas repetidas y entre grupos, y fue llevado a cabo para describir y comparar el perfil de actividad y de movimiento de tenistas jóvenes en dos partidos consecutivos (e.g., mañana vs tarde) en el mismo día. El experimento consistió en la realización de una competición simulada donde los jugadores disputaron 2 partidos consecutivos en el mismo día, separados por 3 h. Cada jugador fue monitorizado de manera individualizada con un dispositivo GPS que incluía acelerómetro y receptor de FC. El partido de la mañana se jugó a las 12:00 h y el de la tarde se jugó no antes de las 16:30 h, para asegurar un mínimo de 3 h entre partidos. Las condiciones ambientales del experimento fueron similares para las sesiones de mañana y tarde (rango de temperatura entre 24,5-29,0°C y 35-45% de humedad relativa). Tras el primer partido, los jugadores pudieron comer y descansar sin tener permitido llevar a cabo estrategias de disminución de dolor (e.g., medicamentos, masajes, hielo, etc.). La dieta de los jugadores fue controlada, con una ingesta estandarizada de 800 kcal con la siguiente distribución calórica: 60% de CHO, 25% de grasa y 15% de proteína. La ingesta alimenticia fue anotada para ser analizada posteriormente por un software de nutrición (PCN software2.0, Cesnid, Spain). Durante la competición solo se permitió la ingesta de agua, que pudo realizarse *ad libitum*.

Protocolo Experimental

Partidos de tenis. La competición simulada consistió en dos sesiones de juego disputadas en el mismo día con 6 partidos individuales en cada una de las sesiones. Los partidos se disputaron en pista dura al aire libre al mejor de 3 sets con *super-tiebreak* en el tercero, de acuerdo a las reglas de la ITF (International Tennis Federation, 2016). Antes de cada uno de los dos partidos disputados, los jugadores realizaron 5 min de calentamiento estandarizado que consistió en un peloteo fijo de fondo, voleas, remates y servicios. Antes del partido de la mañana, los jugadores fueron distribuidos en tres grupos de cuatro jugadores cada uno. Dichos grupos fueron cuidadosamente distribuidos en base a sus posiciones en el ranking nacional para disputar partidos equilibrados. Cada jugador disputó dos partidos contra rivales diferentes para replicar una situación real de campeonato. El partido de la mañana fue fijado de manera aleatoria entre 2 miembros de cada grupo, mientras que en los partidos de la tarde, los ganadores se enfrentaron a los otros perdedores de su grupo del partido de la mañana. Para garantizar altos niveles de competitiv-

dad y motivación, el comité organizador de la competición fijó una recompensa, en forma de material deportivo, para los ganadores de cada grupo. Durante la disputa del primer partido se permitió la ingesta de agua *ad libitum* pero no se permitió la ingesta de CHO. Tras el partido de la sesión de mañana los participantes llevaron a cabo una rutina estandarizada de vuelta a la calma de aproximadamente 20 min, donde los cinco primeros min fueron de movilización articular suave y los 15 restantes realizaron un protocolo de estiramiento (e.g., tren superior e inferior), liderados por el mismo preparador físico. Dentro de los 5 min siguientes a la finalización de cada partido, se preguntó a los jugadores sobre su RPE a través de la escala CR10 de Borg (Borg, 1982).

Patrón de movimiento. La actividad de desplazamientos de los jugadores durante los partidos se monitorizó a través de dispositivos GPS, con una frecuencia de registro de 15 Hz. Dichos dispositivos (SPI HPU, GPSports® System, Australia) llevaban incorporados un acelerómetro triaxial y un receptor de FC y se les ubicó en la espalda, entre las escápulas, dentro de un peto de neopreno (Figura 8). La FC se registró a través de una banda pulsómetro (Polar® M400, Finlandia) colocada en el pecho. Los jugadores verificaron que ni los petos ni los pulsómetros impedían realizar sus movimientos y desplazamientos habituales durante el juego. Los GPS se encendieron justo antes del inicio del calentamiento para garantizar la correcta conexión vía satélite, conexión que durante la recolección de los datos se mantuvo hasta con 6 satélites para asegurar una precisión aceptable. La validez y fiabilidad de dispositivos GPS a frecuencias de 15 datos por segundo en una pista de tenis han sido recientemente estudiadas por Vickery et al. (2014). A pesar de infravalorar distancias y velocidades con respecto a cáma-



Figura 8. Colocación del peto de neopreno en el que van incorporados el dispositivo GPS y el receptor de FC para la monitorización del patrón de movimiento en partido.

ras de vídeo, aunque de manera no significativa, estos dispositivos fueron categorizados como aceptables para el registro de distancias (coeficiente de variación entre 5,4% y 12,1%; moderado-bajo; coeficiente de correlación intraclase (ICC) entre 0,02 y 0,46, bajo-moderado) y velocidades (coeficiente de variación entre 3,5% y 22,8%, bueno-bajo; ICC entre -0,1 y 0,86, bajo-excelente) en desplazamientos específicos realizados en una pista de tenis.

La categorización, tanto de las zonas/tramos de velocidad como las de aceleración, deceleración y acciones de alta velocidad, fue realizada en base a una de las escasas investigaciones (Hoppe et al., 2014) llevadas a cabo con tenistas jóvenes de manera previa a la realización de la presente investigación. De manera breve, las zonas de velocidad fueron establecidas de la siguiente manera: zona 1 (Z1) distancia recorrida entre 0 y $< 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zona 2 (Z2) distancia recorrida entre 1 y $< 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zona 3 (Z3) distancia recorrida entre 2 y $< 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zona 4 (Z4) distancia recorrida entre 3 y $< 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zona 5 (Z5) distancia recorrida $\geq 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; acciones a alta velocidad ($\geq 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); acciones con alta aceleración ($\geq 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) y acciones con alta deceleración ($\leq -2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$).

Patrón de actividad. Se usaron 2 cámaras de vídeo (DSR,-PDX10P; Sony, Japón) por pista para cada uno de los partidos con la finalidad de monitorizar de manera individualizada la actividad de cada uno de los jugadores. Estas cámaras fueron ubicadas en los extremos diagonalmente opuestos de la pista (i.e., a 2 m del exterior de la línea lateral de dobles y a 3 m detrás de la línea de fondo). Tras la finalización de los partidos de tarde, los vídeos fueron descargados para su posterior análisis por parte del mismo experto, siguiendo los protocolos descritos y publicados previamente (Fernandez-Fernandez et al., 2008; Mendez-Villanueva et al., 2007b; Smekal et al., 2001). Las variables calculadas a partir del análisis de vídeo que fueron utilizadas para la posterior determinación del patrón de actividad de los tenistas, fueron: duración de los puntos (DR) -en segundos-, tiempo efectivo de juego (EPT) -expresado como porcentaje-, número de golpes por punto (SR), tiempo de descanso entre puntos (RT) -en segundos- y ratio entre los tiempos de trabajo y descanso (W:R ratio). La semana previa al estudio, se llevó a cabo un entrenamiento para observar la reproducibilidad y fiabilidad de las medidas (i.e., variables de duración de los puntos, número de golpes por punto y tiempo de descanso entre puntos). En este entrenamiento se jugaron y grabaron dos partidos que fueron analizados, cada uno de ellos, por partida doble por parte del mismo experto, obteniendo valores del ICC entre los rangos de 0,93 y 0,96 para todas las variables medidas.

Análisis Estadístico

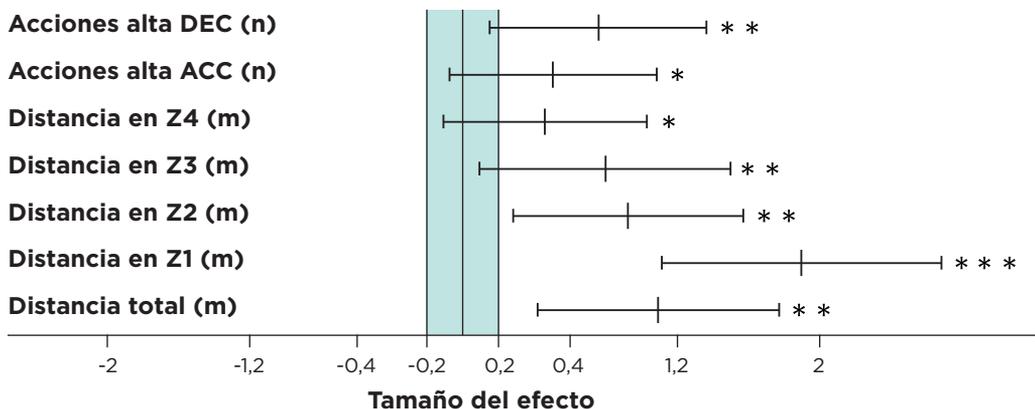
Los datos se presentan como media \pm SD. Para el análisis estadístico de los datos se llevó a cabo una aproximación, recomendada para este ámbito de las cien-

cias del deporte (Hopkins, Marshall, Batterham, y Hanin, 2009), basada en la magnitud del efecto (ES) de las diferencias entre los patrones de juego y actividad de ambas sesiones. Concretamente, se usó la estadística del ES junto con el 90% del Intervalo de Confianza (CI) en datos transformados para reducir sesgos provocados por la no-uniformidad del error. El umbral de significación mínima estandarizada del ES fue fijado en 0,2 y se incluyó un descriptor cualitativo para identificar la probabilidad de exceder dicho umbral. Los rangos de probabilidad <1% indicaron casi ninguna posibilidad de cambio; 1% a 5%, muy improbable; 5% a 25%, improbable; 25% a 75%, posible; 75% a 95%, probable; 95% a 99%, muy probable; >99%, lo más probable. Las diferencias fueron marcadas como inciertas cuando la probabilidad de cambio excedía 5% tanto con carácter positivo como negativo. Los ES fueron interpretados acorde a los siguientes rangos <0,2, trivial; 0,2-0,6, pequeño; 0,6-1,2, moderado; 1,2-2,0, grande; 2,0-4,0, muy grande y; >4,0, extremadamente grande (Hopkins et al., 2009). Los datos fueron analizados a través de las hojas de cálculo de Excel de Hopkins para muestras relacionadas (e.g., sesión de mañana vs sesión de tarde) (Hopkins, 2006) y para muestras independientes (e.g., ganadores vs perdedores) (Hopkins, 2007).

Resultados

Diferencias entre partidos de sesión de mañana y sesión de tarde

Patrón de actividad. La Figura 9 muestra los ES e intervalos de confianza al 90% de todas las variables que presentaron probabilidad de cambio (>75%) entre los partidos de sesión de mañana y tarde.



Umbral de significación mínima estandarizada fijado en 0,2.

Solamente se muestran tamaños del efecto con probabilidades de cambio superiores al 75%.

Interpretación del tamaño del efecto: * pequeño, ** moderado, *** grande.

Figura 9. Diferencias en el patrón de movimiento de tenistas jóvenes entre partidos de sesión de mañana y tarde jugados en un mismo día.

La distancia total recorrida en los partidos de sesión de tarde fue un 44% mayor que los de la sesión de mañana (media \pm SD, descriptor cualitativo de la inferencia; 2.992 ± 1.030 vs 4.307 ± 1.080 m, 98% muy probable). Con respecto a las distancias recorridas dentro de las diferentes categorías de velocidad, los jugadores recorrieron una mayor distancia en los partidos de sesión de tarde, con respecto a los de la de mañana, en las zonas Z1, Z2, Z3 y Z4 (718 ± 156 vs 1122 ± 303 m, 100% probabilidad máxima; 1863 ± 735 vs 2618 ± 721 m; 97% muy probable; 285 ± 116 vs 399 ± 128 m, 93% probable; y 102 ± 65 vs 131 ± 58 m, 78% probable; respectivamente), mientras que se mantuvo similar en zona Z5 (22 ± 20 vs 37 ± 33 m, 74% incierta). El número total de altas aceleraciones ($50,3 \pm 27,2$ vs $65,1 \pm 28,0$ n, 82% probable) y deceleraciones ($65,7 \pm 34,7$ vs $95,3 \pm 42,9$ n, 94% probable) llevadas a cabo en los partidos de sesión de tarde fue más elevado que el de los partidos de la sesión de mañana. Las diferencias encontradas en la velocidad media ($0,8 \pm 0,1$ vs $0,8 \pm 0,1$, $m \cdot s^{-1}$) y máxima ($5,1 \pm 0,6$ vs $5,2 \pm 0,6$, $m \cdot s^{-1}$), en el número de sprints mantenidos durante tres -o más- segundos ($0,3 \pm 0,7$ vs $1,2 \pm 1,3$, n), así como en el número de sprints de alta velocidad ($16,9 \pm 6,3$ vs $21,3 \pm 11,5$, n) resultaron inciertas (ES=0,08-0,85).

Patrón de actividad. El análisis notacional del partido se muestra en la Tabla 8. En comparación con los partidos de la sesión de mañana, los jugadores presentaron unos mayores valores de RPE durante la tarde (ES \pm 90%CI; $0,69 \pm 0,59$). Mientras

Tabla 8. Diferencias en el patrón de actividad y compromiso fisiológico de tenistas jóvenes entre partidos de sesión de mañana y tarde jugados en un mismo día.

Variables	Sesión mañana (n=12)	Sesión tarde (n=12)	Posibilidad cambio (%) +/Trivial/-	Inferencia cualitativa
RPE (u.a.)	3,6 \pm 1,9	5,4 \pm 2,6 ^M	92/07/01	Probable +
FC máx. (lpm)	193 \pm 8	191 \pm 6 ^P	11/32/56	Incierto
FC media (lpm)	157 \pm 7	154 \pm 10 ^P	06/19/74	Incierto
TPT (min)	61,1 \pm 15,9	93,8 \pm 20,8 ^G	96/02/02	Muy probable +
EPT (%)	22,2 \pm 3,3	22,8 \pm 1,5 ^T	48/33/19	Incierto
SR (n)	2,9 \pm 0,4	2,9 \pm 0,3 ^T	39/36/25	Incierto
DR (s)	8,7 \pm 1,7	9,4 \pm 1,2 ^P	63/22/15	Incierto
RT (s)	20,8 \pm 1,5	24,9 \pm 3,9 ^{MG}	97/01/02	Muy probable +
W:R ratio (u.a.)	1:2,5 \pm 0,7	1:2,7 \pm 0,3 ^P	60/28/12	Incierto

Valores presentados como medias \pm SD. RPE, percepción subjetiva del esfuerzo; u.a., unidades arbitrarias; FC, frecuencia cardíaca; máx., máxima; TPT, tiempo total partido; EPT, tiempo efectivo de juego; SR, golpes por punto; DR, duración de los puntos; RT, tiempo de descanso entre puntos; W:R, trabajo-descanso; ^T= trivial, ^P= pequeño, ^M= moderado, ^G= grande, ^{MG}= muy grande.

que el tiempo total de juego de los partidos de la tarde fue mayor que el de los de la mañana ($ES=1,50 \pm 1,14$), el tiempo efectivo de juego fue similar entre ambos ($ES=0,18 \pm 0,81$). La duración de los puntos fue similar ($ES=0,36 \pm 0,99$) y los jugadores realizaron el mismo número de golpes por punto ($ES=0,08 \pm 0,73$) durante la mañana y la tarde, aunque los jugadores necesitaron más tiempo de recuperación entre puntos durante esta última ($ES=2,00 \pm 1,47$).

Diferencias entre ganadores y perdedores

Patrón de movimiento. Tan solo se observaron diferencias en la velocidad máxima alcanzada durante los partidos, siendo mayor en el caso de los jugadores que perdieron sus partidos ($ES=0,43 \pm 0,58$). El resto de variables medidas obtuvieron resultados similares entre perdedores y ganadores ($ES=0,0$ a $0,43$), como se puede observar en la Tabla 9.

Tabla 9. Diferencias en el patrón de movimiento y compromiso fisiológico entre ganadores y perdedores de partido en una competición de jugadores jóvenes con dos partidos consecutivos en un mismo día.

Variables	Perdedores (n=12)	Ganadores (n=12)	ES±90% CI	Posibilidad cambio (% +/Trivial/-)	Inferencia cualitativa
Distancia total (m)	3.631 ± 1.203	3.668 ± 1.313	0,00 ± 0,69 ^T	31/38/31	Incierto
Distancia en Z1 (m)	929 ± 336	910 ± 304	-0,05 ± 0,65 ^T	26/40/34	Incierto
Distancia en Z2 (m)	2.201 ± 767	2.280 ± 883	0,05 ± 0,70 ^T	36/37/27	Incierto
Distancia en Z3 (m)	344 ± 136	340 ± 135	-0,02 ± 0,65 ^T	28/40/32	Incierto
Distancia en Z4 (m)	119 ± 59	115 ± 59	-0,18 ± 0,80 ^T	21/31/48	Incierto
Distancia en Z5 (m)	36 ± 35	23 ± 19	-0,41 ± 0,67 ^P	07/23/70	Incierto
Velocidad máxima (m·s⁻¹)	5,3 ± 0,7	5,0 ± 0,5	-0,43 ± 0,58 ^P	04/21/75	Probable
Velocidad media (m·s⁻¹)	0,8 ± 0,1	0,8 ± 0,1	-0,25 ± 0,56 ^P	09/35/56	Incierto
Acciones de sprint ≥ 3s (n)	0,8 ± 1,0	0,7 ± 1,2	-0,24 ± 1,13 ^P	24/23/53	Incierto
Acciones de alta velocidad (n)	20,6 ± 11,6	17,7 ± 10,6	-0,34 ± 0,75 ^P	11/26/63	Incierto

Variables	Perdedores (n=12)	Ganadores (n=12)	ES±90% CI	Posibilidad cambio (%) +/Trivial/-	Inferencia cualitativa
ACC alta intensidad (n)	58,8 ± 30,9	56,6 ± 26,2	-0,01 ± 0,62 ^T	28/42/30	Incierto
DEC alta intensidad (n)	84,7 ± 46,4	76,3 ± 36,5	-0,14 ± 0,63 ^T	18/38/44	Incierto
RPE (u.a.)	5,0 ± 2,6	4,0 ± 2,2	-0,40 ± 0,69 ^P	07/23/69	Incierto
FC máxima (lpm)	191 ± 8	193 ± 5	0,24 ± 0,57 ^P	55/35/10	Incierto
FC media (lpm)	155 ± 9	156 ± 8	0,18 ± 0,61 ^T	47/38/15	Incierto

Valores presentados como medias ± SD. ES, tamaño del efecto; CI, intervalos de confianza; Z, zona; ACC, aceleración; DEC, deceleración; n, número; RPE, percepción subjetiva del esfuerzo; u.a., unidades arbitrarias; ^T= trivial, ^P= pequeño.

4.3 ESTUDIO 3

EFFECTO DE UNA COMPETICIÓN SIMULADA CON DOS PARTIDOS EN UN MISMO DÍA SOBRE EL RENDIMIENTO FÍSICO EN TENISTAS JÓVENES DE COMPETICIÓN

Objetivos

El propósito de esta investigación fue analizar los efectos producidos sobre el rendimiento físico (e.g., potencia de tren inferior, velocidad, agilidad, fuerza y rangos de movilidad de tren superior e inferior) y técnico (e.g., velocidad máxima de servicio) el día posterior a una competición simulada con dos partidos en un mismo día en tenistas jóvenes.

La hipótesis inicial es que este tipo de competición, con dos partidos en el mismo día, produciría una reducción en el rendimiento físico y técnico de estos jugadores.

Material y métodos

Participantes

Doce jugadores diestros de tenis bien entrenados (edad $14,4 \pm 0,9$ años, peso $53,6 \pm 7,8$ kg, altura $165 \pm 7,9$ cm) tomaron parte en el estudio (Figura 10). Los jugadores se encontraban entre los 50 primeros en el ranking individual nacional de su categoría (sub 15), con una media de $10,4 \pm 2,8$ h de entrenamiento semanales, y con una experiencia de competición en tenis de $5,6 \pm 1,2$ años. Ninguno de los participantes estaba tomando medicación durante la realización del estudio y no habían sufrido ningún tipo de lesión musculoesquelética en los 3 meses previos al mismo. Una semana antes de la puesta en marcha de la investigación los padres/tutores de los participantes, así como el equipo técnico del UCJC Sports Club, fueron informados de los posibles riesgos asociados a la realización del estudio a través de un informe escrito, que devolvieron firmado con su consentimiento a

la participación de los jugadores. El estudio fue aprobado por un Comité Ético de investigación según la última versión de la Declaración de Helsinki.



Figura 10. *Equipo investigador, equipo técnico y participantes del estudio 3.*

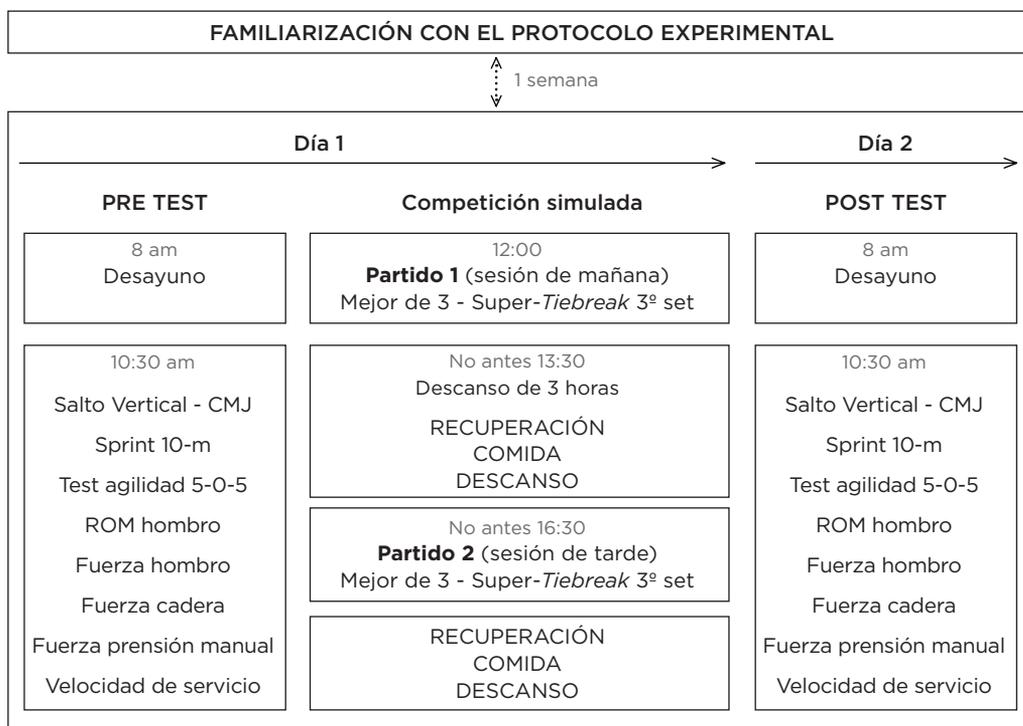
Diseño Experimental

El diseño de este estudio fue experimental de medidas repetidas, llevado a cabo en dos días consecutivos para observar el efecto de una competición simulada con dos partidos en un mismo día en tenistas jóvenes, con el objetivo de ofrecer información útil para jugadores y entrenadores de cara a la planificación de competiciones, así como para preparar estrategias de competición y recuperación de partidos. Cada participante tomó parte en dos mediciones experimentales (pre y post-competición) separadas por 24 h y llevadas a cabo en sesión de mañana bajo las mismas condiciones experimentales ($26,0 \pm 2,4^\circ\text{C}$; $45,6 \pm 6,3\%$ de humedad relativa del ambiente). Entre ambas tomas de datos, los jugadores participaron en una competición simulada de tenis donde tuvieron que jugar dos partidos al mejor de 3 sets en un mismo día, separados de 3 h en las que descansaron y comieron un menú

estandarizado, tal y como se ha indicado previamente en el estudio 2. El protocolo se realizó de este modo para replicar las rutinas habituales de competición que tienen estos jugadores a estas edades. Los enfrentamientos fueron entre rivales de clasificación similar en el ranking. De cara a asegurar altos niveles de competitividad y motivación, el comité organizador del torneo simulado ofreció premios (e.g., bolsa con ropa deportiva) para los ganadores de cada grupo. Tras los partidos de ambas sesiones, los participantes llevaron a cabo una rutina estandarizada de vuelta a la calma de aproximadamente 20 min, donde los cinco primeros min fueron de movilización articular suave y los 15 restantes realizaron un protocolo de estiramiento (e.g., tren superior e inferior), siempre liderados por el mismo preparador físico. Más allá de esto, no se les permitió usar estrategias de disminución de dolor (e.g., medicamentos, masajes, hielo, etc.). Treinta min después de los partidos de la sesión de mañana, los jugadores realizaron una comida estandarizada con las mismas características que las descritas en el estudio 2 (i.e., 800 kcal con la siguiente distribución calórica: 60% de CHO, 25% de grasa y 15% de proteína). La ingesta alimenticia fue anotada para ser analizada posteriormente por un software de nutrición (PCN software2.0, Cesnid, Spain). Durante la competición solo se permitió la ingesta de agua, que pudo realizarse *ad libitum*. Para asegurar la familiarización con los protocolos del test, todos los jugadores realizaron una sesión completa una semana antes a la realización de las pruebas, donde se obtuvieron los valores de referencia sobre los que posteriormente se calcularía la fiabilidad de las medidas de cada uno de los test el día de las pruebas.

Protocolo Experimental

A la llegada de los jugadores a la instalación de tenis (10:00 am), se llevó a cabo una distribución aleatoria en tres grupos de cuatro jugadores para la realización de las pruebas. La toma de datos tuvo lugar en 2 localizaciones diferentes ubicadas a escasos metros entre ellas. Una de ellas fue una sala de fisioterapia y la otra una pista dura de resina al aire libre. Cada grupo siguió el mismo protocolo con separación de 10 min entre cada medición. De cara a reducir la interferencia de variables incontrolables, todos los participantes fueron alojados en una residencia ubicada dentro de las instalaciones del club donde se pudieron controlar comidas y tiempos de descanso. Se les comunicó que todos debían seguir su rutina habitual de competición durante el estudio y se les prohibió realizar ejercicio las 24 h previas al inicio del estudio. Además, se fijaron 2 h previas al inicio de las pruebas como umbral de ingesta previa de alimentos y se prohibió el uso de alimentos con contenido en cafeína durante la duración del experimento, comenzando 24 h antes del inicio de las pruebas experimentales. El orden en el que se llevaron a cabo las pruebas fue el siguiente (Figura 11).



CMJ, salto con contramovimiento; ROM, rango de movimiento.

Figura 11. *Diseño del estudio 3 y protocolo experimental.*

Salto Vertical. De acuerdo con el protocolo de Bosco, Mognoni, y Luhtanen (1983) se realizaron CMJs bilaterales y unilaterales, sin ayuda de brazos, tanto con pierna dominante como con pierna no dominante en una plataforma de contacto (Ergo-jump®, Finlandia). Cada jugador realizó 2 intentos máximos con cada pierna y con ambas piernas, con un tiempo de espera entre piernas de 45 s de recuperación pasiva, y el salto más alto fue el utilizado para su análisis estadístico. El ICC obtenido para esta prueba osciló entre 0,94 y 0,96.

Sprint 10 m. Se realizó una prueba de 10 m de sprint en línea recta (con toma de tiempo intermedio situada a 5 m) a través de un sistema de fotocélulas infrarrojas pareadas (precisión = 0,001 s; DSD Sport system, España) situadas a un 1,0 m de altura y enfrentadas entre sí. Cada sprint se inició 50 cm detrás de la primera puerta de células, que era la que ponía el cronómetro digital en marcha una vez era cortada por el jugador. Cada jugador realizó 2 sprints máximos separados por 2 min de recuperación pasiva (Buchheit, Mendez-Villanueva, Quod, Quesnel, y Ahmaidi, 2010), de los que se eligió el mejor resultado para su análisis estadístico. El ICC para este test fue de 0,96.

Test de agilidad 5-0-5 modificado. Con este test se midió la habilidad de los jugadores para cambiar rápidamente de dirección en un ángulo de 180° sobre una distancia de 5 m. Se realizó una versión modificada (salida partiendo de situación estática) del test de agilidad 5-0-5 (Murphy, Duffield, Kellett, y Reid, 2015). La pierna adelantada en la posición de salida era de libre elección y los jugadores comenzaban a acelerar en el momento que ellos estaban preparados, realizando un esfuerzo máximo sin raqueta. Se midió un intento con pivote sobre la pierna dominante y otro sobre la pierna no dominante (DSD Sport system, España), con un descanso de 2 min entre intentos. El ICC para este test fue de 0,92.

Rango de movimiento (ROM) de hombro. Para medir la rotación glenohumeral se siguieron los métodos descritos previamente (Cools et al., 2014), usando un inclinómetro (Isomed, Estados Unidos) con brazo telescópico. Cada participante se tumbó en decúbito supino en una camilla, con el hombro en 90° de abducción y el codo flexionado a 90° (antebrazo perpendicular a la camilla). Partiendo de esta posición, un examinador sujetaba a los jugadores por la región proximal del hombro (i.e. clavícula y escápula) contra la camilla para estabilizar la escápula, mientras otro rotaba el húmero a través de la articulación glenohumeral para producir IR y ER pasivas máximas (Moreno-Perez, Moreside, Barbado, y Vera-Garcia, 2015). La Figura 12 muestra el detalle durante la realización del test. Se realizaron dos intentos de ER y otros dos de IR con ambos lados -dominante y no dominante- y el mejor de cada uno de ellos (en grados (°)) fue usado para su análisis estadístico. El ICC para este test osciló entre 0,88 y 0,93.

Test de fuerza máxima voluntaria isométrica de hombro. En este test se midió la fuerza máxima de contracción durante la IR y ER del hombro, usando un dinamómetro manual (Lafayette Instrument Company, Estados Unidos). El dinamómetro fue calibrado antes de cada medición. La metodología empleada para este test había sido previamente descrita y utilizada (Cools et al., 2014; Coupe et al., 2014). Las mediciones se realizaron en una posición decúbito supino con el brazo a 90° de abducción y 0° de rotación en el plano escapular. El codo estaba flexionado 90° y uno de los investigadores estabilizaba el hombro, presionando hacia abajo en dirección a la camilla. Los jugadores tenían permitido agarrar la camilla con el brazo contrario para facilitar la estabilización (Figura 12). Se realizaron dos intentos de ER y otros dos de IR con ambos lados -dominante y no dominante-, con una duración de esfuerzo máximo de 5-6 s cada uno y 30 s de descanso entre ellos. El mayor valor obtenido (en Newtons (N)) fue usado para su análisis estadístico. Todas las mediciones se llevaron a cabo por el mismo investigador, quien se encargó de dar un mensaje de motivación estandarizado a todos los jugadores durante el esfuerzo. El ICC para este test osciló entre 0,83 y 0,94.



Figura 12. Momento de realización de los test de ROM de hombro y test de fuerza máxima



voluntaria isométrica de hombro y cadera.

Test de fuerza máxima voluntaria isométrica de cadera. En este test se midió la aducción y la abducción de cadera, usando un dinamómetro manual (Lafayette Instrument Company, Estados Unidos). El dinamómetro fue calibrado antes de cada medición. La metodología empleada para este test había sido previamente descrita y utilizada (Thorborg et al., 2011). Los jugadores fueron colocados en decúbito supino en una camilla y se les pidió que se estabilizaran agarrándose con las manos a ambos lados de la camilla. El investigador se encargó de aplicar resistencia, ubicado a 5 cm del borde proximal del maléolo lateral, durante los 5 s en que los jugadores ejercían una fuerza máxima de contracción contra el dinamómetro, con la pierna en extensión completa (Figura 12). Realizaron dos intentos con cada pierna -dominante y no dominante-, con 30 s de descanso entre ellos. El intento con mayor valor de fuerza (N) fue usado para el análisis estadístico. Todas las mediciones se llevaron a cabo por el mismo investigador, quien se encargó de dar un mensaje de motivación estandarizado a todos los jugadores durante el esfuerzo. El ICC para este test osciló entre 0,91 y 0,97.

Fuerza de presión manual. Este test midió la fuerza de presión usando un dinamómetro manual hidráulico (Saehan Corporation, Masan, Corea). Colocados de pie, los jugadores realizaron 2 contracciones máximas con el dinamómetro con las manos colocadas en posición anatómica y agarrando el mismo con toda la fuerza posible durante 3 s. Se midieron 2 intentos con cada mano -dominante y no dominante- con un descanso de 30 s entre ellos, y el valor promedio fue el considerado como el valor de fuerza de presión máxima voluntaria (Innes, 1999). El ICC para este test osciló entre 0,94 y 0,98.

Test de velocidad de servicio. Para medir la velocidad de servicio se utilizó una pistola radar (Stalker Professional Sports Radar, Estados Unidos) siguiendo unas pautas previamente descritas (Fernandez-Fernandez, Sanz-Rivas, Kovacs, y Moya, 2015b). El radar se ubicó en el centro de la línea de fondo, sobre un trípode, 3 m detrás del jugador que realizaba los servicios, alineado aproximadamente con la altura a la que se producía el contacto de la raqueta con la bola (~2,2 m) y apuntando hacia abajo y al centro de la pista. Tras 5 min de calentamiento específico de servicio, que incluyó movilidad de tren superior y dos tandas de primeros y segundos servicios de 8 repeticiones cada una, los jugadores realizaron un máximo de 3 tandas de 10 servicios a velocidad máxima al lado del deuce. Para ello, los jugadores usaron su propia raqueta y un bote de bolas nuevas (Babolat Gold, Francia) cada uno. Para ser considerados como válidos, los servicios debían botar dentro de un cuadrado de 1 m respecto de la línea central de servicio. El servicio válido más rápido fue usado para su posterior análisis. El ICC para este test osciló entre 0,91 y 0,94.

Partidos de tenis. Antes de cada uno de los dos partidos disputados, los jugadores realizaron 5 min de calentamiento estandarizado que consistió en un peloteo

fijo de fondo, voleas, remates y servicios. Los partidos se jugaron en pista dura de resina al aire libre al mejor de 3 sets con súper-*tiebreak* en el tercero, de acuerdo a las reglas de la ITF (International Tennis Federation, 2016). Los enfrentamientos fueron realizados entre rivales del mismo nivel de ranking nacional. Se permitió la ingesta de agua *ad libitum*. El tiempo de descanso entre partidos fue de 3 h, donde los jugadores siguieron el protocolo explicado previamente (i.e., ingesta estandarizada, descanso) antes del segundo partido, donde siguieron el mismo protocolo de actuación. La duración media de los partidos fue de $80,6 \pm 19,5$ min.

Análisis Estadístico

Los datos se presentan como media \pm SD. La magnitud de las diferencias entre todas las variables medidas pre-competición (antes del primer partido) y las post-competición (la mañana siguiente al día de competición) fueron calculadas utilizando inferencia basada en el ES, aproximación que ha sido recomendada desde hace unos años para los estudios relacionados con la medicina del deporte y ciencias del deporte (Hopkins et al., 2009). Concretamente, se usó la estadística del ES 90% CI en datos transformados para reducir sesgos provocados por la no uniformidad del error. El umbral de significación mínima estandarizada del efecto fue fijado en 0,2, y se incluyó un descriptor cualitativo para identificar la probabilidad de exceder dicho umbral. Los rangos de probabilidad <1% indicaron casi ninguna posibilidad de cambio; 1% a 5%, muy improbable; 5% a 25%, improbable; 25% a 75%, posible; 75% a 95%, probable; 95% a 99%, muy probable; >99%, lo más probable. Las diferencias fueron marcadas como inciertas cuando la probabilidad de cambio excedía 5% tanto con carácter positivo como negativo. Los ES fueron interpretados acorde a los siguientes rangos <0,2, trivial; 0,2-0,6, pequeño; 0,6-1,2, moderado; 1,2-2,0, grande; 2,0-4,0, muy grande y; >4,0, extremadamente grande (Hopkins et al., 2009). Los datos fueron analizados a través de la hoja de cálculo de Excel de Hopkins para muestras relacionadas (e.g., pre-test vs post-test) (Hopkins, 2006).

Resultados

La Tabla 10 muestra los resultados obtenidos en el test de sprint de 10 m, el test de agilidad 5-0-5 modificado, CMJ y velocidad de servicio tanto antes de la jornada de competición como a la mañana siguiente, después del día de competición con dos partidos. Se observa cómo, en comparación con los datos obtenidos en los test realizados previamente a la competición, el tiempo conseguido en los sprints de 10 m realizados el día posterior a la competición fue más elevado (ES \pm 90% CI, descriptor cualitativo; $0,43 \pm 0,31$, probable). De igual manera, el tiempo empleado en completar el test de agilidad fue superior tanto cuando se realizó con la pierna dominante ($0,74 \pm 0,34$, muy probable) como con la pierna no dominante ($1,10 \pm 0,38$, lo más probable). Por su parte, al compararla con los test de salto realizados

pre-competición, la altura alcanzada post-competición en los CMJ fue menor tanto para los realizados con ambas piernas ($-0,21 \pm 0,16$, posible), con la pierna dominante ($-0,25 \pm 0,14$, posible), como con la pierna no dominante ($-0,37 \pm 0,34$, probable). En cuanto a la velocidad máxima de servicio, se observó que era posible que fuera menor ($-0,15 \pm 0,23$) al día siguiente a la disputa de los dos partidos.

Tabla 10. Valores pre y post-competición de los test de sprint de 10 m, test de agilidad 5-0-5 modificado, test de altura de salto en CMJ y test de velocidad máxima de servicio.

Protocolo y variables	Pre-Test (n=12)	Post-Test (n=12)	Posibilidad cambio (%) +/Trivial/-	Inferencia cualitativa
Tiempo Sprint 10 m (s)	1,95 ± 0,14	2,02 ± 0,12 ^P	90/10/00	Probable +
Tiempo Agilidad 5-0-5 (s)				
Pierna no dominante	2,94 ± 0,10	3,07 ± 0,12 ^M	100/00/00	Lo más probable +
Pierna dominante	2,90 ± 0,17	3,03 ± 0,13 ^M	99/01/00	Muy probable +
Altura en CMJ (cm)				
Bilateral	29,7 ± 6,1	28,2 ± 5,2 ^P	00/47/53	Posible -
Pierna dominante	14,9 ± 3,9	13,8 ± 3,7 ^P	00/25/75	Posible -
Pierna no dominante	14,4 ± 3,3	13,1 ± 3,5 ^P	01/19/81	Probable -
Velocidad servicio (km·h⁻¹)				
Velocidad máxima	151,7 ± 13,9	149,5 ± 15,09 ^T	01/64/35	Posible -

Valores presentados como medias ± SD. CMJ, salto con contramovimiento. ^T= trivial, ^P= pequeño, ^M= moderado.

La Tabla 11 muestra los resultados referentes a los test de fuerza de presión manual, de cadera y de hombro y a los test de ROM de hombro. En el hombro dominante, los valores del ROM post-competición mostraron un aumento en la ER ($0,60 \pm 0,49$, probable) frente a los valores pre-competitivos, mientras que la IR disminuyó ($-0,52 \pm 0,21$, muy probable). En cuanto al hombro no dominante, también presentó una reducción en su rango de IR ($-0,46 \pm 0,41$, probable) y un aumento del mismo en ER ($0,21 \pm 0,33$, posible) tras la competición comparado con los valores pre-competitivos. La capacidad de generar fuerza voluntaria por parte del hombro dominante en los test post-competición se vio reducida tanto en ER ($-0,60 \pm 0,46$, probable) como en IR ($-0,34 \pm 0,29$, probable). No se apreciaron cambios en la fuerza en IR y ER del hombro no dominante. La fuerza de presión manual post-competición realizada por el brazo dominante ($-0,22 \pm 0,22$, posible) disminuyó respecto de la alcanzada durante

el test pre-competitivo. Los valores de fuerza obtenidos por la aducción de la cadera del lado no dominante fueron más altos ($0,27 \pm 0,20$, posible), respecto de los valores pre-competición, mientras que el cambio observado en el lado dominante fue trivial.

Tabla 11. Valores pre y post-competición de los test de rango de movimiento (ROM) de hombro, test de fuerza de hombro, test de fuerza de prensión manual y fuerza isométrica de cadera.

Protocolo y variables	Pre-Test (n=12)	Post-Test (n=12)	Posibilidad cambio (%) +/-Trivial/-	Inferencia cualitativa
ROM hombro (°)				
Brazo Dominante				
ER	47,8 ± 8,2	53,7 ± 7,7 ^M	92/08/01	Probable +
IR	151,4 ± 11,4	145,1 ± 11,0 ^P	00/01/99	Muy probable -
Brazo No Dominante				
ER	47,3 ± 12,1	50,0 ± 10,3 ^P	52/46/02	Posible +
IR	154,3 ± 11,1	149,2 ± 12,0 ^P	01/13/86	Probable -
Fuerza Hombro (N)				
Brazo Dominante				
ER	120,1 ± 22,5	107,3 ± 24,8 ^M	01/07/92	Probable -
IR	135,2 ± 30,0	122,6 ± 23,5 ^P	00/20/80	Probable -
Brazo No Dominante				
ER	106,3 ± 29,7	107,8 ± 31,0 ^T	19/74/07	Incierto
IR	118,8 ± 33,3	118,9 ± 30,5 ^T	16/74/10	Incierto
Fuerza prensión mano (N)				
Brazo Dominante	354,0 ± 69,6	337,3 ± 66,7 ^P	00/42/58	Posible -
Brazo No Dominante	318,7 ± 80,4	303,0 ± 71,6 ^T	00/74/26	Posible -
Fuerza cadera (N)				
Lado Dominante				
ADD	160,1 ± 36,7	165,5 ± 35,7 ^T	32/67/01	Posible +
ABD	138,2 ± 27,0	140,8 ± 24,7 ^T	26/71/03	Posible +
Lado No Dominante				
ADD	151,3 ± 37,9	161,5 ± 35,9 ^P	74/26/00	Posible +
ABD	145,9 ± 31,1	143,3 ± 26,0 ^T	02/86/12	Probable trivial

Valores presentados como medias ± SD. ROM, rango de movimiento; ER, rotación externa; IR, rotación Interna; ADD, aducción; ABD, abducción. ^T= trivial, ^P= pequeño, ^M= moderado.

4.4 ESTUDIO 4

LAS BEBIDAS ENERGÉTICAS CON CAFEÍNA COMO AYUDA ERGOGÉNICA EN TENISTAS JÓVENES DE COMPETICIÓN

Objetivos

El objetivo principal de este estudio fue determinar el efecto de una bebida energética con $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de contenido de cafeína sobre el rendimiento físico en tenistas jóvenes con nivel de competición, tanto en situación de test como en un partido de competición simulada.

La hipótesis fue que esta dosis de cafeína, frente a una bebida energética placebo -sin cafeína-, incrementaría el rendimiento físico, tanto en test como durante el partido de competición simulada, favoreciendo un mayor número de puntos ganados.

Material y métodos

Participantes

Catorce jugadores de tenis jóvenes y sanos (10 chicos y 4 chicas) participaron en esta investigación. Todos ellos fueron jugadores junior ($16,36 \pm 1,15$; años) de élite incluidos en el programa de becas de la Federación de Tenis de Madrid. Los participantes tenían una altura media (\pm SD) de $174,4 \pm 9,5$ cm, una masa corporal de $65,2 \pm 10,6$ kg y un porcentaje de peso graso de $11,9 \pm 4,6\%$. Todos los participantes eran consumidores esporádicos de cafeína (menos de una lata de refrescos de cola o de bebida energética al día) y no tenían ningún tipo de enfermedad cardiovascular previa. Además, los participantes no estaban tomando ningún tipo de medicación ni suplementación durante la realización del estudio. Una semana antes de la puesta en marcha de la investigación, los padres/tutores de los participantes, así como el equipo técnico de la Federación de Tenis de Madrid, fueron informados de los beneficios y posibles riesgos asociados a la realización del estudio a través de un informe escrito, que devolvieron firmado con su consentimiento a la participación de los jugadores.

El estudio fue aprobado por un Comité Ético de investigación según la última versión de la Declaración de Helsinki.

Diseño Experimental

El diseño del experimento fue aleatorizado, doble ciego de medidas repetidas y controlado por placebo. Las pruebas se llevaron a cabo en 2 días diferentes separados por una semana entre sí y fueron realizadas en las mismas instalaciones al aire libre, bajo las mismas condiciones experimentales. En uno de los días de prueba, los jugadores ingirieron una dosis individualizada de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de cafeína a través de una bebida energética comercial con contenido en cafeína (Fure®, ProEnergetics, España) disuelta en 250 mL de agua. En el otro día de prueba, los jugadores ingirieron idénticas dosis individualizadas de la misma bebida energética pero sin contenido en cafeína (placebo). La ingesta se realizó 60 min antes del inicio de las pruebas para favorecer la absorción de la cafeína y estaban contenidas en botellas opacas de plástico para evitar una posible identificación de las bebidas. Éstas contenían una ligera cantidad de CHO ($6,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en forma de maltodextrina), suficiente para endulzar las bebidas pero insuficiente para afectar el rendimiento deportivo ($\approx 2 \text{ Kcal}$). Además, ambas bebidas contenían también taurina ($18,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) bicarbonato sódico ($4,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) y L-carnitina ($1,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) en cantidades idénticas para ambas pruebas experimentales.

Las condiciones ambientales de los 2 días de pruebas fueron similares con una temperatura de $18,0 \pm 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del aire de $31 \pm 5\%$. Estos dos días estuvieron separados por 7 días para favorecer la completa recuperación de los jugadores y para asegurar el aclarado completo de la cafeína en el organismo. Cada día de pruebas, 7 de los jugadores bebieron la bebida energética con cafeína mientras que los otros 7 bebieron la bebida placebo. Se usaron códigos alfanuméricos para asignar qué jugadores tomaban una bebida u otra cada uno de los días. Esto permitió que ni jugadores ni investigadores supieran qué sustancia habían ingerido cada uno hasta que se hubo realizado el análisis de los datos del experimento.

Protocolo Experimental

Dos días antes del primer día de pruebas se pesó desnudos a los jugadores para establecer cuál era la dosis individualizada que debían ingerir y se les realizó una medición antropométrica para calcular su porcentaje de masa grasa a partir de 6 pliegues cutáneos. Tal día se indicó a los jugadores que, a partir de entonces y hasta la finalización del experimento, no debían tomar ningún alimento que contuviera contenido en cafeína, alcohol o estimulantes. Veinticuatro horas antes de los días de las pruebas los participantes se abstuvieron de realizar ejercicio de alta intensidad y se comprometieron a adoptar una dieta de ingesta de bebida y alimento

similar. Los jugadores replicaron sus rutinas habituales antes de la segunda prueba experimental. Además, los jugadores realizaron una comida pre-competición 3 h antes de los test. Todas estas estandarizaciones fueron comunicadas al equipo técnico y su cumplimiento se verificó de manera verbal.

A las 11:00 h, los jugadores llegaron a su instalación habitual de entrenamiento donde se les entregó su botella opaca, individualmente codificada, con la bebida asignada para ese día. Los investigadores supervisaron que los jugadores solo bebían de sus botellas y que vaciaban todo su contenido. A continuación, se pesó a los jugadores sin ropa (Radwag, Polonia). Una vez equipados con su ropa de competición se les colocó un dispositivo GPS de 5 Hz que lleva incorporado un acelerómetro triaxial y registrador de FC (GPS, SPI PRO X, GPSports®, Australia). El GPS se ubicó en la espalda, dentro de un peto de neopreno, mientras que la FC se midió a través de una banda pulsómetro (Polar® T34, Finlandia) colocada en el pecho. Los jugadores verificaron que ni los petos ni los pulsómetros impedían realizar sus movimientos y desplazamientos habituales durante las pruebas. La Figura 13 muestra parte del material descrito en este apartado.



Figura 13. Botes con codificación alfanumérica utilizados para suministrar de manera ciega la bebida energética con contenido en cafeína o placebo y dispositivos GPS utilizados para la monitorización de los partidos.

Los participantes realizaron un calentamiento estandarizado de 30 min que incluía carrera continua, seguida de ejercicios de estiramiento dinámico de extremidades superiores e inferiores y ejercicios específicos de tenis (servicio y puntos). Una hora después de la ingesta de la bebida, los participantes realizaron un test de dinamometría manual para ver la fuerza máxima de prensión en ambas manos (Grip-D, Takei, Japón). Tres minutos después, los jugadores realizaron una prueba de velocidad máxima de servicio, donde todos ellos debían ser primeros servicios, ser planos y entrar en una zona de 1x1 m a la zona de la “T” del lado del *deuce*. Para calcular la velocidad de servicio se utilizó una pistola radar (Stalker Professional Sports Radar, Estados Unidos) siguiendo las mismas pautas y ubicación de radar en pista previamente descritas en el estudio 3, a partir de Fernandez-Fernandez et al. (2015b). Se realizaron 3 tandas de 10 servicios hasta que los jugadores consiguieron acertar en 3 ocasiones en la zona mencionada sin tocar la red. Posteriormente se analizaron estadísticamente tanto las velocidades máximas como los promedios de los 3 servicios válidos.

Cinco minutos después, los participantes llevaron a cabo un test RSA que consistió en 8 repeticiones de 15 m cada una con 20 s de recuperación entre repeticiones. Este test se llevó a cabo en la propia pista de tenis de cemento. Los investigadores dieron instrucciones verbales a los jugadores para comenzar la prueba e informaron al equipo técnico para que fueran animando a los jugadores a realizar cada una de las repeticiones a máxima velocidad. Las velocidades instantáneas fueron medidas a través de los GPS de 5 Hz, cuya fiabilidad para obtener velocidades máximas en sprint había sido previamente publicada (coeficiente de variación 1,2%; (Barbero-Alvarez, Coutts, Granda, Barbero-Alvarez, y Castagna, 2010)). Tanto la velocidad máxima alcanzada en cada repetición como la velocidad media de las 8 repeticiones fueron recabadas para su posterior análisis estadístico.

Quince minutos después de este test los jugadores participaron en un partido de competición simulada contra un oponente del mismo nivel de juego. Los partidos se jugaron al mejor de 3 sets bajo las normas de la ITF y donde hubo árbitros neutrales para arbitrar las decisiones dudosas durante los partidos. Los dos días de pruebas, los partidos fueron jugados por los mismos adversarios para evitar los posibles efectos de diferencia de nivel entre oponentes en los resultados de la investigación. Durante los partidos de ambos días, y con objeto de reducir el error de medida (Jennings, Cormack, Coutts, Boyd, y Aughey, 2010), los jugadores portaron las mismas unidades de GPS y pulsómetros que midieron de manera continua variables como la distancia recorrida, la velocidad

instantánea y la frecuencia cardíaca. Con estos dispositivos GPS, el coeficiente de variación encontrado en desplazamientos de deportistas de diferentes modalidades deportivas es de ~2% (Barbero-Alvarez et al., 2010; Coutts y Duffield, 2010). Aunque se ha reportado que para dispositivos de esta frecuencia (i.e., 5 Hz) la distancia y las velocidades registradas podrían ser ligeramente menores al compararse con un análisis de grabación de video, se ha concluido que la precisión es significativamente similar a aquellos que tienen una frecuencia mayor (e.g., los de frecuencia de 15Hz utilizados en el estudio 2; (Vickery et al., 2014)).

Los partidos fueron grabados usando videocámaras (Handycam HDR-XR-200VE, Sony, España) en las diagonales del fondo de pista para realizar un análisis notacional posterior al partido. En el análisis se anotó el ganador de cada punto, la sucesión de 1^{os} y 2^{os} servicios con su resultado, las dobles faltas y los servicios directos conseguidos por cada jugador. Debido a que cada uno de los partidos tuvo una duración diferente, y por tanto el número de puntos fue también diferente, los datos de velocidades y distancias se presentan por hora de juego y las estadísticas de partido en porcentajes.

Durante los partidos, los jugadores pudieron beber agua *ad libitum* pero solamente de botellas individualizadas, pesadas antes del inicio y al finalizar el partido mediante una báscula de precisión de 1 g (Delicia, Tefal, Francia). Tras el partido, los jugadores también fueron nuevamente pesados sin ropa. Con todos estos datos se calculó el ritmo de sudoración a partir de la variación de peso pre-post del jugador, la ingesta total de líquido durante el partido y la duración del mismo.

Análisis Estadístico

Los resultados se presentan como medias \pm SD para los 14 tenistas jóvenes de competición. Se utilizó el test de Shapiro-Wilk para medir la normalidad de las variables. Todas las variables presentaron una distribución normal en este test ($P > 0,05$). Para ver las diferencias entre bebidas ingeridas se realizaron pruebas T para muestras relacionadas. Para analizar la velocidad máxima del test de sprints repetidos se realizó una ANOVA de dos vías (bebidas \times repetición) con medidas repetidas para la repetición. En aquellas variables en las que se encontraron diferencias significativas entre la bebida energética con cafeína y la bebida placebo, se realizó un análisis de comparaciones por pares con el ajuste de Bonferroni. Los datos fueron analizados con el paquete estadístico SPSS v 20,0 (SPSS Inc., Estados Unidos). El nivel de significación se fijó en $P < 0,05$.

Resultados

En comparación con la bebida que contenía placebo, la ingesta de bebida energética con cafeína incrementó la fuerza de prensión tanto en la mano dominante ($4,0 \pm 7,2\%$) como en la no dominante ($4,3 \pm 7,2\%$; $P < 0,05$, Tabla 12). Se observó una tendencia al incremento de la velocidad máxima y la velocidad media de carrera en el test RSA con la ingesta de bebida con cafeína aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas (Tabla 12). Sin embargo, la ingesta de bebida con cafeína no mejoró ni la velocidad máxima ni la promedio del servicio en el test de servicio (Tabla 12).

Tabla 12. Fuerza de prensión manual, velocidad de servicio y velocidad máxima y media de carrera durante el test RSA (8x15m) con la ingesta de bebida energética con cafeína (dosis de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso) o la misma bebida sin cafeína (placebo).

VARIABLES	BEBIDA PLACEBO	BEBIDA CAFEÍNA	Δ (%)	P
Fuerza prensión mano (N)				
Brazo dominante	387 ± 83	402 ± 83	$+4,0 \pm 7,2$	0,03
Brazo no dominante	348 ± 76	361 ± 74	$+4,3 \pm 7,2$	0,03
Velocidad de Servicio ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)				
Velocidad máxima	153 ± 17	154 ± 18	$+0,2 \pm 3,2$	0,49
Velocidad media	151 ± 19	150 ± 18	$-0,4 \pm 3,1$	0,41
Velocidad de Carrera (RSA) ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)				
Velocidad máxima	$22,3 \pm 2,0$	$22,9 \pm 2,1$	$+2,9 \pm 1,8$	0,07
Velocidad media	$20,7 \pm 2,2$	$21,3 \pm 1,5$	$+3,8 \pm 3,1$	0,12

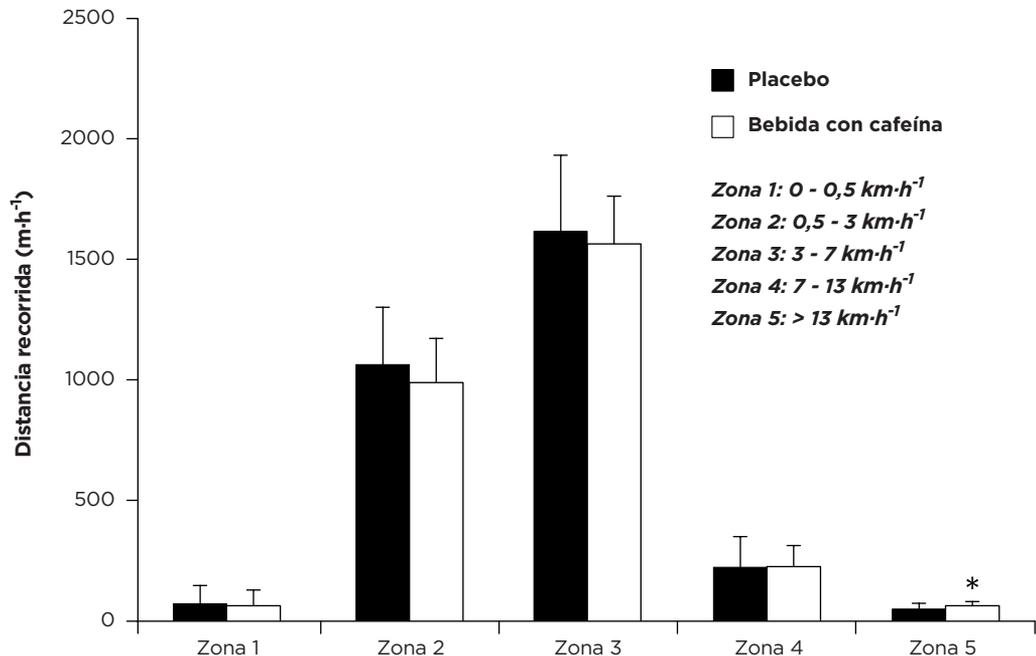
Valores presentados como medias \pm SD. RSA, *test de capacidad de sprints repetidos*.

Durante el partido de competición simulada, el ritmo medio de carrera fue similar, tanto el día que se ingirió bebida energética con cafeína como el que se ingirió placebo (Tabla 13). Para analizar el patrón de movimiento de los tenistas durante los partidos se fijaron 5 zonas/categorías de velocidad (Figura 14). La ingesta de bebida con cafeína produjo un incremento significativo del número de metros recorridos en zona 5 (carrera de alta intensidad, $>13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$; $P < 0,05$). El número de sprints durante el partido fue superior cuando tomaron bebida con cafeína ($9,0 \pm 4,5\%$; $P < 0,05$) aunque la velocidad máxima alcanzada durante el partido fue la misma con ambas bebidas (Tabla 13).

Tabla 13. Variables de rendimiento físico y fisiológico durante un partido de competición simulada al mejor de 3 sets tras la ingesta de una bebida energética con un contenido de cafeína (dosis de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso), o con la misma bebida sin cafeína (placebo).

Variables	Bebida Placebo	Bebida Cafeína	Δ (%)	P
Distancia ($\text{m}\cdot\text{h}^{-1}$)	3.058 ± 620	2.904 ± 430	$-5,0 \pm 3,2$	0,24
Sprints ($\text{n}\cdot\text{h}^{-1}$)	$12,1 \pm 1,7$	$13,2 \pm 1,7$	$+9,0 \pm 4,5$	0,05
Velocidad máxima ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	$19,5 \pm 2,3$	$20,5 \pm 2,8$	$+5,1 \pm 5,2$	0,44
FC media (lpm)	$143 \pm 3,0$	$144 \pm 4,0$	$+1,4 \pm 3,8$	0,35
FC máx. (lpm)	$181 \pm 3,0$	$178 \pm 4,0$	$-1,7 \pm 6,0$	0,44
Ritmo de sudoración ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$)	$0,5 \pm 0,3$	$0,7 \pm 0,3$	$+33,5 \pm 10,6$	0,04
Deshidratación (%)	$0,1 \pm 0,5$	$0,2 \pm 0,4$	-	0,04
Ritmo de hidratación ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$)	$0,5 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,3$	$+17,8 \pm 6,6$	0,41

Valores presentados como medias \pm SD. n, número; FC, frecuencia cardiaca; lpm, latidos por minuto.



Los datos aparecen como media \pm SD. (*) Diferente de la bebida placebo ($P < 0,05$).

Figura 14. Distancias recorridas en diferentes zonas de velocidad durante un partido de competición simulada al mejor de 3 sets tras la ingesta de una bebida energética con un contenido de cafeína ($3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso), o la misma bebida sin contenido de cafeína (placebo).

La Tabla 14 muestra el análisis notacional llevado a cabo durante el partido de competición simulada al mejor de 3 sets. La bebida con cafeína incrementó el porcentaje de puntos totales ganados en el partido, aunque su efecto no fue estadísticamente significativo. Además, se observó una tendencia a la significación en el porcentaje de puntos ganados al servicio con la ingesta de bebida energética con cafeína ($P = 0,07$) frente al placebo. La proporción de puntos ganados al resto, el número de primeros servicios convertidos, los servicios directos y las dobles faltas no se vieron apenas afectados por la ingesta de bebida energética con cafeína.

Tabla 14. Análisis notacional de un partido de competición simulada al mejor de 3 sets tras la ingesta de una bebida energética con un contenido de cafeína (dosis de $3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso), o la misma bebida sin contenido de cafeína (placebo).

Variables	Bebida Placebo	Bebida Cafeína	Δ (%)	P
PG totales (%)	48,3 ± 7,2	51,8 ± 6,8	+15,0 ± 23,2	0,16
Primer servicio “dentro” (%)	55,5 ± 7,9	59,8 ± 10,9	+16,3 ± 24,2	0,13
Dobles Faltas (%)	8,6 ± 3,9	7,6 ± 3,8	-	0,44
Servicios Directos (%)	6,1 ± 7,8	4,7 ± 4,6	-	0,23
PG al servicio (%)	49,7 ± 9,8	56,4 ± 10,0	+20,9 ± 8,1	0,07
PG con 1^{er} servicio (%)	59,7 ± 12,2	68,0 ± 13,9	+23,2 ± 8,2	0,07
PG con 2^o servicio (%)	36,4 ± 10,2	38,7 ± 14,9	+15,0 ± 15,9	0,32
PG al resto (%)	46,8 ± 9,2	50,4 ± 12,3	+3,4 ± 15,3	0,26

Valores presentados como medias ± SD. PG, puntos ganados.

Nota: PG totales es el número de puntos ganados partido del número de puntos totales jugados; primer servicio “dentro” es el número de primeros servicios que entraron en la zona de servicio, dividido entre el número de servicios totales realizados; PG al servicio es el número de puntos ganados con el servicio dividido entre el número total de puntos jugados con el servicio; PG con 1^{er} servicio es el número de puntos ganados con el 1^{er} servicio dividido entre el número total de puntos jugados con 1^{er} servicio; PG con 2^o servicio es el número de puntos ganados con el 2^o servicio dividido entre el número total de puntos jugados con 2^o servicio; PG al resto son el número de puntos ganados al resto dividido entre el número total de puntos jugados al resto.

5

DISCUSIÓN



Alcanzar una clasificación entre los 100 primeros del ranking profesional está considerado como un hito relevante en la carrera de un tenista profesional (Brouwers et al., 2012; Guillaume et al., 2011) y el estudio de las características de los jugadores top100 constituye una excelente aproximación para entender el éxito en este deporte. El objetivo del primer estudio de la Tesis Doctoral fue determinar la edad media, edad de entrada y edad de consecución del pico rendimiento (entendido como mejor clasificación en el ranking top100 internacional) de los jugadores clasificados entre los 100 primeros del ranking ATP (desde 1984) y del ranking WTA (desde 1998). Los principales resultados hallados fueron los siguientes: a) la edad media de los jugadores del top100 en ambos circuitos profesionales fue incrementando progresivamente en las décadas de estudio (Figura 5A), siendo de $27,6 \pm 3,2$ años para hombres y $24,8 \pm 4,2$ años en mujeres; b) la edad de acceso por primera vez al top100 también aumentó progresivamente en el circuito masculino, mientras que se mantuvo relativamente constante en el femenino (Figura 5B); c) el pico de rendimiento fue alcanzado a edades más avanzadas en el circuito ATP ($24,8 \pm 2,9$ años) que en el circuito WTA ($23,6 \pm 3,5$ años). Además, el tiempo de permanencia entre las 100 primeras posiciones fue de $4,6 \pm 3,8$ años en el circuito ATP, frente a $4,1 \pm 3,1$ años en el WTA, aunque la mayoría de jugadores permanecieron menos de 3 años dentro del ranking. A la vista de estos resultados, se observa el incremento progresivo de la edad de los jugadores del tenis profesional incluidos en el top100: en el momento de realización del estudio, con respecto al inicio del periodo de análisis del mismo, un porcentaje significativamente elevado de jugadores incluidos entre estas posiciones eran mayores de 25 años y un porcentaje enormemente bajo estaba incluido entre los 16 y 20 años. Además, a tenor de los indicadores de edad, se pudo observar cómo éstos sugerían que el tenis femenino es más precoz que el masculino, a estos niveles.

Mallet (2010) observó cómo la edad media de los jugadores del top100 de la ATP a finales del siglo pasado se encontraba en 25,5 años y Reid y Morris (2013) y McCraw (2009) comprobaron cómo en 2009 esta edad media había ascendido a 26,7 años. Por su parte, se observó cómo en ese mismo año, 2009, la edad media

del top100 del ranking WTA se encontraba en 24,3 años (McCraw, 2009). Este estudio presenta novedades frente a investigaciones previas realizadas en el ámbito, ya que incluye un análisis longitudinal a lo largo de varias décadas de las edades de los tenistas incluidos en el top100. Al cierre de la temporada de 2013, la edad de los jugadores top100 del ranking ATP había aumentado en más de 3 años desde 1984, mientras que lo había hecho en 1,5 años en el ranking WTA desde 1998 (Figura 5A). Se han observado incrementos similares en diferentes deportistas de élite de otras modalidades como nadadores (S. König et al., 2014), atletas (Lepers y Cattagni, 2012) y triatletas (Gallmann, Knechtle, Rust, Rosemann, y Lepers, 2014), quizá por los avances en la programación de entrenamientos a largo plazo, el uso de nuevas y efectivas estrategias nutricionales y la mejora en la recuperación de lesiones. Cabe destacar cómo el aumento de la edad media se hizo más evidente tras 2010 en ambos circuitos de tenis. Aunque nuestra investigación no da respuesta a las causas de estos incrementos de edad entre los jugadores que conforman el top100 en tenis, los autores especulan que dichas causas podrían residir entre las que se citan a continuación, específicamente para el tenis: la mejora que se ha producido en equipamiento y material técnico -tanto en competición como en entrenamiento-; dietas; programas de entrenamiento -incluyendo los programas de prevención de lesiones implantados en los últimos años-; el número de practicantes de tenis en edades de base y los sistemas de selección de talentos para este deporte. Todos estos aspectos podrían haber ayudado a mantener, progresivamente, grandes niveles de rendimiento físico que refuerzan los aspectos técnicos y tácticos tras los 25 años de edad. Sin embargo, se recomiendan futuras investigaciones en estos aspectos para poder detallar con mayor precisión las causas que permiten un alto rendimiento a jugadores de más de 25 años de edad.

El incremento progresivo en la edad media en ambos circuitos junto con la larga duración, exigencia y competitividad del calendario, han podido favorecer la decisión de los responsables del circuito profesional de introducir nuevas reglas relacionadas con la edad, que entraron en vigor el 1 de enero de 2015. Estas novedades incluyeron la posibilidad de que los jugadores que llevaban más de 12 años en el circuito, o bien hubieran participado al menos en 600 partidos en su carrera profesional, o que fueran mayores de 30 años, podían ausentarse, sin penalización, de 1 de los 13 torneos Masters 1000 obligatorios de la temporada (Association of Tennis Players, 2015). Por otra parte, *Tennis Australia*, la federación de tenis nacional de este país (Tennis Australia, 2015) formalizó una propuesta, denominada “FAST 4” incluida en el 5º apéndice del Reglamento de la ITF para modificar el sistema de puntuación, con el objetivo de reducir la duración de los partidos de tenis. Concretamente, la propuesta incluía reducir el número de juegos, reducir el *tiebreak*,

eliminar el “let” en el servicio e incluir el punto de oro en el *deuce* (ya instalado en la modalidad de dobles). Todos estos hechos dejan patente cómo el aumento de edad en el tenis profesional parece ser un factor relevante para la ITF, que ha ido tomando medidas que facilitan las condiciones de competición para jugadores con más edad o más experiencia. Por otro lado, este hecho puede dificultar la entrada de tenistas jóvenes en el ranking top100, o al menos retrasarla, ya que de una manera velada, priman la experiencia sobre el condicionante físico de este deporte.

El incremento de la edad media observada en ambos circuitos podría estar relacionada tanto con la longevidad de la carrera deportiva (que los jugadores permanecieran un mayor número de años en el top100), como con el hecho de que la entrada a dichas posiciones se produzca con una mayor edad. La Figura 5B muestra las edades de entrada al top100 de ambos circuitos: es interesante observar cómo en los últimos años de estudio, los jugadores ATP que entraron entre los 100 mejores por primera vez eran mayores que en los años previos, hecho que no se observó en las jugadoras del circuito femenino. La tendencia a entrar con edades más avanzadas al top100 queda patente al comparar las edades de entrada del 2013 ($24,0 \pm 2,1$ años, en el presente estudio) con las observadas por Reid y Morris (2013) en su análisis del top100 en el año 2009 ($21,5 \pm 3,4$ años). Además, la Tabla 7 muestra cómo el porcentaje de jugadores menores de 21 años era mucho menos frecuente en los inicios de la década de 2010 frente a las décadas que le preceden. Por otro lado, Guillaume et al. (2011) observaron que las carreras de aquellos tenistas que jugaron sus primeros partidos en el circuito antes del año 1985, fueron más cortas. Todos estos datos, por tanto, parecen sugerir que el incremento de la edad media de los jugadores profesionales, incluidos entre los 100 mejores, se debió principalmente a una entrada más tardía en estos puestos, al menos en el circuito ATP. Por otra parte, otros factores como la conservación de los procesos motores y de percepción de los jugadores con edad más avanzada podrían también contribuir, como indican algunos autores (Lobjois, Benguigui, y Bertsch, 2006) al incremento de la edad media en el tenis profesional.

Guillaume et al. (2011) publicaron que los jugadores pertenecientes al top10 de la ATP, cuyas carreras habían comenzado tras el año 1985, alcanzaron el pico de rendimiento a los 23,3 años, mientras que las jugadoras lo alcanzaron a los 21,5 años. Esas edades coincidieron con las encontradas en este estudio, y que pueden observarse en la Figura 6. El análisis realizado en este estudio incluyó también la edad del pico de rendimiento con respecto a la mejor posición obtenida en el ranking a lo largo de la carrera completa de los tenistas de ambos circuitos. Se encontró que los jugadores que alcanzaron el número 1 del ranking mundial consiguieron llegar a

esta posición, por primera vez, con una edad más temprana a la que tenían los que llegaron a ocupar posiciones de ranking entre el 10 y el 100. Este efecto se observó en ambos circuitos y sugiere que los mejores jugadores (esto es, los número 1) fueron típicamente más precoces que el resto. Además, fue en el circuito WTA donde se alcanzó un pico de rendimiento más temprano que en el circuito ATP, pudiendo deberse entre otros factores a la maduración más temprana del sexo femenino respecto al masculino (Bacil, Mazzardo Junior, Rech, Legnani, y Campos, 2015). Estos datos sugieren que la especialización en el tenis podría retrasarse, ya que la entrada en el ranking se producirá con mayor edad que hace unas décadas. Sin embargo, aquellos tenistas de mayor proyección, deben tener en cuenta la precocidad exhibida por los anteriores tenistas que alcanzaron el top1, tanto en hombres como en mujeres. Finalmente, este análisis podría indicar que la especialización en el tenis femenino debería ser anterior al tenis masculino, coincidiendo con la mayor edad biológica que presentan las tenistas adolescentes entre los 12 y 16 años de edad.

Esta investigación incluyó ciertas limitaciones experimentales que deben ser discutidas para la mejor comprensión y aplicabilidad de los resultados. En primer lugar, el número de años incluidos en el análisis estadístico fue diferente para ambos circuitos -30 años para el circuito masculino frente a 16 años para el femenino-. Esto implica que la cantidad de datos analizados para calcular los valores medios fuera diferente entre ambos sexos, aunque la realización del análisis entre años pareados permitió indicar definitivamente que la edad de las jugadoras que conformaban el top100 del ranking femenino era más precoz que la del masculino. En segundo lugar, se asumió que el rendimiento está directamente relacionado con la posición obtenida en el ranking al final de la temporada, aunque los jugadores analizados hubieran conseguido una mejor clasificación a mitad de temporada. El rendimiento en el tenis es un fenómeno mucho más complejo, en el que entran en juego diversos factores que afectan a la relación entre el ranking y el rendimiento, como por ejemplo las lesiones, acceso a rondas finales en torneos importantes, enfrentamientos entre jugadores de ranking similar, etc.). Aunque el ranking no significa directamente rendimiento, el número total de datos analizados y de jugadores incluidos en el análisis minimiza el efecto de variables extrañas en los principales resultados de la investigación.

A modo de resumen para el estudio 1 de la presente Tesis, el tenis profesional ha ido “envejeciendo” desde los 80s y 90s para hombres y mujeres, respectivamente. Esta afirmación está basada en el incremento progresivo de la edad media de los jugadores incluidos en las 100 primeras posiciones del ranking. Este incremento se observó tanto en el circuito masculino como el femenino (ATP y WTA),

aunque los indicadores mostraron cómo el tenis profesional femenino, en los años estudiados, fue más precoz que el masculino. La existencia de jugadores de mayor edad entre las posiciones del top100 pudo asociarse con una entrada más tardía entre las mismas. Cabe resaltar cómo los jugadores que alcanzaron el número 1 del ranking mundial, lo consiguieron con menos edad que los que alcanzaron el resto de posiciones del top100.

Esta información podría resultar de utilidad tanto para jugadores como para entrenadores e instituciones responsables de su formación y desarrollo. Principalmente a la hora de orientar los procesos de especialización del tenista hacia el alto rendimiento, así como para desarrollar planes de desarrollo a largo plazo que contemplen el respeto de los procesos madurativos, la importancia de los trabajos preventivos y la adecuada administración de cargas físicas (i.e., contemplando las sesiones de entrenamiento y los partidos de competición). De hecho, ese registro de cargas en competición fue el objeto de análisis del estudio 2.

Hasta el momento de escritura de la presente Tesis Doctoral, ninguna investigación había descrito y comparado los patrones de actividad y movimiento de jugadores menores de edad en una competición con dos partidos en el mismo día (e.g., sesión de mañana vs sesión de tarde), a pesar de ser esta una práctica competitiva habitual en estas categorías. Además, tratábamos de observar si estos patrones presentaban alguna diferencia en función del resultado final de un partido (e.g., ganar o perder), con el objetivo de entender los patrones de movimiento más vinculados con el éxito en este deporte. Los principales hallazgos revelaron que durante los partidos de la sesión de tarde los jugadores recorrieron más distancia total global, así como en todas las zonas de velocidad, salvo en la de máxima intensidad, y además, realizaron mayor número total de acciones a alta aceleración y deceleración (Figura 9) . Asimismo, los partidos de la sesión de tarde fueron más largos, el descanso entre punto y punto fue mayor y los jugadores tuvieron una percepción del esfuerzo mayor que en la sesión de mañana (Tabla 8). El conocimiento de estos resultados podría ser de gran interés para determinar si existe la necesidad de incluir o modificar estrategias/cargas de entrenamiento pre-competición por cuanto se refiere al desempeño de un partido en una competición de estas características.

Es muy difícil comparar los hallazgos obtenidos en el estudio 2 con aquellos que estudiaron estas mismas variables usando GPS, debido principalmente a las diferencias en las metodologías usadas (e.g., superficies de juego, uso de recoge-pelotas, categorización de zonas de velocidad, edades de los participantes, etc.; (Fernandez-Fernandez et al., 2009b; Hoppe et al., 2014; Hoppe et al., 2016; Murias

et al., 2007; L. A. Pereira et al., 2016b)). A este respecto L. A. Pereira et al. (2016b) estudiaron el patrón de desplazamiento de jugadores jóvenes en pista dura con jugadores de nivel nacional y regional, donde las distancias totales recorridas oscilaron entre 1.900-2.600 m por hora de juego, siendo mayores las distancias recorridas por jugadores con nivel nacional. En nuestro estudio, las distancias totales medias por hora de juego recorridas en los partidos de las sesiones de mañana y tarde fueron ~2.940 m y ~2.760 m, respectivamente. La razón de que, a priori, estas distancias fueran superiores a las distancias observadas por L. A. Pereira et al. (2016b), podría deberse fundamentalmente al hecho de que en ese estudio utilizaron recogepelotas para evitar analizar acciones que no fueran propias del juego. Sin embargo, medir esos desplazamientos correspondientes a la búsqueda de bolas es importante ya que, a pesar de no ser acciones directas del juego y producirse a intensidades muy bajas, son parte de la carga a la que están sometidos en partidos de competición los tenistas jóvenes. Además, esas acciones influyen en el compromiso fisiológico del jugador, ya que son acciones propias del tiempo de recuperación activa entre puntos y es información útil de cara a la planificación de entrenamientos más específicos.

Uno de los resultados más interesantes del estudio residió en la diferencia observada en la distancia total recorrida entre las sesiones de mañana y tarde, así como en la distancia recorrida a diferentes velocidades. Al analizar la distancia total recorrida por hora de juego se pudo observar, como se indicó anteriormente, que era un -6% menor en el partido de la sesión de tarde, corroborando así los resultados obtenidos por estudios previos (Gescheit et al., 2015; Ojala y Hakkinen, 2013), en los que vieron cómo la sucesión de partidos de duración prolongada en una competición simulada de 3 y 4 días consecutivos disminuía la distancia total recorrida cada partido. Sin embargo, la realidad es que los jugadores recorrieron una distancia un 44% mayor en el partido del turno de tarde con respecto al de la mañana, resultado de partidos con una mayor duración (Tabla 8). La comparación de las distancias recorridas por zonas de velocidad con otros estudios de investigación realizados en estas mismas edades, nuevamente presentó complicaciones debido, en gran medida, a las diferencias metodológicas existentes entre ellos. Mientras los estudios de L. A. Pereira et al. (2016a) y L. A. Pereira et al. (2016b) presentaban 5 zonas de velocidad (e.g., 0-5,5, 5,5-7, 7-10, 10-15, 15-18, >18 km·h⁻¹) originalmente creadas para el análisis de partidos de fútbol (Castagna, D'Ottavio, y Abt, 2003), los realizados por Hoppe et al. (2014) y Hoppe et al. (2016), a pesar de tener las mismas zonas definidas (e.g., 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, >4 m·s⁻¹), fueron realizados en pistas de tierra batida, y además uno de ellos sólo presentaba datos temporales en dichas zonas (Hoppe et al., 2016). A pesar de ello, al analizar la distribución total de la distancia recorrida por zonas de velocidad, se observó que nuestro estudio estaba en línea con los estudios

anteriormente citados, habiendo encontrado que prácticamente el ~95-96% de la distancia total de partido fue recorrida a baja intensidad (e.g., $<3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y apenas un ~4-5% se recorrió a alta intensidad. En nuestro estudio, además, esta distribución se mantuvo constante en ambas sesiones de juego (e.g., mañana y tarde), únicamente se apreció un cambio, en el que un 2% de la distancia recorrida pasó a realizarse de Z2 a Z1. No obstante, en el partido de la sesión de tarde se recorrieron más metros en todas las zonas de velocidad salvo en la de máxima intensidad (e.g., $>4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) donde la distancia recorrida se mantuvo constante. Parecería lógico pensar que, como los jugadores recorrieron mayor distancia total, así como en prácticamente todas zonas de velocidad, ésto podría conllevar un mayor número de acciones de alta aceleración y deceleración, como efectivamente ocurrió. Sin embargo, el hecho de que el número de acciones a alta velocidad no aumentara en esa sesión de tarde, significaría que dichas aceleraciones y deceleraciones se produjeron partiendo desde situaciones más estáticas en las que los jugadores, afectados por el partido de la mañana, podrían no tener una gran capacidad de abrir ángulos y/o tomar más riesgos, sugiriendo un juego en las zonas más centrales de la pista (e.g., dentro de los 2,5 m en los que apuntaban Ferrauti et al. (2003) que se efectuaban el 80% de los golpes en el tenis), sin llegar a alcanzar grandes velocidades ni desplazamientos.

Otro de los principales hallazgos del estudio 2 fue el del cambio en el patrón de actividad, concretamente en el aumento del tiempo total de partido, del tiempo de descanso entre puntos y de la RPE en los partidos de la tarde, sin verse afectado el W:R ratio (Tabla 8). Tal y como se indicaba en la introducción de la presente Tesis Doctoral, los patrones de desplazamiento van a estar directamente relacionados con el patrón de actividad del partido. En este sentido, el incremento de metros recorridos, y del número de acciones de alta aceleración y deceleración pueden explicarse a través del incremento del tiempo total de juego del partido de la sesión de tarde respecto al de la mañana, con más de 30 min de diferencia entre ambos (e.g., ~54% más de tiempo total de juego), aunque es necesario justificar de donde provino este incremento del tiempo total de juego. Una posible explicación podría residir en la teoría de la compensación velocidad-precisión de Fitts (1992), apoyada posteriormente por Ferrauti et al. (2001c), y/o en la posterior explicación alternativa sobre las unidades de control motor del SNC propuesta por Welsh, Davis, Burke, y Williams (2002). Estos autores apuntaban a que, en situaciones de esfuerzo fisiológico, la velocidad de un jugador disminuye, teniendo que disminuir su velocidad de golpeo para poder mantener la precisión de su golpeo y evitar cometer errores. Llevado a nuestro estudio, el posible efecto de la fatiga provocada por la disputa previa de un partido en sesión de mañana habría hecho que los jugadores vieran mermada su velocidad de desplazamiento y por tanto tuvieran que reducir la potencia

de golpeo para cometer un menor número de errores no forzados que como se ha demostrado, en estas edades aumenta las probabilidades de ganar puntos (Brody, 2006). Esto habría supuesto, además, una disminución en la velocidad de desplazamiento del rival para devolver los golpes, favoreciendo un aumento del número de golpes por punto y, por tanto, incrementando la duración de los mismos. Sin embargo, se observó que las velocidades medias y máximas de desplazamiento fueron exactamente iguales en ambas sesiones, manteniéndose además constantes tanto el número de golpes por punto, como la duración de los mismos (Tabla 8). De este modo, habría que buscar una explicación diferente al aumento del tiempo total de juego. De manera interesante, otro indicador subjetivo (i.e., RPE) reflejó que los jugadores, de alguna manera, habían notado la acumulación del partido de la sesión anterior. Aunque las frecuencias cardíacas media y máxima fueron similares en ambas sesiones, los jugadores reportaron una mayor sensación de esfuerzo tras la sesión de tarde (Tabla 8). A pesar de que la buena condición de entrenamiento que poseían los jugadores (i.e., $\sim 12 \text{ h}\cdot\text{semana}^{-1}$) pudo ayudarles a mantener la distancia recorrida por hora de juego, la velocidad de desplazamiento y la frecuencia cardíaca durante un 50% más de tiempo que el empleado durante la sesión de mañana, donde el número de puntos y juegos fue el mismo, no fue suficiente para evitar que tuvieran que emplear más tiempo de recuperación entre puntos, siendo ésta la principal causa del aumento del tiempo total de partido. Ese hecho podría también justificar el cambio del 2% de la distancia que en el partido de la sesión de mañana fue recorrida en Z2 y por la tarde en Z1, y que pudo emplearse en ganar más tiempo de descanso al recoger bolas entre puntos.

Por último, en cuanto a la comparación entre ganadores y perdedores, tan solo se observó que la velocidad máxima alcanzada fue mayor en los perdedores del partido (Tabla 9). Este dato iría en consonancia con los hallazgos encontrados por Martínez-Gallego et al. (2013), quienes en su análisis sobre el movimiento en función de los golpes de jugadores de élite en pista dura, concluyeron que los ganadores del partido acababan sometiendo a los perdedores a tener comportamientos más defensivos en los que se alcanzaban mayores velocidades y además recorrían mayores distancias que los ganadores, llegando incluso a ser un 10% mayores (Reid y Duffield, 2014) en algunos casos. Sin embargo, es importante mencionar que ambos estudios se realizaron con jugadores adultos de élite quienes, según sugieren Hoppe et al. (2016), al tener mayores capacidades físicas y técnico-tácticas, aspectos claves y determinantes en niveles de élite (Reid et al., 2007a), consiguen aplicarlas al juego obteniendo tener una mayor influencia sobre el resultado, cosa que no ocurre igual en jóvenes -al no tener tal capacidad-. En este sentido, además de la velocidad máxima, los perdedores no presentaron un incremento de la distan-

cia recorrida frente a los ganadores, ni ninguna otra diferencia en las variables investigadas (Tabla 9), en línea con los estudios realizados sobre tenistas adolescentes (Hoppe et al., 2014; Hoppe et al., 2016), en los que no se apreciaron diferencias ni en el patrón de desplazamiento ni en el compromiso fisiológico en función del resultado final de partido (e.g., ganadores vs perdedores). Por este motivo, tal incremento en la velocidad máxima de los perdedores podría asociarse a la necesidad de éstos por alcanzar intentos de golpes ganadores directos por parte de los ganadores, que como apuntaban Martínez-Gallego et al. (2013), son golpes que se observan más en aquellos que terminan ganando. Sin embargo, se trataría solo de una especulación, puesto que en este estudio no se registraron el número de golpes ganadores, por lo que se requerirían investigaciones futuras que pudieran correlacionar los patrones de movimiento específicos en cada punto para jugadores menores de edad.

El estudio 2 presentó ciertos aspectos que podrían limitar la fortaleza de los hallazgos. En primer lugar, con objeto de hacer el estudio lo más ecológico posible, los partidos de mañana y de tarde fueron jugados ante rivales distintos, pudiendo influir el distinto estilo de juego entre rivales, en los patrones de actividad y de desplazamiento diferentes (Bernardini et al., 1998; Martínez-Gallego et al., 2013; Smekal et al., 2001). Un protocolo experimental en el que los jugadores se enfrentaran al mismo rival en la mañana y en la tarde podría haber aislado el efecto del oponente en los patrones de movimiento durante el juego, aunque esa situación no habría replicado una situación real de competición, en la que los jugadores pasan ronda enfrentándose a diferentes jugadores. Además, el efecto de aprendizaje provocado por haber jugado unas horas antes entre ellos, podría haber influido en la manera de jugar en la sesión de tarde, cambiando el estilo de juego en base a fortalezas o debilidades (e.g., técnicas, tácticas, físicas, y psicológicas) del rival y errores y/o aciertos cometidos en el partido anterior, pudiendo así afectar a las variables de estudio. Por otro lado, haber pasado la escala de RPE inmediatamente antes de cada partido, podría haber aportado mayor información que ayudara a comprender si esta percepción provenía de la acumulación de los dos partidos, o ya existía en el momento del inicio de la sesión de tarde, evidenciando una posible fatiga provocada por el partido de la mañana.

En resumen, el estudio 2 mostró cómo el hecho de disputar una competición con dos partidos en un mismo día provocó que el patrón de desplazamiento y de actividad de tenistas jóvenes fuera diferente, evidenciando que en la sesión de tarde los jugadores recorrieron mayor distancia, tanto global como en casi todas las zonas de velocidad -salvo la de máxima intensidad-, y además, realizaron mayor número total de acciones a alta aceleración y deceleración. Sin embargo, estos

efectos sobre el patrón de movimiento en los partidos de la tarde estuvieron producidos por partidos más largos, haciendo que los tiempos de descanso entre puntos fueran mayores y los jugadores tuvieran una percepción del esfuerzo mayor que en la sesión de mañana. Por tanto, estos resultados podrían sugerir la presencia de fatiga en los tenistas jóvenes durante el partido desarrollado en la tarde, que trataron de compensar a través unos mayores tiempos de recuperación. En el futuro, sería interesante investigar este efecto en varios días de juego, que podrían mostrar una situación de competición en torneo.

Vinculado con los hallazgos del estudio 2, el objetivo del tercer estudio fue analizar los efectos producidos sobre el rendimiento físico (e.g., potencia de tren inferior, velocidad, agilidad, fuerza y rangos de movilidad de tren superior e inferior) y técnico (e.g., velocidad máxima de servicio) el día posterior a una competición simulada con dos partidos en un mismo día en tenistas jóvenes. Los principales hallazgos del estudio 3 mostraron que, a la mañana siguiente tras un día de competición simulada con dos partidos, aparecieron claros déficits físicos en las variables implicadas en el rendimiento neuromuscular de tren inferior (capacidad de salto, sprint y cambio de dirección) y tren superior (rangos de movimiento y producción de fuerza) (Tabla 10 y Tabla 11). Es importante tomar en consideración estos valores indicativos de la presencia de una reducción de rendimiento neuromuscular en el día siguiente a una competición a la hora de planificar un calendario de torneos para jugadores jóvenes, así como para establecer las estrategias de recuperación post-competición más adecuadas para estos tenistas, que de manera habitual están expuestos a competir en más de una ocasión en el mismo día.

Hasta la fecha de escritura de la presente Tesis Doctoral, y hasta el conocimiento del autor, el estudio 3 es el primer estudio que analiza el efecto que provoca una competición con dos partidos consecutivos en el mismo día sobre el rendimiento físico de jugadores jóvenes. Estudios previos mostraron que jugar partidos de duración prolongada provocaba una disminución en las funciones neuromusculares en adultos (e.g., sprints y saltos; (Gescheit et al., 2015; Ojala y Hakkinen, 2013)), siendo reducciones que oscilaban entre el 2-15% dependiendo del número de días consecutivos de juego. Los resultados obtenidos en este estudio 3 evidenciaron reducciones en la capacidad de realizar sprints de 10 m (~5%), de realizar CMJ con apoyo bilateral (~5%) y unilateral (~7,5% y ~10%, respectivamente), y en la capacidad de realizar cambios rápidos de dirección (Tabla 10). Algunos de estos resultados son similares a los publicados por Gescheit et al. (2015), quienes obtuvieron un incremento de ~5% en el tiempo de realización de un test de sprint de 10 m y una reducción de un ~8% en la altura de salto en CMJ el día posterior a disputar un partido

de 4 h. En tenis, desplazarse de manera efectiva depende de una combinación de acciones musculares concéntricas y excéntricas (e.g., aceleraciones, deceleraciones y golpes) con diferentes posiciones corporales y se lleva a cabo en áreas reducidas de juego (e.g., entre ~2,5 y ~7,5 m) (Murphy, Duffield, Kellett, Gescheit, y Reid, 2015). Por tanto, las reducciones del rendimiento neuromuscular evidenciadas por los test desarrollados en este estudio podrían indicar la incapacidad de producir fuerza muscular específica tras la realización de situaciones de juego prolongado o de partidos consecutivos (Mendez-Villanueva, Fernandez-Fernandez, y Bishop, 2007a). A este respecto, estudios previos mostraron incrementos en los niveles de CK durante y posteriormente a partidos prolongados, y en días consecutivos, pudiendo ir asociado a una reducción progresiva en la producción de fuerza máxima y, por tanto, a una disminución del rendimiento neuromuscular (Girard et al., 2006b; Hornery et al., 2007a). Esto podría indicar que la fatiga neuromuscular tras una competición de tenis, especialmente tras la acumulación de dos partidos, podría estar relacionada con el daño estructural producido a las fibras musculares como resultado del estrés físico y las continuas contracciones musculares necesarias para desplazarse durante el juego. No obstante, también existe evidencia científica contraria que muestra como la realización de entrenamiento prolongado en pista, o competición simulada de larga duración, no afecta al rendimiento neuromuscular (e.g., altura de salto CMJ; (Brink-Elfegoun et al., 2014; Girard et al., 2006b; Ojala y Hakkinen, 2013; Reid et al., 2013)). Estas discrepancias podrían deberse tanto a las diferencias entre diseños experimentales empleados (e.g., 2 partidos en un día vs 4 días consecutivos de partidos de larga duración), duración e intensidad del tipo de ejercicio realizado, edades de las muestras (e.g., categoría sub 15 vs adultos) y niveles de juego. Además, en referencia a los CMJ, aunque es un test validado para la valoración general de la función neuromuscular, su relación con el rendimiento específico en tenis (e.g., velocidad de servicio, golpes) se ha demostrado que es moderada (Girard y Millet, 2009b), si no insignificante (Ulbricht et al., 2016), cuestionando si el rendimiento de un salto vertical refleja la actividad real del tren inferior en los golpes en el tenis.

En relación a los valores de fuerza de cadera presentados en la Tabla 11, aunque los cambios fueron triviales, los resultados son sorprendentes, ya que la fuerza de aducción fue mayor tras el día de competición en un 3,3% y 6,7% en los lados dominante y no dominante respectivamente, mientras que la fuerza de abducción fue mayor en el lado dominante (1,8%) y se redujo en el lado no dominante (-1,8%). Es difícil poder hacer una comparativa de estos resultados con datos previos ya que no hay estudios anteriores que ofrezcan valores de fuerza de cadera en tenistas en situaciones de pre y post-competición. A la luz de estos resultados, podríamos sugerir que no hubo desequilibrios importantes de cadera en este grupo de jóvenes

tenistas. En cuanto a la reducción en la fuerza de abducción del lado no dominante, podríamos hipotetizar que la fatiga podría afectar a este lado en mayor medida. Investigaciones previas encontraron que la musculatura glútea y del iliopsoas estaban hipertrofiadas de manera asimétrica en tenistas profesionales (i.e., el iliopsoas del lado no dominante era un 13% más grande que el dominante (Sanchis-Moysi, Idoate, Izquierdo, Calbet, y Dorado, 2011), debido a los movimientos compensatorios producidos en esta musculatura para dar soporte durante el servicio y golpe de derecha. Sin embargo, debido a que en la valoración de la cadera también se ven implicadas otras medidas, como por ejemplo su rango de movimiento (i.e., IR y ER), es necesario realizar más investigación sobre este tema para ver posibles riesgos de lesión de esta zona en tenistas jóvenes, así como del efecto que tienen sobre esta articulación las competiciones con varios partidos consecutivos.

El rendimiento del tren superior (i.e., rendimiento muscular y eficiencia de golpeo) es determinante en el tenis, ya que los jugadores deben realizar un gran número de golpes con potencia (i.e., principalmente servicios y golpes de derecha) a lo largo de periodos prolongados (Mendez-Villanueva et al., 2007a; Reid y Duffield, 2014). Investigación reciente sugiere que una pérdida en el rango de movimiento en la articulación del hombro es un factor predictivo de lesión futura en lanzadores de béisbol profesionales (Martin et al., 2016b). Los resultados del presente estudio mostraron una disminución en los rangos de IR de los brazos dominante (-4,2%) y no dominante (-3,3%), aunque este rango aumentó en ER (+12,2% y +5,6% para dominante y no dominante, respectivamente) en ambos brazos tras una competición con dos partidos consecutivos en el mismo día (Tabla 11). Los déficits observados en los rangos de movimiento en IR fueron menores que los publicados en la literatura, donde estos oscilaban entre 7-20% (Kibler, Sciascia, y Moore, 2012; Reinold et al., 2008) en béisbol tras un partido con número normal de lanzamientos (i.e., 50-72 lanzamientos) y tras partidos de tenis de duración prolongada (i.e., 3 h; (Martin et al., 2016b)). Desde un punto de vista patológico, aunque los resultados observados en esta investigación mostraron un importante descenso en el rango de movilidad en IR en el lado dominante, los valores podrían considerarse normales ya que los problemas de IR de hombro han sido previamente identificados cuando la pérdida de rotación supera los 18-20°, con pérdidas de rango de movimiento totales (i.e., al compararse de manera bilateral) superiores a 5° (Manske y Ellenbecker, 2013). Las diferencias bilaterales encontradas en la presente investigación fueron menores del 2% tanto para el lado dominante como no dominante, y los rangos de movimiento total (entre 198-200° en ambos lados) fueron superiores a los valores encontrados en los jugadores de tenis y béisbol (Marcondes, Jesus, Bryk, Vasconcelos, y Fukuda, 2013; Martin et al., 2016b). Los descensos en del rango de movilidad en IR de hom-

bro podrían provenir de la sucesión de contracciones excéntricas que tienen lugar en la preparación de los golpes de servicio y derecha a lo largo de la jornada de juego (Ellenbecker, Roetert, Bailie, Davies, y Brown, 2002), y por las acciones de frenado en las fases concéntricas de impacto y terminación del golpeo, lo que podría generar tensión en el tendón muscular y en la cápsula, desembocando en lesión de la articulación (Manske y Ellenbecker, 2013). Sin embargo, esta es una especulación que requiere una investigación con mayor profundidad. Por otro lado, es necesario determinar si esta reducción del rango de movimiento en la articulación del hombro vuelve a valores pre-competición con una adecuada recuperación tras la sucesión de partidos o un mayor tiempo de recuperación (i.e., 48 horas de recuperación).

La velocidad del servicio, golpe reconocido como el más influyente y dominador en el tenis (Roetert, Ellenbecker, y Reid, 2009), depende de varios factores, incluyendo fuerza de tren superior y rango de movilidad de hombro (Cohen et al., 1994; Roetert et al., 2009). Nuestros resultados mostraron que los déficits de movilidad interna del hombro fueron acompañados por reducciones en la capacidad de generar fuerza con el hombro (IR: -9%; ER: -11%) y fuerza de prensión manual (-5%) del lado dominante (Tabla 10 y Tabla 11). Hasta el conocimiento del autor, en el momento de redacción de este documento, tan solo Gescheit et al. (2015) habían analizado la producción de fuerza máxima en IR y ER del hombro dominante tras la realización de partidos de duración prolongada durante días consecutivos, reportando reducciones similares en el hombro dominante (6-8%) el día después de jugar un partido de 4 h. De acuerdo a la definición clásica de fatiga (Gandevia, 2001), y a la luz de los resultados obtenidos, se podría afirmar que tanto la fuerza de tren superior (i.e., hombro y fuerza de prensión manual) como el ROM fueron afectados por la fatiga, y junto con la reducción del rendimiento producido en tren inferior, pudieron llevar a un descenso en el rendimiento del servicio, como se refleja en la reducción del 1,5% en la velocidad máxima de servicio obtenida en el estudio 3. Aunque esta reducción observada fue trivial, los valores están en consonancia con investigaciones previas donde ya se observaron reducciones en la velocidad de servicio durante el transcurso y tras la finalización de situaciones de entrenamiento y partido (Mendez-Villanueva et al., 2007a; Reid y Duffield, 2014), que podrían estar relacionadas con una utilización menos efectiva del ciclo de estiramiento-acortamiento de los rotadores del hombro durante las fases de armado y aceleración (Martin et al., 2016b). Sin embargo, debido a la complejidad del movimiento del servicio, y teniendo en cuenta la ambigua asociación encontrada en investigaciones previas entre el rendimiento de este golpe y la medición de fuerza articular (Cohen et al., 1994; Pugh, Kovalski, Heitman, y Gilley, 2003; Signorile, Sandler, Smith, Stoutenberg, y Perry, 2005), se requiere profundizar más sobre la asociación entre

la fatiga en estos patrones músculo esqueléticos de movimiento y el descenso de rendimiento en el golpeo.

Este tercer estudio tiene varias cuestiones que deberían señalarse como posibles limitaciones que pudieron ser relevantes a la hora de la interpretación de los hallazgos. En primer lugar, haber llevado a cabo un aumento en la frecuencia de toma de datos (e.g., inclusión de tomas de datos nada más finalizar el primer partido, y antes y después del segundo partido) podría haber ofrecido una información adicional más detallada y de gran utilidad sobre el impacto real que tuvo cada uno de los dos partidos sobre el rendimiento de los jugadores. Ese procedimiento con tomas de datos pre y post-partido fue utilizado por Ojala y Hakkinen (2013). A pesar de que obtener el impacto de cada uno de los partidos sobre el rendimiento no era el objeto de estudio del presente estudio 3, esos datos habrían ayudado a incrementar el valor de la investigación, pudiendo dar respuesta a ciertos aspectos que han podido quedar sin resolver con el diseño experimental presente. En segundo lugar, aunque los periodos de descanso entre partidos y pruebas fueron supervisados, los participantes no estuvieron sometidos a ningún control de la higiene de sueño recomendada (i.e., horas de sueño, restricción de uso de estímulos electrónicos; (Duffield, Murphy, Kellett, y Reid, 2013)). Estos aspectos pudieron influir de alguna manera en los niveles de recuperación de los jugadores y, por tanto, en sus niveles de rendimiento durante las pruebas post.

En resumen, jugar una competición simulada con dos partidos en el mismo día reduce los valores en las variables implicadas en el rendimiento neuromuscular de tren inferior (e.g., salto, sprint, y cambio de dirección) y tren superior (fuerza y ROM de la articulación del hombro). A la vista de estos resultados, la preparación de competiciones con estas características debería centrarse en el entrenamiento neuromuscular (i.e., entrenamiento de velocidad/agilidad, fuerza y pliometría) que podría ayudar a evitar la disminución del rendimiento, satisfaciendo las demandas que requiere este tipo de competición tan exigente (Barber-Westin, Hermeto, y Noyes, 2010; Fernandez-Fernandez et al., 2015b; Fernandez-Fernandez, Sanz-Rivas, Saez de Villarreal, y Moya, 2015c). Más concretamente, de cara a mejorar las acciones explosivas en este tipo de jugadores, se recomendaría llevar a cabo dos sesiones de entrenamiento semanales de entre 4-8 ejercicios de pliometría (i.e., combinación de ejercicios de tren inferior y superior) en las que se realicen 2-4 series de 10-15 repeticiones a máxima intensidad con descansos de 15-90 s (Fernandez-Fernandez et al., 2015c). Además, teniendo en cuenta el desequilibrio observado en el ROM de hombro, parecería necesario, sobre todo en estas edades, restablecer tanto el rango normal de movimiento del hombro como mejorar la flexibilidad general antes de la

disputa del siguiente partido. Esto se podría conseguir educando a los jugadores a usar rutinas específicas de estiramiento, movilidad articular y otras estrategias de recuperación a corto plazo, como la liberación miofascial a través del *foam roller* (Mohr, Long, y Goad, 2014) de cara a evitar lesiones por sobreuso y mantener los niveles de rendimiento. Se deberían llevar a cabo un mínimo de 2 sesiones de 15-20 min a la semana que incluyan la movilización articular ligera (e.g., tren superior e inferior) y rutinas de estiramientos de las articulaciones sobrecargadas (e.g., hombro y cadera; (Harshbarger, Eppelheimer, Valovich McLeod, y Welch McCarty, 2013)).

Además del efecto del entrenamiento preventivo y actividades recuperadoras como medidas para compensar la disminución del rendimiento provocado por la aparición de fatiga, resultaría apropiado y de gran interés, discutir los resultados que una ayuda ergogénica como la cafeína podría producir sobre el rendimiento de tenistas jóvenes. Su efectividad en la mejora del rendimiento ya ha sido ampliamente contrastada en deportistas que consumen dosis moderadas de esta sustancia antes de competiciones reales o simuladas (Abian et al., 2015; Bruce et al., 2000; Collomp et al., 1992; Del Coso et al., 2012a; Del Coso et al., 2014; Del Coso et al., 2013; Del Coso et al., 2012b; Diaz-Lara et al., 2016b; Glaister et al., 2008; Goldstein et al., 2010; Killen et al., 2013; Lara et al., 2014a; Lara et al., 2015; P. W. Mumford et al., 2016; Perez-Lopez et al., 2015; Stuart et al., 2005). De manera previa a la redacción de esta Tesis Doctoral, diferentes estudios habían investigado los efectos de la cafeína en el rendimiento en el tenis (Hornery et al., 2007a; Klein et al., 2012; Reyner y Horne, 2013; Strecker, 2007; Struder et al., 1999; Vergauwen et al., 1998) obteniendo resultados contradictorios, debido a la diferencia de dosis usadas (e.g., desde 3 hasta 6 mg·kg⁻¹), a los diferentes test realizados (e.g., partido simulado, ML automática), a la ingesta de otras sustancias añadidas (e.g., CHO), o incluso a la genética de los jugadores (e.g., polimorfismo CYPIA2). Con estas investigaciones previas parecería difícil asegurar el beneficio de la cafeína en el rendimiento específico en tenis ya que los efectos positivos que encontraron con la ingesta de esta sustancia (e.g., mejora en la velocidad de servicio y mayor acierto en golpes) se mezclan con los resultados en los que la cafeína no tuvo ningún efecto positivo (e.g., precisión y velocidad de golpeo, velocidad de carrera, etc.).

Por tanto, el objetivo de este cuarto estudio fue determinar la efectividad del uso de una bebida energética con contenido en cafeína para mejorar el rendimiento físico en tenistas jóvenes de categoría junior. En comparación con el placebo, la ingesta de una bebida con 3 mg·kg⁻¹ de cafeína incrementó en $-4,2 \pm 7,2\%$ la fuerza de prensión en la mano dominante y no dominante mientras que las velocidades media y máxima obtenidas en el test RSA tendió a mejorar con la ingesta de

esta bebida (Tabla 12). A pesar de que la distancia total recorrida durante el partido no se vio afectada, la distancia recorrida a alta intensidad y el número de sprints realizados durante el partido sí aumentaron con el consumo de la bebida que contenía cafeína (Figura 14 y Tabla 13). Por otro lado, el porcentaje de puntos ganados con el servicio tendió a ser más alto con la ingesta de esta bebida con cafeína mientras que la proporción de puntos ganados al resto no se vio afectada (Tabla 14). Toda esta información sugiere que las bebidas con contenido en cafeína podrían ser una ayuda ergogénica para incrementar ciertos aspectos del rendimiento físico en el tenis, al menos cuando se ingieren de manera aguda y en dosis controladas.

Hasta el conocimiento del autor, el estudio 4 fue, en el momento de publicación, la primera investigación en la que se examinaron los efectos de una bebida con contenido en cafeína sobre el rendimiento físico y técnico en competición simulada de tenistas jóvenes y ofreció nueva información sobre la ergogenia de la cafeína en este deporte que combina los componentes físicos y técnicos como claves de éxito. Investigaciones previas indican la efectividad de la cafeína en la mejora de la fuerza en tren superior (Bazzucchi et al., 2011; Del Coso et al., 2012b) con dosis similares, que coincide con el incremento en la fuerza generada observada en el test de dinamometría manual máximo en el presente estudio. Por el contrario, la cafeína no fue efectiva para incrementar la velocidad de servicio en un test específico antes de la disputa de un partido de competición simulada (Tabla 12). Mientras que en el presente estudio se realizó dicho test previo al partido, la literatura previa encontró que la cafeína pudo evitar la progresiva reducción de la velocidad del servicio durante un partido de tenis fatigante (Vergauwen et al., 1998). Estas diferencias metodológicas, podrían explicar la divergencia de resultados entre ambas investigaciones. Finalmente, la bebida energética con cafeína provocó un aumento de la velocidad máxima de carrera durante el test de repeticiones 8 x 15 m, coincidiendo así con los resultados encontrados en otras investigaciones desarrolladas con deportistas de diferentes modalidades (Del Coso et al., 2012a; Glaister et al., 2008; Stuart et al., 2005) y que sugiere, de manera general, que se produce una mejora en la capacidad para repetir acciones de alta intensidad con la ingesta de bebidas energéticas.

Este estudio presenta ciertas novedades en comparación con investigaciones previas. Es la primera investigación que mide los efectos de la cafeína sobre el patrón de movimiento de los tenistas usando dispositivos GPS. Esta metodología permitió medir el patrón de desplazamiento durante un partido real sin que la ubicación ni el tamaño de los dispositivos perjudicaran los movimientos y acciones propias de los jugadores. Se encontró que los jugadores recorrieron 3.058 ± 620 m por hora de juego, coincidiendo con las distancias recorridas por tenistas vete-

ranos (Fernandez-Fernandez et al., 2009a) y excediendo los rangos observados en jugadores jóvenes en estudios previos (Hoppe et al., 2014; Hoppe et al., 2016; L. A. Pereira et al., 2016b) y ligeramente también los observados en el estudio 2 de la presente Tesis Doctoral. Estas diferencias observadas podrían deberse, bien a la diferencia de los niveles de juego entre los participantes de estas investigaciones (Fernandez-Fernandez et al., 2009b; L. A. Pereira et al., 2016b), o a la diferencia de hasta 3 años de edad existente entre ellos, habiéndose demostrado el incremento que se produce en el rendimiento con el aumento de la edad en estas etapas. La cafeína no modificó el ritmo de carrera durante el partido, a diferencia de lo observado en otras modalidades deportivas de habilidad (Del Coso et al., 2012a; Del Coso et al., 2013).

La Figura 14 muestra la distribución de las distancias recorridas por los tenistas, distribuidas en 5 zonas, a su vez categorizadas, por tramos de velocidad. La clasificación para este estudio 4 no se basó en la clasificación zonal específica realizada para esta modalidad deportiva (Hoppe et al., 2014; Hoppe et al., 2016), y que si fue usada para el estudio 2, ya que el momento de escritura y publicación del estudio 4 fue previo a la publicación de estos estudios. Por tanto, en este caso se usó una modificación de la categorización zonal que existía en ese momento, concretamente la de los perfiles de actividad de jugadores jóvenes de fútbol de Castagna et al. (2003). Esta categorización estaba distribuida en 6 zonas de velocidad, donde los tramos de velocidad eran muy amplios y comprendían las zonas 5 y 6 velocidades por encima de los $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Debido a que las dimensiones de una pista de tenis son mucho menores a las de un campo de fútbol, y las velocidades máximas que se alcanzan son, por tanto, menos frecuentes y menos elevadas, para este estudio se unieron las últimas dos zonas de velocidad (i.e., zonas 5 y 6) en una sola. Dicha zona reflejaba tramos de velocidad por encima de los $13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (zona 5). En la distancia total recorrida en el partido, los jugadores realizaron mayor número de desplazamientos a intensidad media (Figura 14), tal y como han encontrado otros estudios (Fernandez-Fernandez et al., 2009a; Hoppe et al., 2014; L. A. Pereira et al., 2016b) en su análisis de tiempos y movimientos en partidos de tenis. Esto podría estar relacionado, como se ha comentado previamente en este mismo apartado, con las continuas pausas y descansos de los que consta un partido de tenis entre puntos y entre juegos en los que se realizan desplazamientos a baja intensidad. Sin embargo, la capacidad de mantener acciones de alta intensidad es un elemento clave para el éxito en el tenis contemporáneo (Mendez-Villanueva et al., 2007b) lo que sugiere que las actividades en zona 5 son las más determinantes para el éxito en este deporte. La ingesta de una bebida con cafeína incrementó el número de metros recorridos en esta zona 5 (acciones de alta intensidad) y el número de sprints en un

partido de competición simulada. Aunque la cafeína no influyó en la distancia total recorrida durante el partido, y apenas cambió la distribución de metros recorridos dentro de cada zona, sí que incrementó el número de desplazamientos llevados a cabo a alta intensidad que, en definitiva, podría representar una ventaja clave para el rendimiento en tenis.

La segunda novedad de esta investigación está relacionada con la medida del efecto de la cafeína en un partido al mejor de 3 sets contra un oponente del mismo nivel a través del análisis notacional realizado tras el partido. La ingesta de la bebida energética con cafeína incrementó en un $15,0 \pm 23,2\%$ el número de puntos ganados totales con respecto a la ingesta del placebo, aunque el efecto no fue estadísticamente significativo (Tabla 14). Previamente, se había observado algo similar en tenis (Ferrauti et al., 1997), aunque estos beneficios fueron solamente encontrados en una sub-muestra de tenistas femeninas. El análisis notacional también reveló que los efectos de la cafeína en el rendimiento en tenis están relacionados con los juegos en los que los jugadores sirven. En este sentido, se apreció una tendencia a ganar por encima del 20% más de puntos en aquellos juegos en los que los jugadores servían, especialmente cuando conseguían poner la bola en juego con el primer servicio, donde el porcentaje de puntos ganados se incrementó por encima del 23% (Tabla 14). Por el contrario, la cafeína no fue efectiva para incrementar la probabilidad de ganar puntos al resto. Dos investigaciones recientes realizadas con jugadores de voleibol encontraron que la ingesta de bebida energética con contenido en cafeína incrementó la precisión en acciones durante el juego, incrementando el número de acciones denominadas como exitosas durante un partido de competición simulada tanto en chicos como en chicas (Del Coso et al., 2014; Perez-Lopez et al., 2015), reduciendo en el caso de las chicas el número de acciones erróneas (Perez-Lopez et al., 2015). Toda esta información sugiere un efecto positivo a través de la ingesta de cafeína en forma de bebidas energéticas, o cualquier producto nutricional con contenido de cafeína, sobre el rendimiento en un partido.

A menudo los jugadores de categoría junior están sometidos a demasiada presión en la búsqueda de resultados extraordinarios que les permita alcanzar una carrera como profesional de élite. En muchas ocasiones sus miradas se centran en sustancias que les permitan mejorar el rendimiento, siendo ahí donde aparecen las bebidas energéticas como uno de los productos más consumidos por esta población. La mayoría de investigaciones sobre cafeína, o sobre bebidas energéticas que la contienen, están basadas en deportistas adultos, mientras que la información sobre los efectos de estas bebidas en deportistas jóvenes es escasa. Esta investigación se centra en los efectos de una bebida energética comercializada en el rendi-

miento de tenistas jóvenes y confirma que su ingesta, previa al ejercicio, podría ser una ayuda nutricional para incrementar varios factores físicos asociados al éxito en el tenis en dicha categoría, tal y como sucede en la población adulta. Sin embargo, también existen estudios que revelan que los deportistas manifiestan un incremento del nerviosismo y del insomnio en las horas siguientes a la ingesta de estas bebidas energéticas con cafeína (Del Coso et al., 2013; Lara et al., 2014a; Salinero et al., 2014). De este modo, estos efectos secundarios negativos deberían tenerse en cuenta a la hora de hacer una recomendación del consumo de bebidas energéticas con cafeína, especialmente en tenistas u otros deportistas jóvenes.

Hay ciertos aspectos que podrían considerarse como limitantes en este último estudio. En primer lugar, y como se ha comentado anteriormente, la categorización de las zonas de velocidad utilizadas no están basadas en literatura científica específica de tenis como si se llevó a cabo en el estudio 2, sino que se realizó una modificación de las zonas utilizadas hasta el momento de la redacción del estudio, concretamente desarrolladas por Castagna et al. (2003). Tal y como se ha explicado, las dimensiones de una pista de tenis son ciertamente menores que las de un campo de fútbol y, por tanto, es difícil que los tenistas lleguen a alcanzar velocidades tan altas como los futbolistas, por lo que esta categorización pudo haber limitado la correcta identificación de los efectos de la cafeína en zonas de velocidad intermedias. En segundo lugar, no se pudo recopilar la totalidad de cuestionarios sobre efectos secundarios de los participantes en el estudio por lo que las variables no pudieron incluirse en el mismo. Su percepción propia sobre las horas posteriores a los días de pruebas podría haber otorgado información valiosa a la hora de poder llegar a realizar recomendaciones, en mayor o menor medida, acerca de la ingesta de este tipo de sustancias en estas edades, al menos teniendo como base la prevalencia de efectos secundarios. Por último, las distancias analizadas en el estudio hacían referencia a la distancia recorrida por los tenistas a lo largo del tiempo total de partido y no al tiempo efectivo de juego, por lo que muchos de los metros realizados por los jugadores se deben a distancias recorridas en los descansos entre puntos y entre juegos. Este hecho hace que las diferencias significativas aparezcan solamente en zonas de alta intensidad. Probablemente el análisis de los metros recorridos en tiempo efectivo de juego podría determinar con mayor exactitud la posibilidad, o no, de existencia de diferencias en zonas de menor intensidad.



A close-up photograph of two tennis players shaking hands on a court. The player on the left is wearing a white polo shirt and a white wristband. The player on the right is wearing a bright pink polo shirt and a blue and pink wristband. They are both holding tennis rackets. The player on the left has a bright green and black racket with 'TECHNOLOGY' and '碳纤维' (carbon fiber) visible. The player on the right has a black and blue racket with a Wilson logo. The background is a blurred outdoor tennis court setting.

6

CONCLUSIONES

En respuesta a los objetivos planteados en el estudio 1, y en base a los resultados obtenidos, se puede concluir que se confirmó la hipótesis inicial. A lo largo de las décadas de estudio, la edad media de los jugadores del top100 en ambos circuitos profesionales fue incrementando progresivamente, siendo la edad media del circuito profesional masculino de $27,6 \pm 3,2$ años y del circuito profesional femenino de $24,8 \pm 4,2$ años. Además, la edad de acceso por primera vez al top100 también aumentó progresivamente en el circuito masculino, mientras que se mantuvo relativamente constante en el femenino. Por último, las 100 primeras jugadoras del ranking femenino alcanzaron el pico de rendimiento de manera más precoz ($23,6 \pm 3,5$ años) que los hombres ($24,8 \pm 2,9$ años).

En respuesta a los objetivos planteados en el estudio 2, a tenor de los resultados obtenidos, se puede concluir que también se confirmó la hipótesis inicial. El patrón de desplazamiento y de actividad, así como el compromiso fisiológico de tenistas jóvenes con nivel de competición, difirió en ambas sesiones de juego (e.g., mañana vs tarde) en una competición simulada con dos partidos consecutivos en un mismo día. Concretamente, en la sesión de tarde los jugadores recorrieron una mayor distancia total global, así como en todas las zonas de velocidad, salvo en la de máxima intensidad. Además, el número total de acciones a alta aceleración y deceleración fue mayor. Estos efectos sobre el patrón de movimiento estuvieron relacionados con partidos más largos en la sesión de tarde como resultado de mayores descansos entre punto y punto, que sugieren una mayor fatiga que en el partido de la sesión de mañana. Tan solo se apreció un cambio en la velocidad máxima de desplazamiento alcanzada entre ganadores y perdedores de partido, siendo esta velocidad mayor para los que perdieron el mismo.

En respuesta a los objetivos planteados en el estudio 3, y en vista de los resultados obtenidos, se puede concluir que se confirmó la hipótesis inicial planteada. Tras un día de competición simulada con dos partidos consecutivos aparecieron déficits físicos en las variables implicadas en el rendimiento neuromuscular de tren inferior (reducción en la capacidad de salto, sprint y cambio de dirección)

y tren superior (reducción/aumento en los rangos de movimiento y disminución en la producción de fuerza).

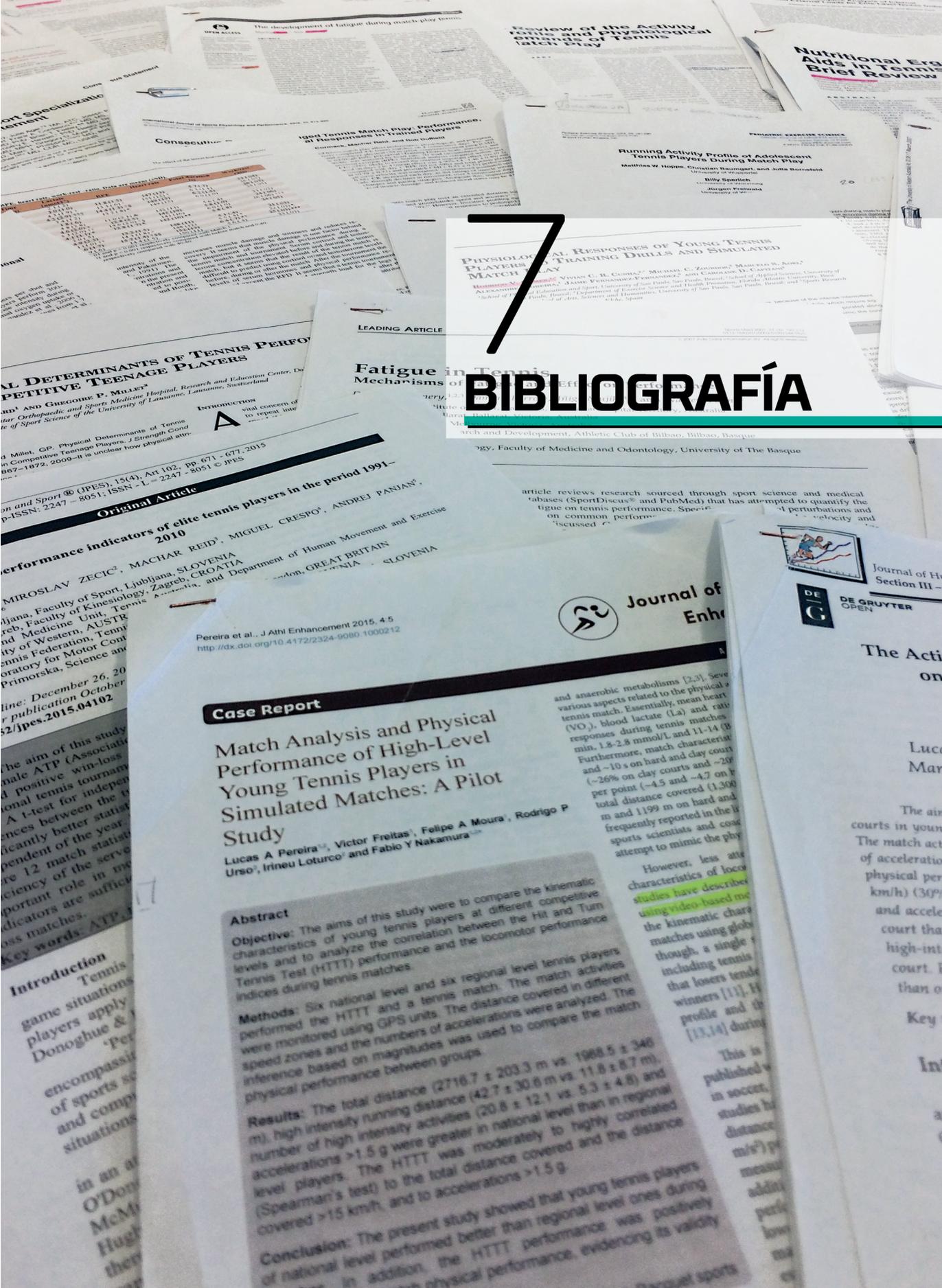
En respuesta a los objetivos planteados en el estudio 4, se puede concluir que se confirmó la hipótesis inicial planteada. La ingesta de una bebida con 3 mg·kg⁻¹ de cafeína, frente al consumo de una bebida placebo, incrementó la fuerza de prensión manual y provocó una modificación en el patrón de desplazamiento (incremento de la distancia recorrida a alta intensidad y del número de sprints) en tenistas jóvenes en un partido de competición simulada, observándose también una tendencia al incremento del rendimiento técnico (porcentaje de puntos ganados con el servicio).

Como conclusiones generales de la presente Tesis Doctoral, se podría apuntar a la necesidad de llevar a cabo ciertas estrategias sobre los tenistas jóvenes de competición, que favorezcan la mejora de su rendimiento a través de un desarrollo deportivo más saludable en aras de lograr carreras deportivas profesionales más longevas:

- recomendar inicios de especialización deportiva apoyados en la valoración de la edad de obtención de pico de rendimiento deportivo y en las características etarias del tenis profesional en el momento de la recomendación;
- monitorizar cargas de entrenamiento y competición con el objetivo de ajustar las sesiones de entrenamiento a las exigencias reales que supone la competición, especialmente aquellas en las que se juega más de un partido en el mismo día;
- inculcar al jugador la importancia de poner en práctica el trabajo de prevención y recuperación, especialmente inter y post-partido, en aquellas jornadas de entrenamiento y competición con más de una sesión o partido en el mismo día, para minimizar el impacto provocado por la carga sobre su rendimiento y sobre la posible prevalencia lesional;
- profundizar en la utilización de la cafeína como estrategia ergogénica nutricional en el tenis de competición, de cara a que los tenistas jóvenes de competición mejoren su rendimiento o intenten mitigar la aparición del efecto de la fatiga. Esta recomendación debería aplicarse cuando las adaptaciones a través del entrenamiento, y a través de los patrones nutricionales, se hayan maximizado.

7

BIBLIOGRAFÍA



The development of fatigue during match-play tennis

Review of the Activity Demand and Physiological Response of Tennis Match Play

Nutritional Ergogenic Aids in Tennis: Brief Review

Running Activity Profile of Adolescent Tennis Players During Match Play

PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF YOUNG TENNIS PLAYERS TO TRAINING DRILLS AND SIMULATED MATCH PLAY

Fatigue in Tennis: Mechanisms of Performance Impairment

PERFORMANCE INDICATORS OF ELITE TENNIS PLAYERS IN THE PERIOD 1991-2010

Match Analysis and Physical Performance of High-Level Young Tennis Players in Simulated Matches: A Pilot Study

Journal of Human Ergology



Journal of Human Ergology

DE GRUYTER OPEN

The Action on...

Abstract

Objective: The aims of this study were to compare the kinematic characteristics of young tennis players at different competitive levels and to analyze the correlation between the Hit and Turn Tennis Test (HTTT) performance and the locomotor performance indices during tennis matches.

Methods: Six national level and six regional level tennis players performed the HTTT and a tennis match. The match activities were monitored using GPS units. The distance covered in different speed zones and the numbers of accelerations were analyzed. The inference based on magnitudes was used to compare the match physical performance between groups.

Results: The total distance (2716.7 ± 203.3 m vs 1988.5 ± 340 m), high intensity running distance (42.7 ± 30.6 m vs 11.8 ± 8.7 m), and number of high intensity activities (20.8 ± 12.1 vs 5.3 ± 4.8) and accelerations >1.5 g were greater in national level than in regional level players. The HTTT was moderately to highly correlated (Spearman's test) to the total distance covered and the distance covered >15 km/h, and to accelerations >1.5 g.

Conclusion: The present study showed that young tennis players of national level performed better than regional level ones during HTTT. In addition, the HTTT performance was positively correlated with physical performance, evidencing its validity for tennis performance.

However, less attention has been paid to the characteristics of local acceleration during tennis matches using global positioning system (GPS) technology. This is published in soccer studies to distance covered (m²) per match. This means that the performance of players is lower than that of soccer players.

The aim of this study was to analyze the characteristics of local acceleration during tennis matches using global positioning system (GPS) technology. This is published in soccer studies to distance covered (m²) per match. This means that the performance of players is lower than that of soccer players.

The aim of this study was to analyze the characteristics of local acceleration during tennis matches using global positioning system (GPS) technology. This is published in soccer studies to distance covered (m²) per match. This means that the performance of players is lower than that of soccer players.

Introduction Tennis game situations players apply Donoghue & ... encompassing of sports and competitive situations in an O'Donoghue & ...

- Abian-Vicen, J., Puente, C., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., Areces, F., Munoz, G., . . . Del Coso, J. (2014). A caffeinated energy drink improves jump performance in adolescent basketball players. *Amino Acids*, *46*(5), 1333-1341. doi: 10.1007/s00726-014-1702-6
- Abian, P., Del Coso, J., Salinero, J. J., Gallo-Salazar, C., Areces, F., Ruiz-Vicente, D., . . . Abian-Vicen, J. (2015). The ingestion of a caffeinated energy drink improves jump performance and activity patterns in elite badminton players. *Journal of Sports Sciences*, *33*(10), 1042-1050. doi: 10.1080/02640414.2014.981849
- Association of Tennis Players. (2015). ATP rankings Retrieved 1 de enero, 2015, from <http://es.atpworldtour.com/Tournaments/Tournament-Landing.aspx>
- Association of Tennis Players. (2017). ATP rankings Retrieved 29 de enero, 2017, from <http://www.atpworldtour.com/es/rankings/singles>
- Attwood, A., Higgs, S., & Terry, P. (2007). Differential responsiveness to caffeine and perceived effects of caffeine in moderate and high regular caffeine consumers. *Psychopharmacology*, *190*(4), 469-477. doi: 10.1007/s00213-006-0643-5
- Bacil, E. D., Mazzardo Junior, O., Rech, C. R., Legnani, R. F., & Campos, W. (2015). [Physical activity and biological maturation: a systematic review.]. *Revista Paulista de Pediatria*. doi: 10.1016/j.rpped.2014.11.003
- Bahr, R. (2014). Demise of the fittest: are we destroying our biggest talents? *British Journal of Sports Medicine*, *48*(17), 1265-1267. doi: 10.1136/bjsports-2014-093832
- Baiget, E., Fernandez-Fernandez, J., Iglesias, X., Vallejo, L., & Rodriguez, F. A. (2014). On-court endurance and performance testing in competitive male tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(1), 256-264. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182955dad

- Baiget, E., Iglesias, X., & Rodriguez, F. A. (2016). Aerobic Fitness and Technical Efficiency at High Intensity Discriminate between Elite and Subelite Tennis Players. *International Journal of Sports Medicine*, 37(11), 848-854. doi: 10.1055/s-0042-104201
- Balyi, I., & Hamilton, A. (2004). *Long-term athlete development* (Vol. 194): Victoria: National Coaching Institute British Columbia & Advanced Training and Performance Ltd.
- Barber-Westin, S. D., Hermeto, A. A., & Noyes, F. R. (2010). A six-week neuromuscular training program for competitive junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research/ National Strength & Conditioning Association*, 24(9), 2372-2382. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e8a47f
- Barbero-Alvarez, J. C., Coutts, A., Granda, J., Barbero-Alvarez, V., & Castagna, C. (2010). The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 232-235. doi: 10.1016/j.jsams.2009.02.005
- Barris, S., & Button, C. (2008). A review of vision-based motion analysis in sport. *Sports Medicine*, 38(12), 1025-1043. doi: 10.2165/00007256-200838120-00006
- Baxter-Jones, A., Helms, P., Maffulli, N., Baines-Preece, J., & Preece, M. (1995). Growth and development of male gymnasts, swimmers, soccer and tennis players: a longitudinal study. *Annals of Human Biology*, 22(5), 381-394.
- Bazzucchi, I., Felici, F., Montini, M., Figura, F., & Sacchetti, M. (2011). Caffeine improves neuromuscular function during maximal dynamic exercise. *Muscle Nerve*, 43(6), 839-844. doi: 10.1002/mus.21995
- Beaumont, R., Cordery, P., Funnell, M., Mears, S., James, L., & Watson, P. (2016). Chronic ingestion of a low dose of caffeine induces tolerance to the performance benefits of caffeine. *Journal of Sports Sciences*, 1-8. doi: 10.1080/02640414.2016.1241421
- Bernardini, M., De Vito, G., Falvo, M., Marino, S., & Montellanco, F. (1998). Cardiorespiratory adjustment in middle-level tennis players: Are long-term cardiovascular adjustments possible? . In A. Lees, I. Maynard, M. D. Hughes & T. Reilly (Eds.), *Science and Racket Sports II* (pp. 20-26). London: E & FN Spon.

- Berthelot, G., Len, S., Hellard, P., Tafflet, M., Guillaume, M., Vollmer, J. C., . . . Toussaint, J. F. (2012). Exponential growth combined with exponential decline explains lifetime performance evolution in individual and human species. *Age (Dordr)*, *34*(4), 1001-1009. doi: 10.1007/s11357-011-9274-9
- Bonati, M., Latini, R., Galletti, F., Young, J. F., Tognoni, G., & Garattini, S. (1982). Caffeine disposition after oral doses. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, *32*(1), 98-106.
- Bongard, V., McDermott, A., Dallal, G., & Schaefer, E. (2007). Effects of age and gender on physical performance. *AGE*, *29*(2-3), 77-85. doi: 10.1007/s11357-007-9034-z
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *14*(5), 377-381.
- Bosco, C., Mogroni, P., & Luhtanen, P. (1983). Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *51*(3), 357-364.
- Bouchet, P., Hillairet, D., & Bodet, G. (2013). *Sport brands*: Routledge.
- Bradbury, J. C. (2009). Peak athletic performance and ageing: evidence from baseball. *Journal of Sports Sciences*, *27*(6), 599-610. doi: 10.1080/02640410802691348
- Brenner, J. S. (2007). Overuse injuries, overtraining, and burnout in child and adolescent athletes. *Pediatrics*, *119*(6), 1242-1245. doi: 10.1542/peds.2007-0887
- Brink-Elfegoun, T., Ratel, S., Lepretre, P. M., Metz, L., Ennequin, G., Dore, E., . . . Peltier, S. L. (2014). Effects of sports drinks on the maintenance of physical performance during 3 tennis matches: a randomized controlled study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *11*, 46. doi: 10.1186/s12970-014-0046-7
- Brody, H. (2006). Unforced errors and error reduction in tennis. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(5), 397-400. doi: 10.1136/bjism.2005.023432
- Brouwers, J., De Bosscher, V., & Sotiriadou, P. (2012). An examination of the importance of performances in youth and junior competition as an indicator of later success in tennis. *Sport Management Review*, *15*(4), 461-475. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.smr.2012.05.002>

- Brown, E., & O'Donoghue, P. (2008). Gender and surface effect on elite tennis strategy. *ITF Coaching and Sport Science Review*, 46(15), 9-11.
- Bruce, C. R., Anderson, M. E., Fraser, S. F., Stepto, N. K., Klein, R., Hopkins, W. G., & Hawley, J. A. (2000). Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(11), 1958-1963.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M., Quesnel, T., & Ahmaidi, S. (2010). Improving acceleration and repeated sprint ability in well-trained adolescent handball players: speed versus sprint interval training. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(2), 152-164.
- Buxton, C., & Hagan, J. E. (2012). A survey of energy drinks consumption practices among student-athletes in Ghana: lessons for developing health education intervention programmes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 9. doi: 10.1186/1550-2783-9-9
- Campbell, B., Wilborn, C., La Bounty, P., Taylor, L., Nelson, M. T., Greenwood, M., . . . Stout, J. R. (2013). International Society of Sports Nutrition position stand: energy drinks. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 1. doi: 10.1186/1550-2783-10-1
- Carter, A. (2016, 20 de junio 2016). Grand Slam 2016: Tennis' Four Majors By The Numbers. *Forbes*
- Castagna, C., D'Ottavio, S., & Abt, G. (2003). Activity profile of young soccer players during actual match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 775-780. doi: R-10711 [pii]
- Ciriza, A. (2016). El tenis envejece, EL PAÍS. Retrieved from http://deportes.elpais.com/deportes/2016/02/28/actualidad/1456670713_198469.html
- Cobley, S., Baker, J., Wattie, N., & McKenna, J. (2009). Annual age-grouping and athlete development. *Sports Medicine*, 39(3), 235-256. doi: 10.2165/00007256-200939030-00005
- Cohen, D. B., Mont, M. A., Campbell, K. R., Vogelstein, B. N., & Loewy, J. W. (1994). Upper extremity physical factors affecting tennis serve velocity. *The American Journal of Sports Medicine*, 22(6), 746-750. doi: 10.1177/036354659402200604

- Collomp, K., Ahmaidi, S., Chatard, J. C., Audran, M., & Prefaut, C. (1992). Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *64*(4), 377-380.
- Cools, A. M., De Wilde, L., Van Tongel, A., Ceyskens, C., Ryckewaert, R., & Cambier, D. C. (2014). Measuring shoulder external and internal rotation strength and range of motion: comprehensive intra-rater and inter-rater reliability study of several testing protocols. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, *23*(10), 1454-1461. doi: 10.1016/j.jse.2014.01.006
- Coupe, C., Thorborg, K., Hansen, M., Fahlstrom, M., Bjordal, J. M., Nielsen, D., . . . Magnusson, S. P. (2014). Shoulder rotational profiles in young healthy elite female and male badminton players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *24*(1), 122-128. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01480.x
- Coutts, A. J., & Duffield, R. (2010). Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *13*(1), 133-135. doi: 10.1016/j.jsams.2008.09.015
- Cowden, R. G. (2016). Competitive Performance Correlates of Mental Toughness in Tennis: A Preliminary Analysis. *Perceptual and Motor Skills*, *123*(1), 341-360. doi: 10.1177/0031512516659902
- Crespo, M., & Miley, D. (1998). ITF manual for advanced coaches. *London: ITF Ltd*, 17-23.
- Crespo, M., Reid, M., Miley, D., & Atienza, F. (2003). The relationship between professional tournament structure on the national level and success in men's professional tennis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *6*(1), 3-13.
- Cross, R. (2014). Men's tennis vs Women's tennis. *ITF Coaching and Sport Science Review*(62), 3-5.
- Del Coso, J., Munoz-Fernandez, V. E., Munoz, G., Fernandez-Elias, V. E., Ortega, J. F., Hamouti, N., . . . Munoz-Guerra, J. (2012a). Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PLoS One*, *7*(2), e31380. doi: 10.1371/journal.pone.0031380
- Del Coso, J., Munoz, G., & Munoz-Guerra, J. (2011). Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, *36*(4), 555-561. doi: 10.1139/h11-052

- Del Coso, J., Perez-Lopez, A., Abian-Vicen, J., Salinero, J. J., Lara, B., & Valades, D. (2014). Enhancing physical performance in male volleyball players with a caffeine-containing energy drink. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(6), 1013-1018. doi: 10.1123/ijsp.2013-0448
- Del Coso, J., Portillo, J., Munoz, G., Abian-Vicen, J., Gonzalez-Millan, C., & Munoz-Guerra, J. (2013). Caffeine-containing energy drink improves sprint performance during an international rugby sevens competition. *Amino Acids*, 44(6), 1511-1519. doi: 10.1007/s00726-013-1473-5
- Del Coso, J., Salinero, J. J., Gonzalez-Millan, C., Abian-Vicen, J., & Perez-Gonzalez, B. (2012b). Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: a repeated measures design. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 21. doi: 10.1186/1550-2783-9-21
- Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., Garcia, J. M., Portillo, L. J., Areces, F., & Abian-Vicen, J. (2016a). Caffeine improves muscular performance in elite Brazilian Jiu-jitsu athletes. *European Journal of Sport Science*, 16(8), 1079-1086. doi: 10.1080/17461391.2016.1143036
- Diaz-Lara, F. J., Del Coso, J., Portillo, J., Areces, F., Garcia, J. M., & Abian-Vicen, J. (2016b). Enhancement of High-Intensity Actions and Physical Performance During a Simulated Brazilian Jiu-Jitsu Competition With a Moderate Dose of Caffeine. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 861-867. doi: 10.1123/ijsp.2015-0686
- Dudink, A. (1994). Birth date and sporting success. *Nature*. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/368592a0>
- Duffield, R., Murphy, A. P., Kellett, A., & Reid, M. (2013). Recovery From Repeated On-Court Tennis Sessions: Combining Cold Water Immersion, Compression and Sleep Recovery Interventions. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9(2), 273-282. doi: 10.1123/ijsp.2012-0359
- Edgar, S., & O'Donoghue, P. (2005). Season of birth distribution of elite tennis players. *Journal of Sports Sciences*, 23(10), 1013-1020. doi: 10.1080/02640410400021468
- Ellenbecker, T. S., Roetert, E. P., Bailie, D. S., Davies, G. J., & Brown, S. W. (2002). Glenohumeral joint total rotation range of motion in elite tennis players and baseball pitchers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(12), 2052-2056. doi: 10.1249/01.MSS.0000039301.69917.0C

- Epstein, D. (2013). *The sports gene: Inside the science of extraordinary athletic performance*: Penguin.
- Ericsson, K. A., & Charness, N. (1994). Expert performance: Its structure and acquisition. *American Psychologist*, *49*(8), 725. doi: 10.1037/0003-066X.49.8.725
- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, *100*(3), 363. doi: <http://dx.doi.org/10.1037/0033-295X.100.3.363>
- European Food Safety Authority. (2015). Scientific Opinion on the safety of caffeine Retrieved 20 junio, 2015, from <http://www.efsa.europa.eu/en/consultations/call/150115.pdf>
- Fabre, J. B., Martin, V., Gondin, J., Cottin, F., & Grelot, L. (2012). Effect of playing surface properties on neuromuscular fatigue in tennis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *44*(11), 2182-2189. doi: 10.1249/MSS.0b013e3182618cf9
- Fernandez-Fernandez, J., Boullosa, D. A., Sanz-Rivas, D., Abreu, L., Filaire, E., & Mendez-Villanueva, A. (2015a). Psychophysiological stress responses during training and competition in young female competitive tennis players. *International Journal of Sports Medicine*, *36*(1), 22-28. doi: 10.1055/s-0034-1384544
- Fernandez-Fernandez, J., Kinner, V., & Ferrauti, A. (2010). The physiological demands of hitting and running in tennis on different surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *24*(12), 3255-3264. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e8745f
- Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Garcia, B., & Terrados, N. (2007). Match activity and physiological responses during a junior female singles tennis tournament. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(11), 711-716. doi: 10.1136/bjism.2007.036210
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Fernandez-Garcia, B., & Mendez-Villanueva, A. (2008). Match activity and physiological load during a clay-court tennis tournament in elite female players. *Journal of Sports Sciences*, *26*(14), 1589-1595. doi: 10.1080/02640410802287089

- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Kovacs, M. S., & Moya, M. (2015b). In-season effect of a combined repeated sprint and explosive strength training program on elite junior tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(2), 351-357. doi: 10.1519/JSC.0000000000000759
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., & Mendez-Villanueva, A. (2009a). A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. *Strength & Conditioning Journal*, 31(4), 15-26. doi: 10.1136/bjsports-2013-093196
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Saez de Villarreal, E., & Moya, M. (2015c). The Effects of 8-Week Plyometric Training on Physical Performance in Young Tennis Players. *Pediatr Exerc Sci*. doi: <http://dx.doi.org/10.1123/pes.2015-0019>
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Sanchez-Munoz, C., Pluim, B. M., Tiemessen, I., & Mendez-Villanueva, A. (2009b). A comparison of the activity profile and physiological demands between advanced and recreational veteran tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 604-610. doi: 10.1519/JSC.0b013e318194208a
- Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Pluim, B. M. (2006). Intensity of tennis match play. *British Journal of Sports Medicine*, 40(5), 387-391; discussion 391. doi: 10.1136/bjism.2005.023168
- Ferrauti, A., Bergeron, M. F., Pluim, B. M., & Weber, K. (2001a). Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*, 85(1-2), 27-33. doi: 10.1007/s004210100425
- Ferrauti, A., Kinner, V., & Fernandez-Fernandez, J. (2011). The Hit & Turn Tennis Test: an acoustically controlled endurance test for tennis players. *Journal of Sports Sciences*, 29(5), 485-494. doi: 10.1080/02640414.2010.539247
- Ferrauti, A., Neumann, G., Weber, K., & Keul, J. (2001b). Urine catecholamine concentrations and psychophysical stress in elite tennis under practice and tournament conditions. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(2), 269-274.

- Ferrauti, A., Pluim, B. M., & Weber, K. (2001c). The effect of recovery duration on running speed and stroke quality during intermittent training drills in elite tennis players. *Journal of Sports Sciences*, *19*(4), 235-242. doi: 10.1080/026404101750158277
- Ferrauti, A., Weber, K., & Struder, H. K. (1997). Metabolic and ergogenic effects of carbohydrate and caffeine beverages in tennis. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *37*(4), 258-266.
- Ferrauti, A., Weber, K., & Wright, P. (2003). Endurance: Basic, semi-specific and specific. In M. Reid, A. Quinn & M. Crespo (Eds.), *Strength and Conditioning for Tennis* (pp. 93-111). London, UK: ITF Ltd.
- Filaire, E., Alix, D., Ferrand, C., & Verger, M. (2009). Psychophysiological stress in tennis players during the first single match of a tournament. *Psychoneuroendocrinology*, *34*(1), 150-157. doi: 10.1016/j.psyneuen.2008.08.022
- Filipicic, A., & Filipicic, T. (2006). Analysis of time and game characteristics in top profile tennis. *Acta Universitatis Carolinae. Kinesiology*, *42*(1), 41-53.
- Filipicic, A., Zecic, M., Reid, M., Crespo, M., Panjan, A., & Nejc, S. (2015). Differences in performance indicators of elite tennis players in the period 1991-2010. *Journal of Physical Education and Sport*, *15*(4), 671. doi: 10.7752/jpes.2015.04102
- Filipicic, T., Filipicic, A., & Berendijas, T. (2008). Comparison of game characteristics of male and female tennis players at Roland Garros 2005. *Acta Univ Palacki Olomuc. Gymnica*, *38*(3), 21-28.
- Fitts, P. M. (1992). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. 1954. *Journal of Experimental Psychology: General*, *121*(3), 262-269.
- Forbes. (2016, 8 de junio 2016). The World's Highest-Paid Athletes. *Forbes*.
- Forman, E. S., Dekker, A. H., Javors, J. R., & Davison, D. T. (1995). High-Risk Behaviors in Teenage Male Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, *5*(1), 36-42.

- Gabbard, C. P. (2011). *Lifelong motor development*: Pearson Higher Ed.
- Galenson, D. W. (1993). The impact of economic and technological change on the careers of American men tennis players, 1960-1991. *Journal of Sport History*, 20(2), 127-150.
- Gallmann, D., Knechtle, B., Rust, C. A., Rosemann, T., & Lepers, R. (2014). Elite triathletes in 'Ironman Hawaii' get older but faster. *Age (Dordr)*, 36(1), 407-416. doi: 10.1007/s11357-013-9534-y
- Gandevia, S. C. (2001). Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 81(4), 1725-1789.
- Gescheit, D. T., Cormack, S. J., Reid, M., & Duffield, R. (2015). Consecutive days of prolonged tennis match play: performance, physical, and perceptual responses in trained players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(7), 913-920. doi: 10.1123/ijsp.2014-0329
- Gescheit, D. T., Duffield, R., Skein, M., Brydon, N., Cormack, S. J., & Reid, M. (2016). Effects of consecutive days of match play on technical performance in tennis. *Journal of Sports Sciences*, 1-7. doi: 10.1080/02640414.2016.1244352
- Geyer, H. (2010). Quit behavior of professional tennis players. *Journal of Sports Economics*, 11(1), 89-99. doi: <https://doi.org/10.1177/1527002509336210>
- Gillet, E., Leroy, D., Thouwarecq, R., & Stein, J. F. (2009). A notational analysis of elite tennis serve and serve-return strategies on slow surface. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(2), 532-539. doi: 10.1519/JSC.0b013e31818efef29
- Girard, O., Chevalier, R., Leveque, F., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2006a). Specific incremental field test for aerobic fitness in tennis. *British Journal of Sports Medicine*, 40(9), 791-796. doi: 10.1136/bjism.2006.027680
- Girard, O., Lattier, G., Maffiuletti, N. A., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2008). Neuromuscular fatigue during a prolonged intermittent exercise: Application to tennis. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(6), 1038-1046. doi: 10.1016/j.jelekin.2007.05.005

- Girard, O., Lattier, G., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2006b). Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(6), 521-526. doi: 10.1136/bjsm.2005.023754
- Girard, O., & Millet, G. P. (2009a). Neuromuscular fatigue in racquet sports. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, *20*(1), 161-173, ix. doi: 10.1016/j.pmr.2008.10.008
- Girard, O., & Millet, G. P. (2009b). Physical determinants of tennis performance in competitive teenage players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(6), 1867-1872. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b3df89
- Girard, O., Racinais, S., Micallef, J. P., & Millet, G. P. (2011). Spinal modulations accompany peripheral fatigue during prolonged tennis playing. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *21*(3), 455-464. doi: 10.1111/j.1600-0838.2009.01032.x
- Glaister, M., Howatson, G., Abraham, C. S., Lockey, R. A., Goodwin, J. E., Foley, P., & McInnes, G. (2008). Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *40*(10), 1835-1840. doi: 10.1249/MSS.0b013e31817a8ad2
- Goldstein, E. R., Ziegenfuss, T., Kalman, D., Kreider, R., Campbell, B., Wilborn, C., . . . Antonio, J. (2010). International Society of Sports Nutrition Position Stand: caffeine and performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *7*(1), 5. doi: 10.1186/1550-2783-7-5
- Gomes, R. V., Capitani, C. D., Ugrinowitsch, C., Zourdos, M. C., Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Aoki, M. S. (2013). Does carbohydrate supplementation enhance tennis match play performance? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *10*(1), 46. doi: 10.1186/1550-2783-10-46
- Gomes, R. V., Coutts, A. J., Viveiros, L., & Aoki, M. S. (2011). Physiological demands of match-play in elite tennis: A case study. *European Journal of Sport Science*, *11*(2), 105-109. doi: 10.1080/17461391.2010.487118

- Gomes, R. V., Cunha, V. C., Zourdos, M. C., Aoki, M. S., Moreira, A., Fernandez-Fernandez, J., & Capitani, C. D. (2016). Physiological Responses of Young Tennis Players to Training Drills and Simulated Match Play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(3), 851-858. doi: 10.1519/JSC.0000000000001159
- Gomes, R. V., Moreira, A., Coutts, A. J., Capitani, C. D., & Aoki, M. S. (2014a). Effect of carbohydrate supplementation on the physiological and perceptual responses to prolonged tennis match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(3), 735-741. doi: 10.1519/JSC.0b013e3182a1f757
- Gomes, R. V., Santos, R. C., Nosaka, K., Moreira, A., Miyabara, E. H., & Aoki, M. S. (2014b). Muscle damage after a tennis match in young players. *Biology of Sport*, *31*(1), 27-32. doi: 10.5604/20831862.1083276
- Graham, T. E. (2001). Caffeine and exercise: metabolism, endurance and performance. *Sports Medicine*, *31*(11), 785-807.
- Guillaume, M., Len, S., Tafflet, M., Quinquis, L., Montalvan, B., Schaal, K., . . . Toussaint, J.F. (2011). Success and decline: top 10 tennis players follow a biphasic course. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *43*(11), 2148-2154. doi: 10.1249/MSS.0b013e31821eb533
- Hakooz, N. M. K. (2009). Caffeine metabolic ratios for the in vivo evaluation of CYP1A2, N-acetyltransferase 2, xanthine oxidase and CYP2A6 enzymatic activities. *Current Drug Metabolism*, *10*(4), 329-338.
- Harshbarger, N. D., Eppelheimer, B. L., Valovich McLeod, T. C., & Welch McCarty, C. (2013). The effectiveness of shoulder stretching and joint mobilizations on posterior shoulder tightness. *Journal of Sports Rehabilitation*, *22*(4), 313-319.
- Heckman, M. A., Weil, J., & Gonzalez de Mejia, E. (2010). Caffeine (1, 3, 7-trimethylxanthine) in foods: a comprehensive review on consumption, functionality, safety, and regulatory matters. *Journal of Food Science*, *75*(3), R77-87. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01561.x
- Hoffman, J. R. (2010). Caffeine and energy drinks. *Strength & Conditioning Journal*, *32*(1), 15-20. doi: 10.1519/SSC.0b013e3181bdafa0

- Hoffman, M. D., & Wegelin, J. A. (2009). The Western States 100-Mile Endurance Run: participation and performance trends. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(12), 2191-2198. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181a8d553
- Hopkins, W. G. (2006). Spreadsheets for analysis of controlled trials with adjustment for a predictor. *Sportscience*(10), 46-50.
- Hopkins, W. G. (2007). A spreadsheet to compare means of two groups. *Sportscience*(11), 22-23.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-13. doi: 10.1249/MSS.0b013e31818cb278
- Hoppe, M. W., Baumgart, C., Bornefeld, J., Sperlich, B., Freiwald, J., & Holmberg, H. C. (2014). Running activity profile of adolescent tennis players during match play. *Pediatric Exercise Science*, 26(3), 281-290. doi: 10.1123/pes.2013-0195
- Hoppe, M. W., Baumgart, C., & Freiwald, J. (2016). Do Running Activities of Adolescent and Adult Tennis Players Differ During Play? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(6), 793-801. doi: 10.1123/ijsp.2015-0141
- Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., & Young, W. (2007a). Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2(4), 423-438.
- Hornery, D. J., Farrow, D., Mujika, I., & Young, W. (2007b). Fatigue in tennis: mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Medicine*, 37(3), 199-212.
- Hughes, M. D. (1994). A time-based model of the activity cycles in squash, with different scoring systems, and tennis, on different surfaces. *Journal of Sports Science*, 13(1), 85.
- Hughes, M. D. (2004). Notational Analysis of Sport: Systems for Better Coaching and Performance in Sport. *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(2), 104.

- Hughes, M. D., & Bartlett, R. (2002). The use of performance indicators in performance analysis. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 739-754. doi: 10.1080/026404102320675602
- Hunter, S. K., Stevens, A. A., Magennis, K., Skelton, K. W., & Fauth, M. (2011). Is there a sex difference in the age of elite marathon runners? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(4), 656-664. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181fb4e00
- Innes, E. (1999). Handgrip strength testing: a review of the literature. *Australian Occupational Therapy Journal*, 46(3), 120-140. doi: 10.1046/j.1440-1630.1999.00182.x
- International Tennis Federation. (2016). *ITF Rules of Tennis*.
- Jayanthi, N. A., LaBella, C., Fischer, D., Pasulka, J., & Dugas, L. (2015). Sports-specialized intensive training and the risk of injury in young athletes: a clinical case-control study. *The American Journal of Sports Medicine*, 43(4), 794-801. doi: 10.1177/0363546514567298
- Jayanthi, N. A., Pinkham, C., Dugas, L., Patrick, B., & Labella, C. (2013). Sports specialization in young athletes: evidence-based recommendations. *Sports Health*, 5(3), 251-257. doi: 10.1177/1941738112464626
- Jennings, D., Cormack, S., Coutts, A. J., Boyd, L. J., & Aughey, R. J. (2010). Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 5(4), 565-569.
- Jordan, J. B., Korgaokar, A., Farley, R. S., Coons, J. M., & Caputo, J. L. (2014). Caffeine supplementation and reactive agility in elite youth soccer players. *Pediatric Exercise Science*, 26(2), 168-176. doi: 10.1123/pes.2013-0134
- Kamimori, G. H., Karyekar, C. S., Otterstetter, R., Cox, D. S., Balkin, T. J., Belenky, G. L., & Eddington, N. D. (2002). The rate of absorption and relative bioavailability of caffeine administered in chewing gum versus capsules to normal healthy volunteers. *International Journal of Pharmaceutics*, 234(1), 159-167.
- Kibler, W. B., Sciascia, A., & Moore, S. (2012). An acute throwing episode decreases shoulder internal rotation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*[®], 470(6), 1545-1551. doi: 10.1007/s11999-011-2217-z

- Killen, L. G., Green, J. M., O'Neal, E. K., McIntosh, J. R., Hornsby, J., & Coates, T. E. (2013). Effects of caffeine on session ratings of perceived exertion. *European Journal of Applied Physiology*, *113*(3), 721-727. doi: 10.1007/s00421-012-2480-z
- Klein, C. S., Clawson, A., Martin, M., Saunders, M. J., Flohr, J. A., Bechtel, M. K., . . . Womack, C. J. (2012). The Effect of Caffeine on Performance in Collegiate Tennis Players. *Journal of Caffeine Research*, *2*(3), 111-116. doi: 10.1089/jcr.2012.0019
- Knechtle, B., Rust, C. A., Rosemann, T., & Lepers, R. (2012). Age-related changes in 100-km ultra-marathon running performance. *Age (Dordr)*, *34*(4), 1033-1045. doi: 10.1007/s11357-011-9290-9
- Konig, D., Huonker, M., Schmid, A., Halle, M., Berg, A., & Keul, J. (2001). Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(4), 654-658.
- Konig, S., Valeri, F., Wild, S., Rosemann, T., Rust, C. A., & Knechtle, B. (2014). Change of the age and performance of swimmers across World Championships and Olympic Games finals from 1992 to 2013 - a cross-sectional data analysis. *SpringerPlus*, *3*, 652. doi: 10.1186/2193-1801-3-652
- Kovacs, M. S. (2004). A comparison of work/rest intervals in men's professional tennis. *Medicine and Science in Tennis*, *9*(3), 10-11.
- Kovacs, M. S. (2007). Tennis physiology: training the competitive athlete. *Sports Medicine*, *37*(3), 189-198.
- Kovacs, M. S. (2008). A review of fluid and hydration in competitive tennis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *3*(4), 413-423.
- Kovacs, M. S., & Baker, L. B. (2014). Recovery interventions and strategies for improved tennis performance. *British Journal of Sports Medicine*, *48* Suppl 1, i18-21. doi: 10.1136/bjsports-2013-093223
- Kramer, T., Huijgen, B. C., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2017). Prediction of Tennis Performance in Junior Elite Tennis Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, *16*, 14-21.

- Kramer, T., Valente-Dos-Santos, J., Coelho, E., Malina, R. M., Huijgen, B. C., Smith, J., . . . Visscher, C. (2016). Modeling Longitudinal Changes in 5 m Sprinting Performance Among Young Male Tennis Players. *Perceptual and Motor Skills, 122*(1), 299-318. doi: 10.1177/0031512516628367
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 38*(6), 1165-1174. doi: 10.1249/01.mss.0000222845.89262.cd
- LaPrade, R. F., Agel, J., Baker, J., Brenner, J. S., Cordasco, F. A., Cote, J., . . . Provencher, M. T. (2016). AOSSM Early Sport Specialization Consensus Statement. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine, 4*(4), 2325967116644241. doi: 10.1177/2325967116644241
- Lara, B., Gonzalez-Millan, C., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Areces, F., Barbero-Alvarez, J. C., . . . Del Coso, J. (2014a). Caffeine-containing energy drink improves physical performance in female soccer players. *Amino Acids, 46*(5), 1385-1392. doi: 10.1007/s00726-014-1709-z
- Lara, B., Ruiz-Vicente, D., Areces, F., Abian-Vicen, J., Salinero, J. J., González-Millán, C., . . . Del Coso, J. (2015). Acute consumption of a caffeinated energy drink enhances aspects of performance in sprint swimmers. *British Journal of Nutrition, In press*. doi: <https://doi.org/10.1017/S0007114515002573>
- Lara, B., Salinero, J. J., & Del Coso, J. (2014b). The relationship between age and running time in elite marathoners is U-shaped. *Age (Dordr), 36*(2), 1003-1008. doi: 10.1007/s11357-013-9614-z
- Lepers, R., & Cattagni, T. (2012). Do older athletes reach limits in their performance during marathon running? *Age (Dordr), 34*(3), 773-781. doi: 10.1007/s11357-011-9271-z
- Lobjois, R., Benguigui, N., & Bertsch, J. (2006). The effect of aging and tennis playing on coincidence-timing accuracy. *Journal of Aging and Physical Activity, 14*(1), 74-97.
- Loffing, F., Schorer, J., & Coble, S. P. (2010). Relative Age Effects are a developmental problem in tennis: but not necessarily when you're left handed! *High Ability Studies, 21*(1), 19-25. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/13598139.2010.488084>

- Lopez-Samanes, A., Fonseca, J. F. O., Elías, V. E. F., Borreani, S., Maté-Muñoz, J. L., & Kovacs, M. S. (2015). Nutritional Ergogenic Aids in Tennis: A Brief Review. *Strength & Conditioning Journal*, 37(3), 1-11. doi: 10.1519/SSC.0000000000000141
- MacCurdy, D. (2006). Talent identification around the world and recommendations for the Chinese Tennis Association. Retrieved 20 enero, 2017, from http://www.tennis.co.kr/UpLoad/Front/Files/TID_China.pdf
- Macnamara, B. N., Hambrick, D. Z., & Oswald, F. L. (2014). Deliberate practice and performance in music, games, sports, education, and professions: a meta-analysis. *Psychological Science*, 25(8), 1608-1618. doi: 10.1177/0956797614535810
- Macnamara, B. N., Moreau, D., & Hambrick, D. Z. (2016). The Relationship Between Deliberate Practice and Performance in Sports: A Meta-Analysis. *Perspectives on Psychological Science*, 11(3), 333-350. doi: 10.1177/1745691616635591
- Magkos, F., & Kavouras, S. A. (2005). Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45(7-8), 535-562. doi: 10.1080/1040-830491379245
- Malcata, R. M., Hopkins, W. G., & Pearson, S. N. (2014). Tracking career performance of successful triathletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46(6), 1227-1234. doi: 10.1249/mss.0000000000000221
- Mallet, J. (2010). Age and Ranking I Retrieved September 1, 2014, from <http://statracket.net/?view+articles/ageandraking1.html>
- Manske, R., & Ellenbecker, T. S. (2013). Current concepts in shoulder examination of the overhead athlete. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 8(5), 554-578.
- Marcondes, F. B., Jesus, J. F. d., Bryk, F. F., Vasconcelos, R. A. d., & Fukuda, T. Y. (2013). Posterior shoulder tightness and rotator cuff strength assessments in painful shoulders of amateur tennis players. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 17(2), 185-193. doi: 10.1590/S1413-35552012005000079
- Marks, V., & Kelly, J. (1973). Absorption of caffeine from tea, coffee, and coca cola. *The Lancet*, 301(7807), 827.

- Martin, C., Bideau, B., Delamarche, P., & Kulpa, R. (2016a). Influence of a Prolonged Tennis Match Play on Serve Biomechanics. *PLoS One*, 11(8), e0159979. doi: 10.1371/journal.pone.0159979
- Martin, C., Kulpa, R., Ezanno, F., Delamarche, P., & Bideau, B. (2016b). Influence of Playing a Prolonged Tennis Match on Shoulder Internal Range of Motion. *The American Journal of Sports Medicine*, 0363546516645542. doi: 10.1177/0363546516645542
- Martin, C., Thevenet, D., Zouhal, H., Mornet, Y., Deles, R., Crestel, T., . . . Prioux, J. (2011). Effects of playing surface (hard and clay courts) on heart rate and blood lactate during tennis matches played by high-level players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(1), 163-170. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181fb459b
- Martinez-Gallego, R., J. F. G., James, N., Pers, J., Ramon-Llin, J., & Vuckovic, G. (2013). Movement characteristics of elite tennis players on hard courts with respect to the direction of ground strokes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(2), 275-281.
- McCraw, P. D. (2009). Age profile ATP/WTA Tour Top 100. The McCraw Method Retrieved December 1, 2014, from <http://www.mccrawmethod.com/downloads/TMM%20-%20Age%20Profile%20ATP%20&%20WTA%20Top%20100%20Tour%20%281990%20-%202009%29.pdf>
- McCraw, P. D. (2011). Making the Top 100: ITF Top 10 junior transition to Top 100 ATP tour (1996–2005). *Coaching & Sport Science Review*, 55(19), 11-13.
- McRae, K. A., & Galloway, S. D. (2012). Carbohydrate-electrolyte drink ingestion and skill performance during and after 2 hr of indoor tennis match play. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(1), 38-46.
- Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Fernandez, J., & Bishop, D. (2007a). Exercise-induced homeostatic perturbations provoked by singles tennis match play with reference to development of fatigue. *British Journal of Sports Medicine*, 41(11), 717-722; discussion 722. doi: 10.1136/bjism.2007.037259
- Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Fernandez, J., Bishop, D., & Fernandez-Garcia, B. (2010). Ratings of perceived exertion-lactate association during actual singles tennis match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 165-170. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181a5bc6d

- Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Fernandez, J., Bishop, D., Fernandez-Garcia, B., & Terrados, N. (2007b). Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(5), 296-300. doi: 10.1136/bjism.2006.030536
- Mohr, A. R., Long, B. C., & Goad, C. L. (2014). Effect of foam rolling and static stretching on passive hip-flexion range of motion. *Journal of Sports Rehabilitation*, *23*(4), 296-299. doi: 10.1123/jsr.2013-0025
- Moreno-Perez, V., Moreside, J., Barbado, D., & Vera-Garcia, F. J. (2015). Comparison of shoulder rotation range of motion in professional tennis players with and without history of shoulder pain. *Manual Therapy*, *20*(2), 313-318. doi: 10.1016/j.math.2014.10.008
- Mumford, G., Benowitz, N., Evans, S., Kaminski, B., Preston, K., Sannerud, C., . . . Griffiths, R. (1996). Absorption rate of methylxanthines following capsules, cola and chocolate. *European Journal of Clinical Pharmacology*, *51*(3-4), 319-325.
- Mumford, P. W., Tribby, A. C., Poole, C. N., Dalbo, V. J., Scanlan, A. T., Moon, J. R., . . . Young, K. C. (2016). Effect of Caffeine on Golf Performance and Fatigue during a Competitive Tournament. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *48*(1), 132-138. doi: 10.1249/MSS.0000000000000753
- Murias, J. M., Lanatta, D., Arcuri, C. R., & Laino, F. A. (2007). Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(1), 112-117. doi: 10.1519/R-19065.1
- Murphy, A. P., Duffield, R., Kellett, A., Gescheit, D. T., & Reid, M. (2015). The Effect of Pre-departure Training Loads on Post-tour Physical Capacities in High-performance Junior Tennis Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(8), 986-993. doi: 10.1123/ijssp.2014-0374
- Murphy, A. P., Duffield, R., Kellett, A., & Reid, M. (2015). The relationship of training load to physical-capacity changes during international tours in high-performance junior tennis players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(2), 253-260. doi: 10.1123/ijssp.2014-0038
- Murphy, A. P., Duffield, R., Kellett, A., & Reid, M. (2016). A Comparison of the Perceptual and Technical Demands of Tennis Training, Simulated Match Play, and Competitive Tournaments. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(1), 40-47. doi: 10.1123/ijssp.2014-0464

- Myer, G. D., Jayanthi, N., DiFiori, J. P., Faigenbaum, A. D., Kiefer, A. W., Logerstedt, D., & Micheli, L. J. (2016). Sports Specialization, Part II: Alternative Solutions to Early Sport Specialization in Youth Athletes. *Sports Health, 8*(1), 65-73. doi: 10.1177/1941738115614811
- National Federation of State High School Associations. (2011). Position Statement and Recommendations for the Use of Energy Drinks by Young Athletes Retrieved 24 diciembre, 2014, from <https://www.nfhs.org/sports-resource-content/position-statement-and-recommendations-for-the-use-of-energy-drinks-by-young-athletes/>
- Noakes, T. D. (2000). Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 10*(3), 123-145.
- O'Donoghue, P. (2010). *Research methods for sports performance analysis*. London: Routledge.
- O'Donoghue, P., & Brown, E. (2008). The importance of service in Grand Slam singles tennis. *International Journal of Performance Analysis in Sport, 8*(3), 70-78.
- O'Donoghue, P., & Ingram, B. (2001). A notational analysis of elite tennis strategy. *Journal of Sports Sciences, 19*(2), 107-115. doi: 10.1080/026404101300036299
- O'Donoghue, P., Liddle, D., & Lees, A. (1998). A notational analysis of time factors of elite men's and ladies' singles tennis on clay and grass surfaces. *Science and Racket Sports II* (pp. 241-246).
- Ojala, T., & Hakkinen, K. (2013). Effects of the tennis tournament on players' physical performance, hormonal responses, muscle damage and recovery. *Journal of Science and Medicine in Sport, 12*(2), 240-248.
- Over, S., & O'Donoghue, P. (2008). Whats the point—Tennis analysis and why. *ITF Coaching and Sport Science Review, 45*, 19-20.
- Pallares, J. G., Fernandez-Elias, V. E., Ortega, J. F., Munoz, G., Munoz-Guerra, J., & Mora-Rodriguez, R. (2013). Neuromuscular responses to incremental caffeine doses: performance and side effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 45*(11), 2184-2192. doi: 10.1249/MSS.0b013e31829a6672

- Parent, M. M., & Smith-Swan, S. (2013). *Managing major sports events: Theory and practice*: Routledge.
- Peltier, S. L., Lepretre, P. M., Metz, L., Ennequin, G., Aubineau, N., Lescuyer, J. F., . . . Sirvent, P. (2013). Effects of pre-exercise, endurance, and recovery designer sports drinks on performance during tennis tournament simulation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(11), 3076-3083. doi: 10.1519/JSC.0b013e31828a4745
- Pereira, L. A., Freitas, V., Moura, F. A., Aoki, M. S., Loturco, I., & Nakamura, F. Y. (2016a). The Activity Profile of Young Tennis Athletes Playing on Clay and Hard Courts: Preliminary Data. *Journal of Human Kinetics*, 50(1), 211-218. doi: <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0158>
- Pereira, L. A., Freitas, V., Moura, F. A., Urso, R. P., Loturco, I., & Nakamura, F. Y. (2016b). Match analysis and physical performance of high-level young tennis players in simulated matches: a pilot study. *Journal of Athletic Enhancement*, 2015. doi: 10.4172/2324-9080.1000212
- Pereira, T. J., Nakamura, F. Y., Jesus, M. T., Vieira, C. L., Misuta, M. S., Barros, R. M., & Moura, F. A. (2016c). Analysis of the distances covered and technical actions performed by professional tennis players during official matches. *Journal of Sports Sciences*, 1-8. doi: 10.1080/02640414.2016.1165858
- Perez-Lopez, A., Salinero, J. J., Abian-Vicen, J., Valades, D., Lara, B., Hernandez, C., . . . Del Coso, J. (2015). Caffeinated energy drinks improve volleyball performance in elite female players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 47(4), 850-856. doi: 10.1249/MSS.0000000000000455
- Perkins, R., & Williams, M. H. (1975). Effect of caffeine upon maximal muscular endurance of females. *Medicine and Science in Sports*, 7(3), 221-224.
- Pettersen, S. A., Krstrup, P., Bendiksen, M., Randers, M. B., Brito, J., Bangsbo, J., . . . Mohr, M. (2014). Caffeine supplementation does not affect match activities and fatigue resistance during match play in young football players. *Journal of Sports Sciences*, 32(20), 1958-1965. doi: 10.1080/02640414.2014.965189
- Pugh, S. F., Kovaleski, J. E., Heitman, R., & Gilley, W. F. (2003). Upper and lower body strength in relation to ball speed during a serve by male collegiate tennis players. *Perceptual and Motor Skills*, 97(3), 867-872. doi: 10.2466/pms.2003.97.3.867

- Ranchordas, M. K., Rogerson, D., Ruddock, A., Killer, S. C., & Winter, E. M. (2013). Nutrition for tennis: practical recommendations. *Journal of Sports Science & Medicine*, *12*(2), 211-224.
- Reid, M., Crespo, M., Lay, B., & Berry, J. (2007a). Skill acquisition in tennis: Research and current practice. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *10*(1), 1-10. doi: 10.1016/j.jsams.2006.05.011
- Reid, M., Crespo, M., & Santilli, L. (2009). Importance of the ITF Junior Girls' Circuit in the development of women professional tennis players. *Journal of Sports Sciences*, *27*(13), 1443-1448. doi: 10.1080/02640410903037714
- Reid, M., Crespo, M., Santilli, L., Miley, D., & Dimmock, J. (2007b). The importance of the International Tennis Federation's junior boys' circuit in the development of professional tennis players. *Journal of Sports Sciences*, *25*(6), 667-672. doi: 10.1080/02640410600811932
- Reid, M., & Duffield, R. (2014). The development of fatigue during match-play tennis. *British Journal of Sports Medicine*, *48 Suppl 1*, i7-11. doi: 10.1136/bjsports-2013-093196
- Reid, M., Duffield, R., Dawson, B., Baker, J., & Crespo, M. (2008). Quantification of the physiological and performance characteristics of on-court tennis drills. *British Journal of Sports Medicine*, *42*(2), 146-151. doi: 10.1136/bjism.2007.036426
- Reid, M., Duffield, R., Minett, G. M., Sibte, N., Murphy, A. P., & Baker, J. (2013). Physiological, perceptual, and technical responses to on-court tennis training on hard and clay courts. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(6), 1487-1495. doi: 10.1519/JSC.Ob013e31826caedf
- Reid, M., Mcmurtrie, D., & Crespo, M. (2010). The relationship between match statistics and top 100 ranking in professional men's tennis. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, *10*(2), 131-138.
- Reid, M., Morgan, S., Churchill, T., & Bane, M. K. (2014). Rankings in professional men's tennis: a rich but underutilized source of information. *Journal of Sports Sciences*, *32*(10), 986-992. doi: 10.1080/02640414.2013.876086
- Reid, M., Morgan, S., & Whiteside, D. (2016). Matchplay characteristics of Grand Slam tennis: implications for training and conditioning. *Journal of Sports Sciences*, *34*(19), 1791-1798. doi: 10.1080/02640414.2016.1139161

- Reid, M., & Morris, C. (2013). Ranking benchmarks of top 100 players in men's professional tennis. *European Journal of Sport Science*, *13*(4), 350-355. doi: 10.1080/17461391.2011.608812
- Reinold, M. M., Wilk, K. E., Macrina, L. C., Sheheane, C., Dun, S., Fleisig, G. S., . . . Andrews, J. R. (2008). Changes in shoulder and elbow passive range of motion after pitching in professional baseball players. *The American Journal of Sports Medicine*, *36*(3), 523-527. doi: 10.1177/0363546507308935
- Reyner, L. A., & Horne, J. A. (2013). Sleep restriction and serving accuracy in performance tennis players, and effects of caffeine. *Physiology & Behavior*, *120*, 93-96. doi: 10.1016/j.physbeh.2013.07.002
- Rivers, W. H. R., & Webber, H. N. (1907). The action of caffeine on the capacity for muscular work. *The Journal of Physiology*, *36*(1), 33-47.
- Roetert, E. P., Ellenbecker, T. S., & Reid, M. (2009). Biomechanics of the tennis serve: implications for strength training. *Strength & Conditioning Journal*, *31*(4), 35-40. doi: 10.1519/SSC.0b013e3181af65e1
- Saligari, D. (2010). Why 30 is the new 20. *Australian Tennis Magazine*, 22-24.
- Salinero, J. J., Lara, B., Abian-Vicen, J., Gonzalez-Millán, C., Areces, F., Gallo-Salazar, C., . . . Del Coso, J. (2014). The use of energy drinks in sport: perceived ergogenicity and side effects in male and female athletes. *British Journal of Nutrition*, *112*(09), 1494-1502. doi: 10.1017/S0007114514002189
- Sanchez-Munoz, C., Sanz, D., & Zabala, M. (2007). Anthropometric characteristics, body composition and somatotype of elite junior tennis players. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(11), 793-799. doi: 10.1136/bjism.2007.037119
- Sanchis-Moysi, J., Idoate, F., Izquierdo, M., Calbet, J. A., & Dorado, C. (2011). Iliopsoas and gluteal muscles are asymmetric in tennis players but not in soccer players. *PLoS One*, *6*(7), e22858. doi: 10.1371/journal.pone.0022858
- Sanz, D., & Fernandez-Fernandez, J. (2014). Desarrollo a Largo Plazo del Jugador de Tenis. Propuesta de Modelo desde la RFET. *E-Coach*(19), 23-30.
- Schulz, R., & Curnow, C. (1988). Peak performance and age among superathletes: track and field, swimming, baseball, tennis, and golf. *Journal of Gerontology*, *43*(5), P113-P120.

- Seifert, S. M., Schaechter, J. L., Hershorin, E. R., & Lipshultz, S. E. (2011). Health effects of energy drinks on children, adolescents, and young adults. *Pediatrics, 127*(3), 511-528. doi: 10.1542/peds.2009-3592
- Signorile, J. F., Sandler, D. J., Smith, W. N., Stoutenberg, M., & Perry, A. C. (2005). Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *Journal of Strength and Conditioning Research, 19*(3), 519-526. doi: 10.1519/R-15514.1
- Smekal, G., Pokan, R., von Duvillard, S. P., Baron, R., Tschan, H., & Bachl, N. (2000). Comparison of laboratory and "on-court" endurance testing in tennis. *International Journal of Sports Medicine, 21*(4), 242-249. doi: 10.1055/s-2000-310
- Smekal, G., von Duvillard, S. P., Rihacek, C., Pokan, R., Hofmann, P., Baron, R., . . . Bachl, N. (2001). A physiological profile of tennis match play. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 33*(6), 999-1005.
- Sokmen, B., Armstrong, L. E., Kraemer, W. J., Casa, D. J., Dias, J. C., Judelson, D. A., & Maresh, C. M. (2008). Caffeine use in sports: considerations for the athlete. *Journal of Strength and Conditioning Research, 22*(3), 978-986. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181660cec
- St Clair Gibson, A., Baden, D. A., Lambert, M. I., Lambert, E. V., Harley, Y. X., Hampson, D., . . . Noakes, T. D. (2003). The conscious perception of the sensation of fatigue. *Sports Medicine, 33*(3), 167-176.
- Strecker, E. (2007). *The effect of caffeine ingestion on tennis skill performance and hydration status*. Master of Science, Auburn University, Auburn, Alabama.
- Struder, H. K., Ferrauti, A., Gotzmann, A., Weber, K., & Hollmann, W. (1999). Effect of carbohydrates and caffeine on plasma amino acids, neuroendocrine responses and performance in tennis. *Nutritional Neuroscience, 1*, 419-426. doi: 10.1080/1028415X.1998.11747252
- Stuart, G. R., Hopkins, W. G., Cook, C., & Cairns, S. P. (2005). Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 37*(11), 1998-2005.

- Temple, J. L. (2009). Caffeine use in children: what we know, what we have left to learn, and why we should worry. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(6), 793-806. doi: 10.1016/j.neubiorev.2009.01.001
- Tennis Australia. (2015). Fast 4 Tennis Retrieved January 10, 2015, from <http://www.tennis.com.au/learn/ways-to-play/fast4>
- Thorborg, K., Serner, A., Petersen, J., Madsen, T. M., Magnusson, P., & Holmich, P. (2011). Hip adduction and abduction strength profiles in elite soccer players: implications for clinical evaluation of hip adductor muscle recovery after injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(1), 121-126. doi: 10.1177/0363546510378081
- Torres-Luque, G., Cabello-Manrique, D., Hernandez-Garcia, R., & Garatachea, N. (2011). An analysis of competition in young tennis players. *European Journal of Sport Science*, 11(1), 39-43. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/17461391003770533>
- Ulbricht, A., Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2015). The Relative Age Effect and Physical Fitness Characteristics in German Male Tennis Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 14(3), 634-642.
- Ulbricht, A., Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Ferrauti, A. (2016). Impact of Fitness Characteristics on Tennis Performance in Elite Junior Tennis Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(4), 989-998. doi: 10.1519/JSC.0000000000001267
- Unierzyski, P. (2003). Why some talents were lost and why some not; Results of research with practical propositions. In M. Crespo, D. Miley & M. Reid (Eds.), *Proceedings of ITF Worldwide Coaches Symposium*. Villamoura, Portugal: ITF.
- Unierzyski, P. (2006). Foundations for tennis talent identification and player development tennis programs. *ITF Coaching and Sport Science Review*, 14(39), 3-5.
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., & Philippaerts, R. M. (2008). Talent identification and development programmes in sport : current models and future directions. *Sports Medicine*, 38(9), 703-714.

- Van Soeren, M., Sathasivam, P., Spriet, L., & Graham, T. (1993). Caffeine metabolism and epinephrine responses during exercise in users and nonusers. *Journal of Applied Physiology*, *75*(2), 805-812.
- Van Thuyne, W., Roels, K., & Delbeke, F. T. (2005). Distribution of caffeine levels in urine in different sports in relation to doping control. *International Journal of Sports Medicine*, *26*(9), 714-718. doi: 10.1055/s-2005-837437
- Vergauwen, L., Brouns, F., & Hespel, P. (1998). Carbohydrate supplementation improves stroke performance in tennis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *30*(8), 1289-1295.
- Vickery, W. M., Dascombe, B. J., Baker, J. D., Higham, D. G., Spratford, W. A., & Duffield, R. (2014). Accuracy and Reliability of GPS Devices for Measurement of Sports-Specific Movement Patterns Related to Cricket, Tennis, and Field-Based Team Sports. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *28*(6), 1697-1705. doi: 10.1519/jsc.0000000000000285
- Welsh, R. S., Davis, J. M., Burke, J. R., & Williams, H. G. (2002). Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *34*(4), 723-731.
- Westerterp, K. R., & Meijer, E. P. (2001). Physical activity and parameters of aging: a physiological perspective. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, *56 Spec No 2*, 7-12.
- Winsley, R., & Matos, N. (2011). Overtraining and elite young athletes. *Medicine and Sport Science*, *56*, 97-105. doi: 10.1159/000320636
- Women Tennis Association. (2014). WTA singles ranking Retrieved 15 de Septiembre, 2014, from <http://www.wtatennis.com/>
- Women Tennis Association. (2017). WTA singles ranking Retrieved 29 de enero, 2017, from <http://www.es.wtatennis.com/singles-rankings>
- Zhánel, J., & Hubáček, O. (2013). Relative age effect in junior tennis (male). *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, *43*(1), 27-33.

8

ANEXOS



ANEXO 1

Professional tennis is getting older: Age for the top100 ranked tennis players.

Professional tennis is getting older: Age for the top 100 ranked tennis players

César Gallo-Salazar¹, Juan José Salinero¹, David Sanz^{1,2}, Francisco Areces¹ and Juan del Coso¹

¹ Camilo José Cela University. Exercise Physiology Laboratory, CP 28692, Villanueva de la Cañada, Madrid. Spain

² Royal Spanish Tennis Federation, CP 28692, Villanueva de la Cañada, Madrid. Spain

Abstract

The aim of this investigation was to determine age-related factors of the top 100 ranked men and women tennis players over the last few decades. The birth date and the ranking position of 1,040 top-100 tennis players (647 men and 393 women) were obtained from official public websites. The mean age of top 100 male tennis players increased significantly from 1984 to 2013 (24.6 ± 3.9 to 27.6 ± 3.2 yr; $P < 0.01$) and it was also observed in female tennis players from 1998 to 2013 (23.5 ± 3.5 to 24.8 ± 4.2 yr; $P < 0.01$). On average, a top 100 ranking was reached earlier in women than in men (21.6 ± 3.4 vs 22.8 ± 3.1 yr; $P < 0.05$). Peak performance was also attained significantly earlier in women than in men (23.6 ± 3.5 vs 24.8 ± 2.9 yr; $P < 0.01$). Nevertheless, men remained in the top 100 ranking for a slightly longer period than women (4.1 ± 3.1 and 4.6 ± 3.8 yr; $P < 0.01$). These data indicate a movement towards older ages in top 100 women and men tennis players. This information might be useful for developing process/plans towards longer-term careers.

Keywords: aging; sports; gender.

1. Introduction

Age has been determined as one of the main factors that influences physical performance in several sports (Bongard, McDermott, Dallal, and Schaefer, 2007; Lara, Salinero, and Del Coso, 2014; Malcata, Hopkins, and Pearson, 2014). In most sport disciplines, athletes obtain their peak performance when the combination of physical maturation and experience is optimal, but the different physical and skill demands necessary for success in each sport mean that the age at which peak performance is obtained varies amongst sport disciplines (Schulz and Curnow, 1988). Athletes participating in strength- and power-based sports reach their peak performance in their early 20's while endurance athletes and those practicing skill-based sports obtain their peak performance at older ages (Schulz and Curnow, 1988). After the age of peak

performance, all sports present similar declines with aging, associated to the progressive drop in aerobic and anaerobic capacities (Westerterp and Meijer, 2001).

Tennis is a complex sport that has evolved from a technical and tactical game into the modern fast-paced game based on strength, running speed and aerobic endurance (Fernandez-Fernandez, Sanz-Rivas, and Mendez-Villanueva, 2009; Konig et al., 2001). In addition to outstanding physical qualities, tennis players must possess specific technical skills such as service, forehand and backhand strokes (Smekal et al., 2001). In professional tennis, “overall” performance can be easily measured by the weekly rankings published by the Association of Tennis Professionals (ATP; men) and Women’s Tennis Association (WTA; women). These rankings are based on the number of points obtained by each player during a calendar year, according to the classification obtained and the category of each of the 64 international tournaments (Association of Tennis Players, 2015). Despite the fact that rankings are not the most accurate method for measuring a tennis player’s performance, they are the most common way to indicate season/career regularity for both male and female professional players. In fact, they have been used as a predictor of success in the early stages of a tennis career (Reid, Morgan, Churchill, and Bane, 2014) or to predict the tennis level of a country according to the number of tournaments organized (Crespo, Reid, Miley, and Atienza, 2003).

The change in the demands of modern tennis has contributed to the modification of the physical and morphological characteristics of tennis players (Sanchez-Munoz, Sanz, and Zabala, 2007) and to the variation of age-related performance indicators (Guillaume et al., 2011). Having a remarkable tennis performance at young ages has been related to later success during adulthood, because more than 50% of top 10 (McCraw, 2011) and top 20 junior boys and more than 60% of top 20 junior girls finally reached the top 100 tennis rankings, respectively (Brouwers, De Bosscher, and Sotiriadou, 2012; Reid, Crespo, Santilli, Miley, and Dimmock, 2007). According to different authors (Guillaume et al., 2011; Mallet, 2010; McCraw, 2011; Reid et al., 2007; Schulz and Curnow, 1988) peak performance in men tennis players is reached between 23 and 25 yr whereas peak performance for women is reached earlier, between 21 and 23 yr (Guillaume et al., 2011; Schulz and Curnow, 1988). Reid et al. (2014) analyzed the age at which elite tennis players achieved peak-career milestones and found that those who reached the top 10 attained their peak performance at a lower age than the remaining tennis players in the top 100 ranking.

While Saligari (2010) suggests that the mean age of top 100 players has remained similar since the ATP ranking was established in 1973, some other authors suggest that mean age of elite tennis players was stable until the end of the 1990s and it trended up in the first years of this century (McCraw, 2009). Guillaume et al. (2011) reported that tennis players’ careers significantly changed after 1985 because after this date, they reached their peak performance at a younger age while their tennis careers were shorter. Regarding permanence in the top 100, McCraw (2011) found that players remained an average of 3.7 years within the top 100 although these data correspond to tennis players who had previously achieved the top 10 junior ranking between 1996-2005. However, there are no specific data that analyze mean age of top 100 tennis players in the last few years. An analysis of the trend of mean age in tennis can represent valuable information

for trainers and coaches to improve the preparation of long-term training programs for professional tennis players.

Most of the aforementioned data were obtained from cross-sectional studies while a longitudinal research in the field can provide scientific information about the evolution of tennis players' ages throughout the last few decades. The aim of this investigation was to determine mean age, age at first entrance into the top 100 ranking, time taken to achieve peak performance and permanence in the top 100 ranking in men and women tennis players. We hypothesized that players would be nowadays older than they were a few decades ago.

2. Methods

The birth dates of the top 100 ranked players from the ATP over the last 30 years (1984-2013) and from the WTA over the last 16 years (1998-2013) were obtained from official public websites (Association of Tennis Players, 2015; Women Tennis Association, 2014) and subsequently analyzed for this study. Thus, the analysis included a total of 4,600 ranking positions (3000 of them corresponding to the men's ATP ranking and 1600 to the women's WTA ranking) resulting from 1,040 tennis players (647 men and 393 women). The start of this analysis (1984 and 1998 for men and women, respectively) was set because there were no available data prior to these dates. The ranking classification of the last week of each year was obtained for each player because it determines the position at the end of the season and includes all the points obtained during the year. Peak performance was established as the highest year-end ranking reached during their tennis career. For individuals that reached their highest ranking in several years (for example, the number1 position), only the earlier age at which this ranking was achieved was used for the statistical analysis. Data from the first analyzed years (1984 in men and 1998 in women) were excluded for the analyses of peak performance. The study was revised by a Research Ethics Committee in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki. The Research Ethics Committee indicated that this investigation did not required approval.

2.1. Statistical analysis

The data in the present study are presented as mean \pm SD or as frequencies. A two-way ANOVA was carried out to calculate the difference between ranking groups (top 100, top 50, top 25, etc.) and sex (group \times sex), and a two-way repeated measures ANOVA to calculate the age differences among years and sex (time \times group). After significant F tests, Bonferroni adjustments were used. The Chi-square-analysis was used to test frequency distributions. The data were analyzed with the statistical package SPSS v20.0 (SPSS: an IBM company, Amarouk, NY). The significance level was set at $P < 0.05$.

3. Results

Figure 1 shows the mean-age evolution of the top 100 ranked tennis players over the last 30 years in men, and over the last 16 years in women. A progressive increase was

observed in the players' mean age for both men and women, although the mean age was significantly higher after 2007 for men (when compared to 1984; $P < 0.05$) and after 2010 for women (when compared to 1998; $P < 0.05$). Briefly, from 24.6 ± 3.9 yr in 1984 mean age has significantly increased to 27.6 ± 3.2 yr in 2013 for male tennis players ($P < 0.01$). A similar increase was observed in female tennis players from 1998 to 2013 (23.5 ± 3.5 to 24.8 ± 4.2 yr; $P < 0.01$). The mean-age of the top 100 men tennis players was higher than that for women for all the paired data (on average, 25.1 ± 3.5 yr for men vs 23.9 ± 3.9 yr for women; $P < 0.01$).

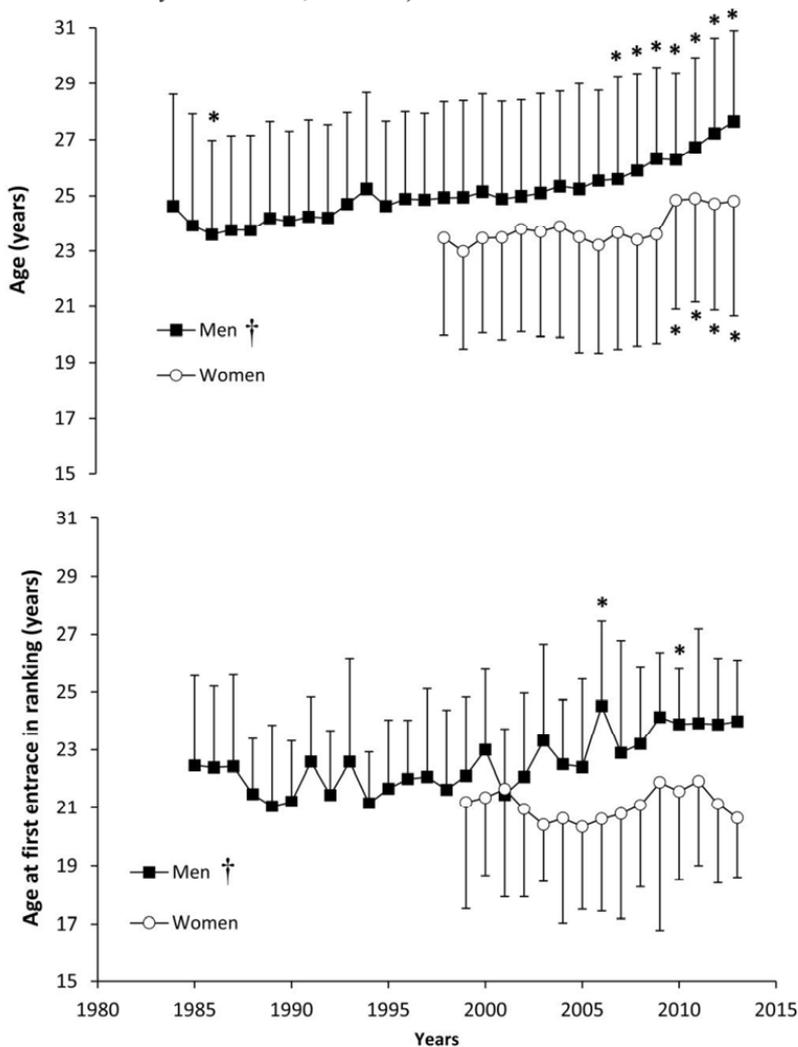


Figure 1. Evolution of mean-age for top 100 ranked tennis players from 1984 for men and from 1998 for women (upper panel) and age at first entrance into the top 100 tennis ranking from 1985 for men and from 1999 for women (lower panel).

(*) Different from the first-record of the series at $P < 0.05$.

(†) Different from women in paired data at $P < 0.05$.

age, top 100 male tennis players accomplished their peak performance (e.g., highest ranking) at 24.8 ± 2.9 yr. The age of peak performance was significantly lower for women (23.6 ± 3.5 yr; $P < 0.01$) than for men. Those who reached number 1 as the highest ranking were more precocious than players that ranked ≥ 10 position (Figure 2). Moreover the age at which the number 1, top 50, to 75 players obtained their maximal performance was different in men and women tennis player (Figure 2; $P < 0.05$).

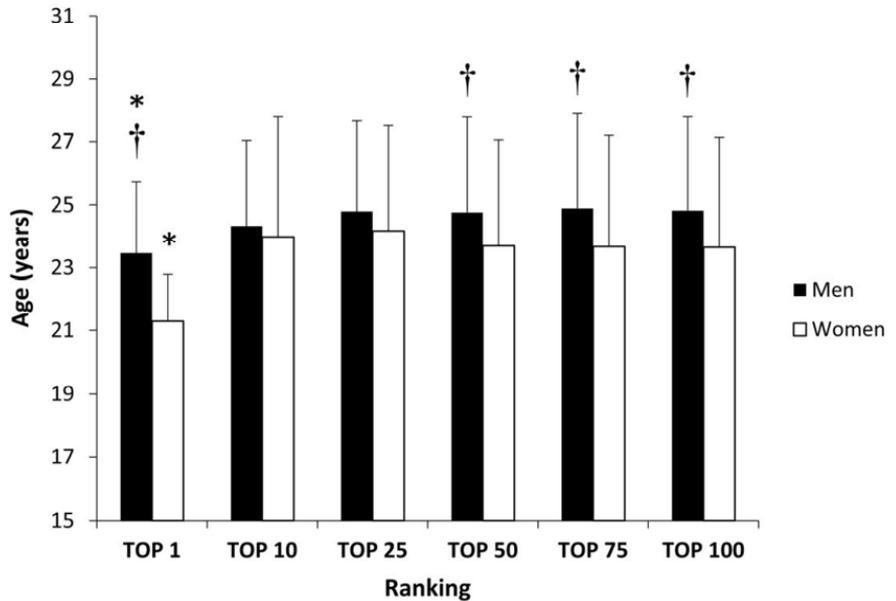


Figure 2. Mean-age at which ATP and WTA ranked tennis players obtained their peak performance according to the highest ranking reached during their careers.

(*) Different from top 100 at $P < 0.05$.

(†) Different from women at $P < 0.05$.

Figure 3 depicts the age-related frequency of the top 100 ranked players at 1-year intervals during the period analyzed in this investigation. Both, men's and women's curves presented an inverted U distribution with most of the tennis players between 22 and 28 yr for men and between 18 and 26 yr for women but the curves were statistically different ($P < 0.01$). While the maximal frequency of women tennis players' ages was 21 yr, the maximal frequency for men was 24 yr ($P < 0.01$).

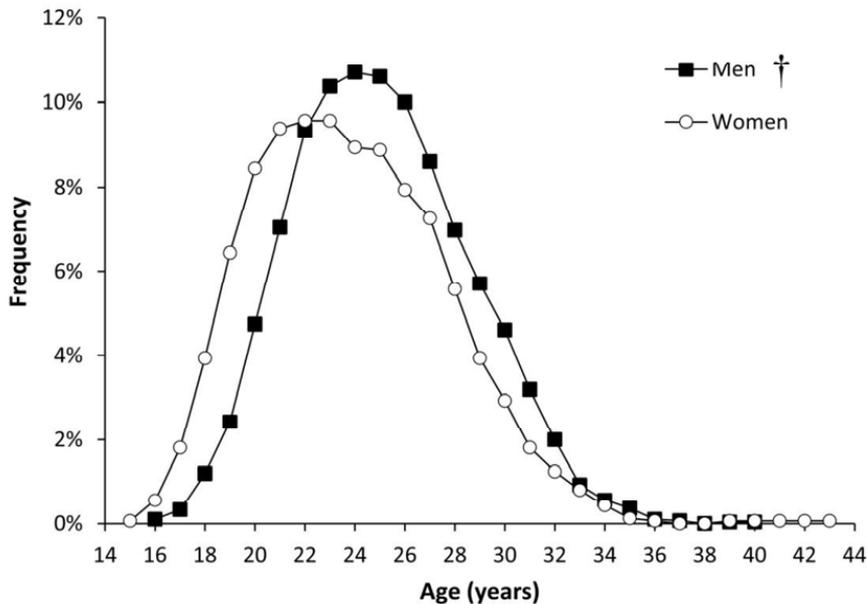


Figure 3. Age-related frequency distribution of ATP/WTA players at 1-year intervals (†) Different from women at $P < 0.05$.

Interestingly, the distribution of frequencies according to players' age has changed in the last decades (Table 1): in the 80's, most of the male tennis players (55.2%) were 21-to-25 yr with lower frequencies for older tennis players. In the 10's, most tennis players (49.0%) were 26-to-30 yr with a substantial increase of players older than 30 yr. The same pattern was observed for women tennis players from the 90's decade to the 10's decade. From the 80's, a progressive and significant upward shift was observed from the 16-20 towards the 26-30 age brackets in men tennis players (Table 1). This same effect has been observed in women from the 90's on, although the distribution was significantly different to men (Table 1). Regarding tennis players' permanence in the top 100, men remained for a slightly longer period than women (4.6 ± 3.8 vs 4.1 ± 3.1 yr; $P < 0.01$). More than 50% of both male and female tennis players who reached the top 100 remained there for 1-3 yr and only 10% of them remained more than 10 yr.

Table 1. Frequency distribution of top 100 men and women tennis players according to their age in the last few decades

Sex	Age bracket	Decades			
		80's	90's	00's	10's
Men	16-20 yr (%)	15.7*	9.5*†	6.8*†	1.8†
	21-25 yr (%)	55.2*	52.1*	45.6*	33.3†
	26-30 yr (%)	24.2*	34.0*†	39.5*†	49.0†
	> 30 yr (%)	5.0*	4.4*	8.1*†	16.0†
Women	16-20 yr (%)	-	24.5*	24.5*	12.3
	21-25 yr (%)	-	48.0	45.5	47.3
	26-30 yr (%)	-	25.0*	25.7*	34.3
	> 30 yr (%)	-	2.5*	4.3	6.3

(†) Different from women at $P < 0.01$

(*) Different from 10's decade at $P < 0.01$

4. Discussion

In tennis, reaching the top 100 ranking is considered as an important landmark for what it entails for a player's career (Brouwers et al., 2012; Guillaume et al., 2011). The aim of this investigation was to analyze mean age, age at first entrance into the top 100 ranking, time to achieve peak performance (e.g., highest ranking position) and permanence in the top 100 ranking for men and women tennis players. For this purpose, we have analyzed the top 100 ATP (from 1984) and WTA (from 1998) rankings and we have obtained tennis players' birth dates. The main outcomes of this investigation were as follows: a) the mean-age of top 100 men and women tennis players has progressively increased in the last few decades (Figure 1A), and it was 27.6 ± 3.2 yr for men and 24.8 ± 4.2 yr for women in 2013; b) the age at first entrance into the top 100 ranking has also progressively increased in men tennis players while this age has remained relatively constant in women (Figure 1B); c) male tennis players accomplished their peak performance at 24.8 ± 2.9 yr while peak performance was obtained at 23.6 ± 3.5 yr in women; d) mean permanence in the top 100 ranking was 4.6 ± 3.8 for men and 4.1 ± 3.1 yr for women although most players remain less than 3 years. These results indicate a movement towards older ages in top 100 women and men tennis players: at present, a significant percentage of professional tennis players ranked as top 100 are over 25 years old. Moreover all the age indicators suggest that women tennis players are more precocious than their men counterparts.

Mallet (2010) reported a mean age of 25.5 yr for top 100 ranked men tennis players near the turn of the century while Reid and Morris (2013) and McCraw (2009) indicated that the top 100 mean age of male tennis players was 26.7 yr in 2009. In contrast the top 100 mean age of female tennis players was 24.3 in 2009 (McCraw, 2009). The analysis presented in the current investigation offers some novelties respect to previous investigations because it contains a longitudinal analysis of tennis players' mean age in the last decades. On average, men's mean age has increased by more than 3 years since 1984 while female top 100 tennis players were 1.5 years older in 2013 than they were in

the 1998 (Figure 1A). An increase in mean age of elite athletes has been also observed in other sports such as swimming (Konig et al., 2014), running (Lepers and Cattagni, 2012) and triathlon (Gallmann, Knechtle, Rust, Rosemann, and Lepers, 2014). Interestingly, the rise in mean age is more evident after 2010 for both men and women tennis players. Although our investigation cannot explain the causes for the rise in the mean age of professional tennis players, we speculate that improved diets and training programs –including injury prevention training programs implanted in the last decades - ; the better equipment used for training and competing; the larger population bases from which athletes are selected; and more efficient selection strategies could have allowed tennis players to maintain a high physical performance and therefore improve both technically and tactically after 25 yr of age. However, further research is necessary regarding this topic.

Because of such a rise in the top 100 mean age in both circuits, and taking into account the length and competitiveness of the calendar, ATP policy makers have recently approved a new rule which entered into force on January 1, 2015. This rule will allow the players to skip their participation in 1 out of the 13 compulsory Masters 1000 of a season, without a financial penalty, and it is directed towards those players who are over 30 yr old, those who have been playing at least 12 complete tennis seasons or those who have played at least 600 career matches (Association of Tennis Players, 2015). Furthermore, a new policy about modifying the current tennis scoring system, called “FAST4”, has been also proposed to reduce the time duration of tennis matches. This policy was originally proposed by Tennis Australia (Tennis Australia, 2015) in regard to the Vth International Tennis Federation (ITF)-regulation appendix and it would involve reducing the number of games, abbreviating the tiebreak, getting rid of the “let” on serve and including a golden point at deuce (already installed in doubles matches). Thus, the increasing age of tennis players has already been taken into account by the ITF and they have decided to facilitate the conditions for older or more experienced players.

The higher mean age found in professional tennis players might be related either to lengthier careers or to a delayed entrance into the top 100 rankings. Figure 1B indicates the age on entering the top 100 ranking for both men and women tennis players. Interestingly, men players have entered the top 100 ranking at an older age in the last few years, although this effect was not observed in female players. The tendency for a delayed entrance into the top 100 ranking for men is also evident when comparing the 2013 age of entrance (24.0 ± 2.1 yr, current study) with the one reported by Reid and Morris (2013) when analyzing the 2009 top 100 ranking (21.5 ± 3.4 yr). Moreover Table 1 indicates that players under 21 yr are less frequent in the 10's decade when compared to previous decades. On the other hand, Guillaume et al. (2011) observed that players, whose first matches were played after 1985, had shorter careers. All these data therefore suggest that the increase in professional tennis players' mean age is related to a delayed entrance into the top 100 rankings, at least in the male population. However, other factors such as the conservation of perceptuomotor and perceptual processes in older tennis players might also contribute to increased mean age in professional tennis (Lobjois, Benguigui, and Bertsch, 2006).

Guillaume et al. (2011) reported that, after 1985, top 10 men tennis players reached their peak performance at 23.3 years while female counterparts reached their best potential at 21.5 years. Age on achieving their best performance in top 10 ranked players is very similar to the present investigation (Figure 2). The current analysis also includes the age of peak performance according to the highest ranking obtained during tennis players' careers. We found that players who reached number 1 obtained this ranking at a lower age than tennis players that obtained rankings $\geq 10^{\text{th}}$. This effect was observed in both men and women tennis players and suggests that the best players (e.g., the number 1s) are typically more precocious than the remaining top 100 players. Furthermore, women reached their peak performance earlier than men which can be explained by their earlier physical maturation (Bacil, Mazzardo Junior, Rech, Legnani, and Campos, 2015).

4.1. Limitations

This investigation includes limitations that should be discussed to understand the applicability of the results. First, the number of years included in the statistical analysis was different for men (30 yr) and women (16 yr). This indicates that the amount of data used to calculate mean values is different between sexes but the use of data-paired analysis has allowed us to definitively indicate that women tennis players are more precocious than men. Second, we have assumed that tennis performance is directly related to the ranking position obtained at the end of each season, although a better ranking could have been obtained in the middle of the year. Tennis performance is a more complex phenomenon that includes several factors that can affect the relationship between performance and ranking (such as injuries, access to final rounds in international tournaments, matches against equally-ranked opponents, etc.).

5. Conclusion

In summary, the present investigation indicates that professional tennis is getting older because the mean age of top 100 ranked players has progressively increased in the last decades. The increasing mean age was present in both male and female tennis players although all the age indicators suggest that women are more precocious than their male counterparts. The causes for the existence of older tennis players among the top 100 ranking are related to a later entrance into the top 100. Interestingly, number 1 players obtain their peak performance earlier than the remaining top 100 players. This information might be useful for coaches as well as for Federations with regard to their players' training and for developing process/plans towards longer-term and healthier careers.

6. Acknowledgments

We want to acknowledge the Association of Tennis Professionals (ATP) and the Women's Tennis Association (WTA) for the accessibility to tennis players' data they provide in their websites. This study did not receive any funding.

7. References

- Association of Tennis Players. (2015) Retrieved January 1, 2015, from <http://es.atpworldtour.com/Tournaments/Tournament-Landing.aspx>
- Bacil, E.D., Mazzardo Junior, O., Rech, C.R., Legnani, R.F., and Campos, W. (2015). [Physical activity and biological maturation: a systematic review.]. **Rev Paul Pediatr.**
- Bongard, V., McDermott, A., Dallal, G., and Schaefer, E. (2007). Effects of age and gender on physical performance. **Age**, 29(2-3), 77-85.
- Brouwers, J., De Bosscher, V., and Sotiriadou, P. (2012). An examination of the importance of performances in youth and junior competition as an indicator of later success in tennis. **Sport Management Review**, 15(4), 461-475.
- Crespo, M., Reid, M., Miley, D., and Atienza, F. (2003). The relationship between professional tournament structure on the national level and success in men's professional tennis. **J Sci Med Sport**, 6(1), 3-13.
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., and Mendez-Villanueva, A. (2009). A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. **Strength & Conditioning Journal**, 31(4), 15-26.
- Gallmann, D., Knechtle, B., Rust, C.A., Rosemann, T., and Lepers, R. (2014). Elite triathletes in 'Ironman Hawaii' get older but faster. **Age (Dordr)**, 36(1), 407-416.
- Guillaume, M., Len, S., Tafflet, M., Quinquis, L., Montalvan, B., Schaal, K., . . . Toussaint, J.-F. (2011). Success and decline: top 10 tennis players follow a biphasic course. **Med Sci Sports Exerc**, 43(11), 2148-2154.
- Konig, D., Huonker, M., Schmid, A., Halle, M., Berg, A., and Keul, J. (2001). Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. **Med Sci Sports Exerc**, 33(4), 654-658.
- Konig, S., Valeri, F., Wild, S., Rosemann, T., Rust, C.A., and Knechtle, B. (2014). Change of the age and performance of swimmers across World Championships and Olympic Games finals from 1992 to 2013 - a cross-sectional data analysis. **Springerplus**, 3, 652.
- Lara, B., Salinero, J.J., and Del Coso, J. (2014). The relationship between age and running time in elite marathoners is U-shaped. **Age (Dordr)**, 36(2), 1003-1008.
- Lepers, R., and Cattagni, T. (2012). Do older athletes reach limits in their performance during marathon running? **Age (Dordr)**, 34(3), 773-781.
- Lobjois, R., Benguigui, N., and Bertsch, J. (2006). The effect of aging and tennis playing on coincidence-timing accuracy. **J Aging Phys Act**, 14(1), 74-97.
- Malcata, R.M., Hopkins, W.G., and Pearson, S.N. (2014). Tracking career performance of successful triathletes. **Med Sci Sports Exerc**, 46(6), 1227-1234.
- Mallet, J. (2010). Age and Ranking I Retrieved September 1, 2014, from <http://statracket.net/?view=articles/ageandraking1.html>
- McCraw, P.D. (2009). Age profile ATP/WTA Tour Top 100. *The McCraw Method* Retrieved December 1, 2014, from <http://www.mccrawmethod.com/downloads/TMM%20-%20Age%20Profile%20ATP%20&%20WTA%20Top%20100%20Tour%20%2081990%20-%202009%29.pdf>
- McCraw, P.D. (2011). Making the Top 100: ITF Top 10 junior transition to Top 100 ATP tour (1996–2005). **Coaching & Sport Science Review**, 55(19), 11-13.

- Reid, M., Crespo, M., Santilli, L., Miley, D., and Dimmock, J. (2007). The importance of the International Tennis Federation's junior boys' circuit in the development of professional tennis players. **J Sports Sci**, 25(6), 667-672.
- Reid, M., and Morris, C. (2013). Ranking benchmarks of top 100 players in men's professional tennis. **Eur J Sport Sci**, 13(4), 350-355.
- Reid, M., Morgan, S., Churchill, T., and Bane, M.K. (2014). Rankings in professional men's tennis: a rich but underutilized source of information. **J Sports Sci**, 32(10), 986-992.
- Saligari, D. (2010). Why 30 is the new 20. **Australian Tennis Magazine**, 22-24.
- Sanchez-Munoz, C., Sanz, D., and Zabala, M. (2007). Anthropometric characteristics, body composition and somatotype of elite junior tennis players. **Br J Sports Med**, 41(11), 793-799.
- Schulz, R., and Curnow, C. (1988). Peak performance and age among superathletes: track and field, swimming, baseball, tennis, and golf. **Journal of Gerontology**, 43(5), P113-P120.
- Smekal, G., von Duvillard, S.P., Rihacek, C., Pokan, R., Hofmann, P., Baron, R., . . . Bachl, N. (2001). A physiological profile of tennis match play. **Med Sci Sports Exerc**, 33(6), 999-1005.
- Tennis Australia. (2015). Fast 4 Tennis Retrieved January 10, 2015, from <http://www.tennis.com.au/learn/ways-to-play/fast4>
- Westerterp, K.R., and Meijer, E.P. (2001). Physical activity and parameters of aging: a physiological perspective. **J Gerontol A Biol Sci Med Sci**, 56 Spec No 2, 7-12.
- Women Tennis Association. (2014) Retrieved September 15, 2014, from <http://www.wtatennis.com/>

ANEXO 2

Impact of a competition with two consecutive matches in a day on physical performance in young tennis players.

Impact of a competition with two consecutive matches in a day on physical performance in young tennis players

Cesar Gallo-Salazar, Juan Del Coso, David Barbado, Alejandro Lopez-Valenciano, Francisco Javier Santos-Rosa, David Sanz-Rivas, Manuel Moya, and Jaime Fernandez-Fernandez

Abstract: The purpose of this study was to analyze the effects of playing 2 tennis matches on the same day on physical performance in young tennis players. Twelve well-trained young tennis players took part in a simulated tennis competition consisting of 2 tennis matches on the same day (morning and afternoon sessions). Before and the day after the competition, physical performance was measured using a battery of countermovement jumps; a 10 m sprint; the 5–0–5 agility test; hip, grip and shoulder maximal isometric strength; shoulder range of motion and a serve velocity test. Postcompetition results showed reduced performance in 10 m (–3.3%, effect size (ES) = small), dominant and nondominant 5–0–5 agility test (–4.6%, ES = moderate; –4.2%, ES = moderate, respectively), bilateral (–5.2%, ES = small) and unilateral countermovement jumps (dominant leg: –7.2%, ES = small; non-dominant leg: –9.1%, ES = small). Both dominant and nondominant shoulder external rotation range of motion increased (12.2%, ES = moderate; 5.6%, ES = small), whereas internal rotation decreased (–4.2%, ES = small; –3.3%, ES = small) in the postcompetition tests, together with the dominant-shoulder external rotation (–10.7%, ES = moderate) and internal rotation (–9.3%, ES = small) strength. Physical impairments occurred in neuromuscular performance variables involving lower (e.g., jumping, sprinting, and change of direction) and upper (e.g., isometric strength and range of motion) limbs the day after playing a competition with 2 consecutive matches on the same day. These alterations in neuromuscular and sport-specific performance need to be taken into consideration when planning tournament schedules for young tennis players, as well as preparing match and recovery strategies.

Key words: fatigue, racket sports, strength, range of motion, hip, shoulder.

Résumé : Cette étude se propose d'analyser les effets de deux matchs de tennis le même jour sur la performance physique de jeunes joueurs de tennis. Douze jeunes joueurs de tennis bien entraînés prennent part à une compétition simulée de tennis comprenant deux matchs la même journée, l'un le matin et l'autre, l'après-midi. Avant la compétition et le jour suivant, on évalue la performance physique au moyen de tests : sauts avec contremouvement, sprint de 10 m, agilité 5–0–5, tension isométrique maximale de la hanche, de l'épaule et de la préhension manuelle, amplitude de mouvement de l'épaule et vitesse de service. Les résultats obtenus après la compétition révèlent une performance diminuée au 10 m (–3,3 %, ampleur de l'effet (AE) = faible), à l'agilité 5–0–5 dominant-non dominant (–4,6 %, AE = modérée; –4,2 %, AE = modérée, respectivement), sauts avec contremouvement bilatéral (–5,2 %, AE = faible) et unilatéral (jambe dominante : –7,2 %, AE = faible; jambe non dominante : –9,1 %, AE = faible). Après la compétition, la amplitude de mouvement de l'épaule dominante et non dominante en rotation externe augmente (12,2 %, AE = modérée; 5,6 %, AE = faible), mais la amplitude de mouvement en rotation interne diminue (–4,2 %, AE = faible; –3,3 %, AE = faible), tout comme la tension maximale de l'épaule dominante en rotation externe (–10,7 %, AE = modérée) et en rotation interne (–9,3 %, AE = faible). Les défaillances physiques se manifestent dans les variables neuromusculaires de la performance des membres inférieurs (p. ex. saut, sprint et changement de direction) et supérieurs (p. ex. tension isométrique et amplitude de mouvement) le lendemain de la compétition comprenant deux matchs consécutifs la même journée. On doit prendre en compte les modifications de la performance neuromusculaire et spécifique au sport au moment de planifier l'horaire du tournoi de jeunes joueurs de tennis; on doit aussi adapter en conséquence les stratégies de préparation et de récupération. [Traduit par la Rédaction]

Mots-clés : fatigue, sports de raquette, force, amplitude de mouvement, hanche, épaule.

Introduction

In tennis, from an early age (i.e., under 14 years (U14)), players spend most of the training time mastering their individual sport-specific skills, with tennis-specific (i.e., technical and tactical) and physical training volumes often exceeding 15–20 h per week (Reid et al. 2007). Competitive tennis clubs and academies normally follow a competitive approach, which results in a demanding

competitive calendar with a high level of competitiveness from the early stages on. This can result in athletes compromising training, leading to suboptimal recovery, inadequate overall preparation, and a higher risk of injury. Moreover, match scheduling, participation in multiple draws (singles and doubles), and training demands require young high-level tennis players to often complete numerous training sessions and (or) competitive matches on

Received 28 September 2016. Accepted 10 February 2017.

C. Gallo-Salazar and J. Del Coso. Exercise Physiology Laboratory, Camilo José Cela University, Madrid, Spain.

D. Barbado, A. Lopez-Valenciano, M. Moya, and J. Fernandez-Fernandez. Sports Research Centre, Miguel Hernandez University, Elche, Spain.

F.J. Santos-Rosa. Faculty of Sport, Pablo de Olavide University, Seville, Spain.

D. Sanz-Rivas. Exercise Physiology Laboratory, Camilo José Cela University, Madrid, Spain; Royal Spanish Tennis Federation, Madrid, Spain.

Corresponding author: Cesar Gallo-Salazar (email: cgallo@ucjc.edu).

Copyright remains with the author(s) or their institution(s). Permission for reuse (free in most cases) can be obtained from RightsLink.

consecutive days (Gescheit et al. 2015). Although this is uncommon at the professional level, at a lower level (i.e., U16, U14), players usually take part in 2 consecutive tennis matches in a day (i.e., morning and afternoon sessions) as part of their competition schedule.

Several studies have shown the physiological, physical, and perceptual responses to prolonged match play (Girard et al. 2006; Martin et al. 2016) and repeated days of tennis match play (i.e., 2–4 h matches conducted under a tournament scenario simulation) (Ojala and Hakkinen 2013; Peltier et al. 2013; Brink-Elfegoun et al. 2014; Gescheit et al. 2015) although findings from such studies are contradictory. Analyzing the activity profile of match play over an extended duration (over 3 h), results have shown declines in serve speed (Martin et al. 2016) and groundstroke speed and accuracy, together with decreased sprint ability (Ferrauti et al. 2001). On the other hand, results showed that serve velocity seemed to be unaffected, with a decrease in serve accuracy after 4 consecutive days of prolonged matches (Gescheit et al. 2015), whereas serve velocity dropped after three 2-h match days (Ojala and Hakkinen 2013).

Some studies have shown force impairments from a neuromuscular point of view (i.e., rate of force development and maximal strength during a voluntary contraction (MVC)) in the lower extremities (knee extension) during simulated tennis tournaments (2–3 h matches on 3 consecutive days) (Ojala and Hakkinen 2013). Similar research (i.e., 3 consecutive 2 h tennis matches) reported no significant reductions in lower-limb performance (countermovement-jump (CMJ) and isometric MVC knee torque) (Brink-Elfegoun et al. 2014). Significant reductions in the MVC have also been found in the upper extremities (i.e., triceps brachii) as well as in both internal (IR) and external (ER) dominant shoulder rotation (Brink-Elfegoun et al. 2014; Gescheit et al. 2015). Furthermore, during these tournament scenario simulations, players have reported high values of perceived muscle soreness (Ojala and Hakkinen 2013; Brink-Elfegoun et al. 2014; Gescheit et al. 2015), whereas the concentration of blood markers of muscle damage (i.e., creatine kinase) increased over the competition days (Ojala and Hakkinen 2013; Gescheit et al. 2015).

Overall, these previous studies suggested the accumulation of neuromuscular fatigue during prolonged match play over consecutive days, which is related to an altered physical performance in explosive tasks (sprinting, jump ability) and accuracy in specific strokes (serve and groundstrokes). Thus, it is possible that residual fatigue associated with limited recovery between successive matches could compromise physical performance in young tennis players and hence their ability to keep up with play. Moreover, previous research referred to adult players, and little is known about how an intensive competitive schedule or the repetition of several matches in a day can affect performance in young tennis players. Therefore, the aim of this study was to analyze the effects of playing 2 tennis matches on the same day on physical performance in young tennis players. We hypothesized that physical performance would be significantly reduced the day after the completion of 2 competitive matches.

Methods

Experimental approach to the problem

A cross-sectional repeated measures experimental design was carried out on 2 consecutive days to observe the effects of playing a competition with 2 tennis matches in the same day on young tennis players, with the rationale to provide useful practical information for coaches and players when planning tournament schedules, as well as preparing match and recovery strategies. Each participant took part in 2 experimental trials (pre- and post-competition) separated by 24 h and both conducted in morning sessions under similar experimental conditions (26.0 ± 2.4 °C; $45.6 \pm 6.3\%$ of relative humidity). Between the trials, players participated in a simulated tennis competition that consisted of

2 tennis matches (to the best of 3 sets) on the same day separated by 3 h to rest and have a standardized lunch. This protocol was selected to replicate the habitual competitive routines of young tennis players. During the games, participants played against an opponent with a similar ranking. To assure a high level of competitiveness and motivation, the organizing committee gave rewards (i.e., pack of sport clothes) to every winner. After both matches, participants performed a 20 min standardized cool-down routine consisting of 5 min light joint mobilization and 15 min of a stretching protocol (i.e., upper and lower body) led by the same physical trainer. Moreover, the use of pain-relieving strategies (e.g., medication, manual massage, ice, etc.) was not allowed. Thirty minutes after the end of the first match, players had an 800 Kcal meal standardized as follows: carbohydrate 60%, fat 25%, and protein 15%. Food intake was recorded and subsequently analyzed using nutrition software (PCN software 2.0, Cesnid, Spain). Players were allowed consume water ad libitum. To ensure familiarization with the test procedures, all players completed a full session 1 week before the precompetition testing where intraclass correlation coefficients (ICC) were obtained.

Subjects

Twelve well-trained right-handed tennis players (age 14.4 ± 0.9 years, body mass 53.6 ± 7.8 kg, height 165 ± 7.9 cm) participated in this study. The players were ranked between 1 and 50 in their respective national singles ranking (U15), trained 10.4 ± 2.8 h per week, and had a training background of 5.6 ± 1.2 years. The participants were not taking medications for the duration of the study and they had been free of musculoskeletal injuries during the previous 3 months. Before taking part in the study, participants and their parents/guardians were fully informed about the protocol and provided their written informed consent. The Camilo Jose Cela University Ethics Board approved the procedures in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki.

Procedures

On arrival at the tennis facility (1000 h), participants were randomly distributed in 3 groups of 4 players each. The testing took place in 2 different locations: a physiotherapy room and an outdoor synthetic court. Every group followed the same testing protocol separated by lapses of 10 min between each stage. To reduce the interference of uncontrolled variables, all the participants were lodged in a players' residence within the training facility to control meals and resting times, and they were instructed to maintain their habitual lifestyle during the study. The participants were told not to exercise on the day before the testing and to consume their last (caffeine-free) meal at least 2 h before the scheduled test time. The experimental tests were conducted in the following order (Fig. 1).

FI

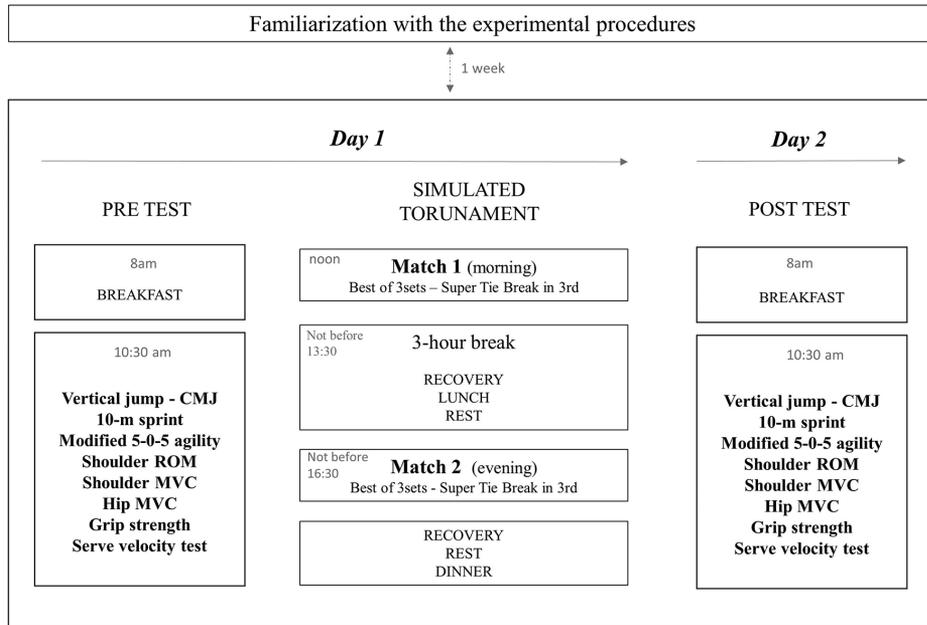
Vertical Jumping

A bilateral CMJ and unilateral CMJs (with the dominant and nondominant leg) without arm swing were performed on a contact-time platform (Ergojump, Finland) according to the protocol by Bosco et al. (1983). Each player performed 2 maximal attempts at each type of jump interspersed with 45 s of passive recovery, and the highest jump was recorded and used for statistical analysis. The ICC for these tests ranged from 0.94 to 0.96.

10 m sprint

A 10 m sprint in a straight line was measured (with 5 m split-times) using rows of infrared beams (DSD Sport system, Spain), placed 1.0 m above the ground. Each sprint was initiated 50 cm behind the first photocell gate, which started a digital timer. Each player performed 2 maximal 10 m sprints, separated by at least 2 min of passive recovery (Buchheit et al. 2010). The best performance was recorded and used for the statistical analysis. The ICC for this test was 0.96.

Fig. 1. Study design. Pretest and post-test with test procedures. CMJ, countermovement jumps; ROM, range of motion; MVC, maximal strength during a voluntary contraction.



Modified 5–0–5 Agility test

The athlete's ability to perform a single, rapid 180° change of direction over a 5 m distance was measured using a modified version (stationary start) of the 5–0–5 agility test (Murphy et al. 2015b). Players started with their preferred foot behind the starting position and accelerated voluntarily, sprinting with maximal effort without a racquet. One trial pivoting on both left and right feet was completed, with the best time recorded to the nearest 0.01 s (DSD Sport system, Spain). Two minutes of rest were allowed between trials. The ICC for this test was 0.92.

Shoulder range of motion (ROM)

To measure passive glenohumeral rotation we followed the methods previously described (Cools et al. 2014), using an inclinometer (ISOMED, Portland, Oregon) with a telescopic arm. Each participant lay supine on a bench, with the shoulder in 90° of abduction and the elbow flexed to 90° (forearm perpendicular to the bench). From this starting position, an examiner held the participant's proximal shoulder region (i.e., clavicle and scapula) against the bench to stabilize the scapula while another examiner rotated the humerus in the glenohumeral joint to produce maximum passive external rotation (ER) and internal rotation (IR) (Moreno-Pérez et al. 2015). Two attempts at both IR and ER, as well as for both dominant and nondominant sides, were performed, with the best result (°) being used for statistical analysis. The ICC for this test ranged from 0.88 to 0.93.

Isometric MVC of the dominant and nondominant shoulder

MVC during IR and ER were measured using a handheld dynamometer (Lafayette Instrument Company, IN, USA), which was calibrated prior to each test. Testing was undertaken following the methods previously described (Cools et al. 2014; Couppé et al. 2014). Overall, strength tests were performed in a supine position with the arm in 90° abduction and 0° rotation in the scapular plane. The elbow was flexed to 90° and the examiner stabilized the humerus by pressing it down toward the examination table. Par-

ticipants were allowed to grasp the table with the other arm to provide more stabilization. The isometric test consisted of a 5–6 s maximal effort by the player. One examiner performed all the tests and gave standardized verbal encouragement during the effort. Two attempts at both IR and ER as well as for both dominant and nondominant sides, were performed with the best result (Newtons (N)) for each situation being retained. There was a 30 s rest period between trials. The ICC ranged from 0.83 to 0.94.

Isometric MVC of the dominant/nondominant hip

Hip adduction (ADD) and abduction (ABD) were measured using a handheld dynamometer (Lafayette Instrument Company, IN, USA), which was calibrated prior to each test. Testing was undertaken following methods previously described (Thorborg et al. 2011). The participants were placed in the supine position and were told to stabilize themselves by holding onto the sides of the table with their hands. The examiner applied resistance in a fixed position 5 cm proximal to the proximal edge of the lateral malleolus, and the participants exerted a 5 s MVC against the dynamometer. They performed 2 attempts at both dominant and nondominant sides and the highest value was used in the analysis. One examiner performed all the tests and gave standardized verbal encouragement during the effort. There was a 30-s rest period between trials. The ICC ranged from 0.91 to 0.97.

Grip strength

Handgrip strength was measured using a hydraulic hand dynamometer (Saehan Corporation, Masan, Korea). In an upright position, the participant was asked to perform a maximal voluntary contraction standing with the dynamometer at one side (i.e., dominant hand) and to grip the dynamometer as hard as they could for 3 s. This was repeated for each hand (i.e., dominant and nondominant hand). The average of the 2 attempts (with a 30-s rest period between trials) for each hand was considered to be the maximum voluntary handgrip strength (Innes 1999; Brink-Elfegoun et al. 2014). The ICC for this test ranged from 0.94 to 0.98.

Table 1. Pre- and postcompetition differences in 10 m sprint test, modified 5–0–5 agility test, height of CMJ and serve velocity test.

Protocol and variables	Pretest (n = 12)	Post-rest (n = 12)	Chance % +/trivial/-	Qualitative inference
10 m sprint (s)	1.95±0.14	2.02±0.12 ^S	90/10/00	Likely +
5–0–5 agility test (s)				
Nondominant leg	2.94±0.10	3.07±0.12 ^M	100/00/00	Most likely +
Dominant leg	2.90±0.17	3.03±0.13 ^M	99/01/00	Very likely +
Height on CMJ test (cm)				
Bilateral	29.7±6.1	28.2±5.2 ^S	00/47/53	Possibly –
Dominant leg	14.9±3.9	13.8±3.7 ^S	00/25/75	Possibly –
Nondominant leg	14.4±3.3	13.1±3.5 ^S	01/19/81	Likely –
Serve velocity test (km·h ⁻¹)				
Peak velocity	151.7±13.94	149.5±15.09 ^T	01/64/35	Possibly –

Note: Values presented are means ± SD. CMJ, countermovement jump. ^T, trivial; ^S, small; ^M, moderate.

Serve velocity test

A radar gun (Stalker Professional Sports Radar, MN, USA) was used to measure serve speed, following the methods previously described (Fernandez-Fernandez et al. 2015a). The radar was positioned on the centre of the baseline, 3 m behind the server, fixed on a tripod, aligned with the approximate height of ball contact (–2.2 m) and pointed down the centre of the court. After 5 min of specific serve warm-up, including upper body mobility and 2 sets of first and second serves (8 repetitions each), players performed 3 sets of 10 maximum speed serves, all to the deuce side of the court. Players used their own racket for the test and a set of new balls was provided for every player (Babolat Gold, France). For measurements to count, serves had to land within 1 m of the centre service line. The serve with the highest speed was used for the subsequent statistical analysis. The ICC for this test ranged from 0.91 to 0.94.

Tennis matches

Before each of the 2 matches that composed the simulated competition, participants carried out a standardized warm-up for 5 min consisting of groundstrokes (players were asked to play the balls to the centre of the court), volleys plus overheads (one player on the baseline, the other playing volleys), and serves. Matches were played to the best of 3 sets system with a super tiebreak in the third set, according to the rules of the International Tennis Federation and conducted on an outdoor hard-court surface. Participants played each competitive singles tennis match against opponents determined by similar national tennis rankings. Players were allowed to consume water ad libitum. Rest periods between matches were set at 3 h during which players followed the previously mentioned protocol (i.e., standardized meal) before the second match of the day. Average match duration was 80.6 ± 19.5 min.

Statistical analysis

Data are presented as mean ± standard deviation (SD). The magnitude of the differences between precompetition (before the first match) to postcompetition (the day after of the competition) in all variables was calculated using the magnitude-based inference approach as has been recommended for studies in sports medicine and exercise science (Hopkins et al. 2009). Specifically, the effect-size statistic ± 90% confidence interval (CI) was used on log-transformed data to reduce bias due to nonuniformity of error. The smallest significant standardized effect threshold was set as 0.2, and a qualitative descriptor was included to represent the likelihood of exceeding this threshold. Ranges of likelihood < 1% indicated almost certainly no chances of change; 1%–5%, very unlikely; 5%–25%, unlikely; 25%–75%, possible; 75%–95%, likely; 95%–99%, very likely; > 99%, most likely. Differences were rated as unclear when likelihood exceeded > 5% in both positive and negative directions. Effect sizes were interpreted according to < 0.2,

trivial; 0.2–0.6, small; 0.6–1.2, moderate; 1.2–2.0, large; 2.0–4.0, very large and; > 4.0, extremely large (Hopkins et al. 2009).

Results

Table 1 shows the results of the 10 m sprint, 5–0–5 agility test, CMJ, and serve velocity. Postcompetition sprint times were slower (ES ± 90% CI, qualitative descriptor; 0.43 ± 0.31, likely) than precompetition values. In addition, the time employed in the agility test increased postcompetition for both dominant (0.74 ± 0.34, very likely) and nondominant leg (1.10 ± 0.38, most likely) when compared with precompetition. CMJ heights were reduced postcompetition compared with precompetition for all the tests performed: bilateral jump (–0.21 ± 0.16, possibly), jump with the dominant leg (–0.25 ± 0.14, possibly) and jump with the nondominant leg (–0.37 ± 0.34, likely). Peak serve velocity possibly decreased (–0.15 ± 0.23) postcompetition compared with precompetition.

Table 2 shows the results regarding shoulder strength and ROMs and hip and grip strength. In the dominant shoulder, ROM postcompetition values showed that ER was increased (0.60 ± 0.49, likely) when compared with precompetition, whereas it was reduced for IR (–0.52 ± 0.21, very likely). IR postcompetition values for the nondominant shoulder ROM were decreased compared with precompetition (–0.46 ± 0.41, likely), whereas the change for ER was increased (0.21 ± 0.33, possibly). MVC in the dominant shoulder was reduced for both ER (–0.60 ± 0.46, likely) and IR (–0.34 ± 0.29, likely). Conversely, results showed unclear changes for ER and IR in the nondominant shoulder. Handgrip strength was possibly reduced for the dominant hand (–0.22 ± 0.22, possibly). Hip ADD in the nondominant hip was possibly higher postcompetition compared with precompetition (0.27 ± 0.20, possibly), whereas the change value in the dominant hip was likely reported as trivial.

Discussion

The aim of this study was to analyze the effects of playing 2 tennis matches on the same day on physical performance in young tennis players. The main findings were that physical impairments occurred in neuromuscular performance variables involving lower (e.g., jumping, sprinting, and change of direction) and upper (e.g., MVC and ROM) limbs the day after playing 2 consecutive matches on the same day. These changes in neuromuscular and sport-specific performance need to be taken into consideration when planning the tournament schedule for young tennis players, as well as to establish match and recovery strategies for young players that usually are exposed to several competitive matches in the same day.

There is very little tennis-specific evidence to support recommendations about how competitions and practices should be scheduled to promote player safety and avoid important perfor-

Table 2. Pre- and postcompetition differences on shoulder ROM, shoulder isometric strength, hand-grip isometric strength, and hip isometric strength.

Protocols and variables	Pretest (n = 12)	Post-test (n = 12)	Chance % +/trivial/-	Qualitative inference
Shoulder ROM test (°)				
Dominant arm				
ER	47.8±8.2	53.7±7.7 ^M	92/08/01	Likely +
IR	151.4±11.4	145.1±11.0 ^S	00/01/99	Very likely –
Nondominant arm				
ER	47.3±12.1	50.0±10.3 ^S	52/46/02	Possibly +
IR	154.3±11.1	149.2±12.0 ^S	01/13/86	Likely –
Shoulder Strength test (N)				
Dominant arm				
ER	120.1±22.5	107.3±24.8 ^M	01/7/92	Likely –
IR	135.2±30.0	122.6±23.5 ^S	00/20/80	Likely –
Non-dominant arm				
ER	106.3±29.7	107.8±31.0 ^T	19/74/07	Unclear
IR	118.8±33.3	118.9±30.5 ^T	16/74/10	Unclear
Hand-grip Strength test (N)				
Dominant arm	36.1±7.1	34.4±6.8 ^S	00/42/58	Possibly –
Non-dominant arm	32.5±8.2	30.9±7.3 ^T	00/74/26	Possibly –
Hip Strength test (N)				
Dominant leg				
ADD	160.1±36.7	165.5±35.7 ^T	32/67/01	Possibly +
ABD	138.2±27.0	140.8±24.7 ^T	26/71/03	Possibly +
Non-dominant leg				
ADD	151.3±37.9	161.5±35.9 ^S	74/26/00	Possibly +
ABD	145.9±31.1	143.3±26.0 ^T	02/86/12	Likely trivial

Note: Values presented are means ± SD. ROM, Range of motion; ER, external rotation; IR, Internal rotation; ADD, adduction; ABD, abduction. ^T, trivial; ^S, small; ^M, moderate.

mance reductions. To the best of our knowledge, this is the first study to analyze the effects of consecutive tennis matches on the same day on neuromuscular performance in young tennis players. Some previous studies showed reduced neuromuscular function (i.e., sprinting, jumping) following prolonged tennis match-play (Ojala and Hakkinen 2013; Gescheit et al. 2015) in adult players, ranging from 2% to 15%, depending on the number of days of consecutive play. Present results showed decreased levels of performance in 10 m sprint (~5%), bilateral and unilateral CMJ (~7.5% and ~10%, respectively), together with a reduction of ~4.5% in the ability to perform fast changes of direction. Some of these results are similar to those reported by Gescheit et al. (2015), who recorded ~5% higher times in 10 m sprint and ~8% reduction in CMJ the day after playing a 4 h tennis match. Effective movement in tennis depends on a combination of eccentric and concentric muscle actions (i.e., accelerations, decelerations, and strokes) made from different body positions in reduced playing areas (i.e., from ~2.5 m to ~7.5 m) (Murphy et al. 2015a). Reductions in neuromuscular performance seem to be related to an inability to produce skeletal muscle force following extended match-play situations or consecutive matches (Mendez-Villanueva et al. 2007). In this regard, previous research showed an increase in creatine kinase levels during and after prolonged and consecutive tennis matches, which can be accompanied by a progressive reduction in maximal force production and, therefore, a decrease in neuromuscular performance (Girard et al. 2006; Horner et al. 2007). Interestingly, there is also contrary evidence that reports no difference in neuromuscular performance (i.e., CMJ) after prolonged on-court training or extended (2–3 h) simulated competition (Girard et al. 2006; Ojala and Hakkinen 2013; Reid et al. 2013; Brink-Elfegoun et al. 2014). These discrepancies could be likely due to the duration and intensity of the type of exercise performed, age (U15), level of play, and the experimental designs employed (2 matches in a day vs. 4 consecutive days of prolonged tennis matches). Moreover, regarding the CMJ, although it is a valid test for general assessments of neuromuscular function, its relationship with tennis-specific performance (i.e., serve velocity,

ground strokes) has been shown to be moderate (Girard and Millet 2009), if not insignificant (Ulbricht et al. 2016), questioning if vertical jump performance reflects lower limb activity during tennis stroke production.

Regarding hip strength values, although changes are trivial, results are surprising as ADD strength was improved from 3.3% and 6.7% in the dominant and nondominant side, respectively, whereas ABD strength was improved in the dominant side (+1.8%) and reduced in the nondominant side (–1.8%). It is difficult to make comparisons as no previous study has reported hip strength values in tennis players. Based on these results, we can suggest that there are no important hip imbalances in this group of young players. Regarding the reduction in hip ABD strength on the non-dominant side, we can hypothesize that fatigue can affect this side to a higher degree. Previous research found that the iliopsoas and gluteal muscles were asymmetrically hypertrophied in professional tennis players (i.e., the nondominant iliopsoas was 13% greater than the dominant) (Sanchis-Moysi et al. 2011), because of the repetitive movements on the serve and also on the forehand stroke. However, since the evaluation of the hip also requires other important measures, such as ROM (i.e., internal and external rotation), more research is needed to identify hip injury risk in young tennis players as well as the effects of consecutive tennis matches on this joint.

Upper body performance (i.e., muscular performance and stroke efficiency) seems to be determinant in tennis, as players must perform a great number of powerful strokes (i.e., mainly serves and forehand strokes) over an extended period of time (Mendez-Villanueva et al. 2007; Reid and Duffield 2014). Recent findings suggest that a loss of shoulder ROM is predictive of future shoulder injury in overhead throwing athletes (Martin et al. 2016). Present results showed a decrease in the IR levels for both dominant (–4.2%) and nondominant side (–3.3%), although ER levels were increased after 2 matches in the same day (+12.2% and + 5.6% for the dominant and nondominant side, respectively). Deficits in the IR values were lower than those reported in previous research, with deficits ranging from 7% to 20% (Reinold et al. 2008; Kibler

et al. 2012; Martin et al. 2016) in baseball after a “normal” baseball throwing game (50–72 throws) and in tennis players after a prolonged tennis match (3 h). From a pathological point of view, although present results showed important decreases in the dominant side IR, values could be considered normal, as shoulder IR problems are identified when there is a loss of rotation greater than 18°–20°, with a corresponding loss of total ROM greater than 5° when compared bilaterally (Manske and Ellenbecker 2013). Bilateral differences in the present study were less than 2% for both dominant and nondominant sides, and total ROM values (198°–200° in both dominant and non-dominant sides) were higher than previous values reported for tennis and baseball players (Marcondes et al. 2013; Martin et al. 2016). These decreases in the IR could be the result of repetitive eccentric contractions caused by the preparatory movements for serves and forehand groundstrokes throughout the day (Ellenbecker et al. 2002), which can cause posterior muscle tendon and capsular tightness, leading to shoulder injuries (Manske and Ellenbecker 2013). However, this is a speculation that merits further investigation.

Serve velocity, which has been claimed as the most powerful, potentially dominant shot in tennis (Roetert et al. 2009) depends on many factors, including upper-body strength and shoulder ROM (Cohen et al. 1994; Roetert et al. 2009). Present results showed that IR deficits were accompanied by reductions in shoulder strength and grip strength levels in the dominant side (IR: –9%; ER: –11%; Handgrip: –5%). To the best of our knowledge, only Gescheit et al. (2015) have analyzed IR–ER maximal strength production of the dominant shoulder after consecutive days of prolonged match play, reporting similar reductions in the dominant shoulder rotation levels (6%–8%) the day after playing a 4-h tennis match. In accordance with common definitions of fatigue (Gandevia 2001), we could state that upper-body strength as well as ROM were affected by fatigue, and together with reductions in lower body performance (i.e., CMJ) can lead to a decrease in serve performance, as reflected by a 1.5% decrease in the peak serve velocity reported in the present study. Although these reductions are trivial, values are in agreement with previous research showing decreases in serve velocity either as training and matches progress or subsequent to their completion (Mendez-Villanueva et al. 2007; Reid and Duffield 2014), which could be related to a less effective use of the stretch shortening cycle in the shoulder rotators during the cocking and acceleration phases and consequently to a decrease in serve performance (Martin et al. 2016). However, since the serve stroke is a complex movement and previous research showed a generally ambiguous association between serve performance and joint strength measures (Cohen et al. 1994; Pugh et al. 2003; Signorile et al. 2005), further associations between fatigue in these various musculoskeletal movement patterns and reduced stroke performance are required.

There are several points that should be listed as possible limitations to this study. First, adding 2 new measurement tests (e.g., before and after the second match), as has been previously performed by Ojala and Hakkinen (2013), could have provided further information about the real impact of every match on performance, enhancing the value of the research. Second, although rest periods in between games were supervised and all the participants verbally declared having at least an 8-h sleep, participants did not follow controlled sleep hygiene recommendations (i.e., light, restricted access to electronic stimulants) (Duffield et al. 2013). These aspects could influence the player's recovery and therefore, their performance levels during the post-tests.

Conclusions

In summary, the day after playing 2 consecutive matches on the same day physical impairments occurred in neuromuscular performance variables involving lower (e.g., jumping, sprinting, and change of direction) and upper (e.g., MVC and ROM) limbs. In the

light of these results, preparation for intensive tournaments, including 2 consecutive matches on the same day, should be focused on neuromuscular training (i.e., speed and agility, strength, and plyometric training), which can help to avoid reductions in performance to meet the demands of these taxing competitions (Barber-Westin et al. 2010; Fernandez-Fernandez et al. 2015a, 2015b). More specifically, bi-weekly training sessions of 4–8 plyometric exercises (i.e., combination of upper body and lower body exercises), performed at maximal intensity, with 2–4 sets and 10–15 repetitions (rest period ranged between 15 and 90 s) are recommended to enhance explosive actions in young tennis players (Fernandez-Fernandez et al. 2015b). Moreover, based on the ROM impairments reported, it appears necessary, especially at young ages, to restore the tennis player's normal shoulder ROM before having to play the next match as well as to improve general flexibility. This can be done by educating the players to use specific stretching routines, joint mobilization, and other short-term recovery strategies, such as self-myofascial release using a foam roller (Mohr et al. 2014), to avoid overuse injuries and to maintain performance levels. Light joint mobilizations (i.e., for both, the upper and lower body) together with stretching routines involving those overloaded joints (i.e., shoulder and hips) should be performed a minimum of twice a week for a total of 15–20 min per session (Harshbarger et al. 2013). For example, shoulder exercises like the cross-body or the sleeper stretch should be performed to mild discomfort for 5 repetitions of 30 s and should be conducted daily after the training session. Moreover, the use of the foam roller (2–3 sets of 30 s to 1 min) may offer short-term benefits for increasing joint ROMs at the hip, knee, and (or) ankle without affecting muscle performance (Cheatham et al. 2015).

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest derived from the outcomes of this study.

Acknowledgements

The authors wish to thank the participants for their invaluable contribution to the study. The authors also want to thank UCJC Sports Club for their help in participant recruiting and testing as well as for the use of their facilities for the study. This study did not receive any funding.

References

- Barber-Westin, S.D., Hermeto, A.A., and Noyes, F.R. 2010. A six-week neuromuscular training program for competitive junior tennis players. *J. Strength Cond. Res.* 24: 2372–2382. doi:10.1519/JSC.0b013e318e8447f. PMID:20703159.
- Bosco, C., Mogroni, P., and Luhtanen, P. 1983. Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 51: 357–364. doi:10.1007/BF00429072. PMID:6685034.
- Brink-Elfegoun, T., Ratel, S., Lepêtre, P.M., Metz, L., Ennequin, G., Doré, E., et al. 2014. Effects of sports drinks on the maintenance of physical performance during 3 tennis matches: a randomized controlled study. *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 11: 46. doi:10.1186/s12970-014-0046-7. PMID:25302057.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M., Quesnel, T., and Ahmadi, S. 2010. Improving acceleration and repeated sprint ability in well-trained adolescent handball players: speed versus sprint interval training. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 5: 152–164. doi:10.1123/ijspp.5.2.152. PMID:20625188.
- Cheatham, S.W., Kolber, M.J., Cain, M., and Lee, M. 2015. The effects of self-myofascial release using a foam roll or roller massager on joint range of motion, muscle recovery, and performance: a systematic review. *Int. J. Sports Phys. Ther.* 10: 827–838. PMID:26618062.
- Cohen, D.B., Mont, M.A., Campbell, K.R., Vogelstein, B.N., and Loewy, J.W. 1994. Upper extremity physical factors affecting tennis serve velocity. *Am. J. Sports Med.* 22: 746–750. doi:10.1177/036354659402200604. PMID:7856797.
- Cools, A.M., De Wilde, L., Van Tongel, A., Ceyssens, C., Ryckewaert, R., and Cambier, D.C. 2014. Measuring shoulder external and internal rotation strength and range of motion: comprehensive intra-rater and inter-rater reliability study of several testing protocols. *J. Shoulder Elbow Surg.* 23: 1454–1461. doi:10.1016/j.jse.2014.01.006. PMID:24726484.
- Couppé, C., Thorborg, K., Hansen, M., Fahlström, M., Bjordal, J., Nielsen, D., et al. 2014. Shoulder rotational profiles in young healthy elite female and male badminton players. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 24: 122–128. doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01480.x. PMID:22616686.
- Duffield, R., Murphy, A., Kellest, A., and Reid, M. 2013. Recovery From Repeated On-Court Tennis Sessions: Combining Cold Water Immersion, Compression

- and Sleep Recovery Interventions. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **9**: 273–282. doi:10.1123/ijspp.2012-0359. PMID:23799825.
- Ellenbecker, T.S., Roetert, E.P., Baillie, D.S., Davies, G.J., and Brown, S.W. 2002. Glenohumeral joint total rotation range of motion in elite tennis players and baseball pitchers. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34**: 2052–2056. doi:10.1097/00005768-200212000-00028. PMID:12471315.
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Kovacs, M.S., and Moya, M. 2015a. In-season effect of a combined repeated sprint and explosive strength training program on elite junior tennis players. *J. Strength Cond. Res.* **29**: 351–357. doi:10.1519/JSC.0000000000000759. PMID:25436636.
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Saes de Villarreal, E., and Moya, M. 2015b. The Effects of 8-Week Plyometric Training on Physical Performance in Young Tennis Players. *Pediatr. Exerc. Sci.* **28**: 77–86. doi:10.1123/pes.2015-0019. PMID:26252503.
- Ferrauti, A., Pluim, B.M., and Weber, K. 2001. The effect of recovery duration on running speed and stroke quality during intermittent training drills in elite tennis players. *J. Sports Sci.* **19**: 235–242. doi:10.1080/026404101750158277. PMID:11310201.
- Gandevia, S.C. 2001. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol. Rev.* **81**: 1725–1789. PMID:11581501.
- Gescheit, D.T., Cormack, S.J., Reid, M., and Duffield, R. 2015. Consecutive days of prolonged tennis match play: performance, physical, and perceptual responses in trained players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **10**: 913–920. doi:10.1123/ijspp.2014-0329. PMID:25710259.
- Girard, O., and Millet, G.P. 2009. Physical determinants of tennis performance in competitive teenage players. *J. Strength Cond. Res.* **23**: 1867–1872. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b3df89. PMID:19675471.
- Girard, O., Lattier, G., Micallef, J.P., and Millet, G.P. 2006. Changes in exercise characteristics, maximal voluntary contraction, and explosive strength during prolonged tennis playing. *Br. J. Sports Med.* **40**: 521–526. doi:10.1136/bjsm.2005.023754. PMID:16720888.
- Harshbarger, N.D., Eppelheimer, B.L., McLeod, T.C.V., and McCarty, C.W. 2013. The effectiveness of shoulder stretching and joint mobilizations on posterior shoulder tightness. *J. Sport Rehabil.* **22**: 313–319. doi:10.1123/jsr.22.4.313. PMID:23799831.
- Hopkins, W.G., Marshall, S.W., Batterham, A.M., and Hanin, J. 2009. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med. Sci. Sports Exerc.* **41**: 3–13. doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278. PMID:19092709.
- Hornery, D.J., Farrow, D., Mujika, I., and Young, W.B. 2007. Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **2**: 423–438. doi:10.1123/ijspp.2.4.423. PMID:19171960.
- Innes, E. 1999. Handgrip strength testing: a review of the literature. *Aus. Occup. Ther. J.* **46**: 120–140. doi:10.1046/j.1440-1630.1999.00182.x.
- Kibler, W.B., Sciascia, A., and Moore, S. 2012. An acute throwing episode decreases shoulder internal rotation. *Clin. Orthop. Relat. Res.* **470**: 1545–1551. doi:10.1007/s11999-011-2217-z. PMID:22179981.
- Manske, R., and Ellenbecker, T. 2013. Current concepts in shoulder examination of the overhead athlete. *Int. J. Sports Phys. Ther.* **8**: 554–578. PMID:24175138.
- Marcondes, F.B., de Jesus, J.F., Bryk, F.F., de Vasconcelos, R.A., and Fukuda, T.Y. 2013. Posterior shoulder tightness and rotator cuff strength assessments in painful shoulders of amateur tennis players. *Braz. J. Phys. Ther.* **17**: 185–196. doi:10.1590/S1413-35552012005000079. PMID:23778770.
- Martin, C., Kulpa, R., Ezanno, F., Delamarche, P., and Bideau, B. 2016. Influence of Playing a Prolonged Tennis Match on Shoulder Internal Range of Motion. *Am. J. Sports Med.* doi:10.1177/0363546516645542. PMID:27184541.
- Mendez-Villanueva, A., Fernandez-Fernandez, J., and Bishop, D. 2007. Exercise-induced homeostatic perturbations provoked by singles tennis match play with reference to development of fatigue. *Br. J. Sports Med.* **41**: 717–722. doi:10.1136/bjsm.2007.037259. PMID:17957005.
- Mohr, A.R., Long, B.C., and Goad, C.L. 2014. Effect of foam rolling and static stretching on passive hip-flexion range of motion. *J. Sport Rehabil.* **23**: 296–299. doi:10.1123/jsr.2013-0025. PMID:24458506.
- Moreno-Pérez, V., Moreside, J., Barbado, D., and Vera-García, F.J. 2015. Comparison of shoulder rotation range of motion in professional tennis players with and without history of shoulder pain. *Man. Ther.* **20**: 313–318. doi:10.1016/j.math.2014.10.008. PMID:25458143.
- Murphy, A., Duffield, R., Kellert, A., Gescheit, D., and Reid, M. 2015a. The Effect of Pre-departure Training Loads on Post-tour Physical Capacities in High-performance Junior Tennis Players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **10**: 986–993. doi:10.1123/ijspp.2014-0374. PMID:25756284.
- Murphy, A., Duffield, R., Kellert, A., and Reid, M. 2015b. The relationship of training load to physical-capacity changes during international tours in high-performance junior tennis players. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* **10**: 253–260. doi:10.1123/ijspp.2014-0038. PMID:25117429.
- Ojala, T., and Hakkinen, K. 2013. Effects of the tennis tournament on players' physical performance, hormonal responses, muscle damage and recovery. *J. Sci. Med. Sport.* **12**: 240–248. PMID:24149802.
- Peltier, S.L., Leprêtre, P.M., Metz, L., Ennequin, G., Aubineau, N., Lescuyer, J.F., et al. 2013. Effects of pre-exercise, endurance, and recovery designer sports drinks on performance during tennis tournament simulation. *J. Strength Cond. Res.* **27**: 3076–3083. doi:10.1519/JSC.0b013e31828a4745. PMID:23439345.
- Pugh, S.F., Kovaleski, J.E., Heitman, R., and Gilley, W.F. 2003. Upper and lower body strength in relation to ball speed during a serve by male collegiate tennis players. *Percept. Mot. Skills.* **97**: 867–872. doi:10.2466/pms.2003.97.3.867. PMID:14738353.
- Reid, M., and Duffield, R. 2014. The development of fatigue during match-play tennis. *Br. J. Sports Med.* **48**(S1): i7–i11. doi:10.1136/bjsports-2013-093196. PMID:24668384.
- Reid, M., Crespo, M., Lay, B., and Berry, J. 2007. Skill acquisition in tennis: Research and current practice. *J. Sci. Med. Sport.* **10**: 1–10. doi:10.1016/j.jsams.2006.05.011. PMID:16809063.
- Reid, M.M., Duffield, R., Minnett, G.M., Sibte, N., Murphy, A.P., and Baker, J. 2013. Physiological, Perceptual, and Technical Responses to On-Court Tennis Training on Hard and Clay Courts. *J. Strength Cond. Res.* **27**: 1487–1495. doi:10.1519/JSC.0b013e31826cae4f. PMID:22890497.
- Reinold, M.M., Wilk, K.E., Macrina, L.C., Sheheane, C., Dun, S., Fleisig, G.S., et al. 2008. Changes in shoulder and elbow passive range of motion after pitching in professional baseball players. *Am. J. Sports Med.* **36**: 523–527. doi:10.1177/0363546507308935. PMID:17991783.
- Roetert, E.P., Ellenbecker, T.S., and Reid, M. 2009. Biomechanics of the tennis serve: implications for strength training. *Strength Cond. J.* **31**: 35–40. doi:10.1519/SSC.0b013e3181af65e1.
- Sanchis-Moysi, J., Idoate, F., Izquierdo, M., Calbet, J.A., and Dorado, C. 2011. Iliopsoas and gluteal muscles are asymmetric in tennis players but not in soccer players. *PLoS One*, **6**: e22858. doi:10.1371/journal.pone.0022858. PMID:21829539.
- Signorile, J.F., Sandler, D.J., Smith, W.N., Stoutenberg, M., and Perry, A.C. 2005. Correlation analyses and regression modeling between isokinetic testing and on-court performance in competitive adolescent tennis players. *J. Strength Cond. Res.* **19**: 519–526. doi:10.1519/R-15514.1. PMID:16095400.
- Thorborg, K., Serner, A., Petersen, J., Madsen, T.M., Magnusson, P., and Hölmich, P. 2011. Hip adduction and abduction strength profiles in elite soccer players: implications for clinical evaluation of hip adductor muscle recovery after injury. *Am. J. Sports Med.* **39**: 121–126. doi:10.1177/0363546510378081. PMID:20929931.
- Ulbricht, A., Fernandez-Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., and Ferrauti, A. 2016. Impact of Fitness Characteristics on Tennis Performance in Elite Junior Tennis Players. *J. Strength Cond. Res.* **30**: 989–998. doi:10.1519/JSC.0000000000001267. PMID:26605803.

ANEXO 3

Enhancing Physical Performance in Elite Junior Tennis Players With a Caffeinated Energy Drink.

Enhancing Physical Performance in Elite Junior Tennis Players With a Caffeinated Energy Drink

César Gallo-Salazar, Francisco Areces, Javier Abián-Vicén, Beatriz Lara, Juan José Salinero, Cristina Gonzalez-Millán, Javier Portillo, Víctor Muñoz, Daniel Juárez, and Juan Del Coso

The aim of this study was to investigate the effectiveness of a caffeinated energy drink to enhance physical performance in elite junior tennis players. In 2 different sessions separated by 1 wk, 14 young (16 ± 1 y) elite-level tennis players ingested 3 mg caffeine per kg body mass in the form of an energy drink or the same drink without caffeine (placebo). After 60 min, participants performed a handgrip-strength test, a maximal-velocity serving test, and an 8×15 -m sprint test and then played a simulated singles match (best of 3 sets). Instantaneous running speed during the matches was assessed using global positioning (GPS) devices. Furthermore, the matches were videotaped and notated afterward. In comparison with the placebo drink, the ingestion of the caffeinated energy drink increased handgrip force by $-4.2\% \pm 7.2\%$ ($P = .03$) in both hands, the running pace at high intensity (46.7 ± 28.5 vs 63.3 ± 27.7 m/h, $P = .02$), and the number of sprints (12.1 ± 1.7 vs 13.2 ± 1.7 , $P = .05$) during the simulated match. There was a tendency for increased maximal running velocity during the sprint test (22.3 ± 2.0 vs 22.9 ± 2.1 km/h, $P = .07$) and higher percentage of points won on service with the caffeinated energy drink ($49.7\% \pm 9.8\%$ vs $56.4\% \pm 10.0\%$, $P = .07$) in comparison with the placebo drink. The energy drink did not improve ball velocity during the serving test (42.6 ± 4.8 vs 42.7 ± 5.0 m/s, $P = .49$). The preexercise ingestion of caffeinated energy drinks was effective to enhance some aspects of physical performance of elite junior tennis players.

Keywords: sprint, movement analysis, exercise, match activity

During competitive tennis, players run 1,300 to 3,600 m per hour of play.¹ While average match time is 1.5 hours, tennis does not have a time limit, and this can result in matches lasting as long as 5 hours.² Despite the duration of a tennis game, tennis-specific movements are primarily short sprints, acceleration/deceleration, and changeovers. Besides, mean duration of rallies is 4 to 10 seconds, while effective playing time is typically lower by 30% due to the recovery periods (10–20 s between points and 90 s between games) set by the rules.¹ Thus, an increase in running speed, muscle strength, and endurance may be crucial to improve tennis performance and the outcomes of tournament participation.

Few studies have been geared to determining the efficacy of caffeine ingestion to improve the response to the physical demands of tennis, despite this substance being the most consumed in the sports setting.³ In comparison with a placebo, the combined ingestion of caffeine (8 mg/kg) and carbohydrates was effective to improve serve velocity and running performance during a shuttle-running test and stroke quality during the final stages of a fatiguing tennis game.⁴ However, most of these effects were also present with the ingestion of carbohydrates alone, and it was concluded that caffeine did not produce any benefit over carbohydrate ingestion. Caffeine (~ 5 mg/kg) was ineffective to increase running sprint performance or hitting accuracy during a simulated tennis match, but it increased the number of games won in a subsample of women tennis players.⁵ Caffeine (3 mg/kg) has been proven effective to maintain serve

velocity during a simulated match against a ball machine⁶ in comparison with a placebo or carbohydrate ingestion. However, caffeine was ineffective to improve stroke accuracy and velocity during this same protocol. Finally, caffeine (6 mg/kg) improved the number of successful shots during a tennis-skill test and increased heart rate in some tennis players with AA homozygotes in the CYP1A2 gene.⁷ Thus, there is contradictory evidence with regard to the effects of caffeine on tennis performance due to methodological differences among investigations (testing protocols, caffeine dose, coingestion with other substances, etc) or tennis players' characteristics.

Caffeine has been proven as a potent ergogenic aid in other sports situations involving high-intensity intermittent exercise, and its effectiveness has been related to a reduced rating of perceived exhaustion⁸ among other mechanisms. The ingestion of 5 to 6 mg/kg of pure anhydrous caffeine has been effective to improve repeated-sprint performance in different sports situations.^{9,10} At present, caffeine is mostly consumed in the sports setting via caffeinated energy drinks,¹¹ and several investigations have analyzed the outcomes derived from the ingestion of these beverages. The ingestion of 3 mg/kg of caffeine in the form of an energy drink increased total running distance and sprint running distance in soccer,^{12,13} rugby sevens,¹⁴ and simulated traditional rugby competitions.¹⁵ In addition, caffeinated energy drinks with the same dose were effective to improve leg-muscle power output in soccer players.^{12,13} Finally, caffeine (3–6 mg/kg) ingestion has been found effective to increase upper-body muscle performance.^{16,17} Despite the scarce research about caffeine in tennis, findings from other skill-based sports encourage further research into this topic.¹⁸ The aim of this investigation was to determine the effect of a caffeinated energy drink on physical performance in elite junior tennis players. We hypothesized that 3 mg of caffeine per kilogram of body mass in the form of an energy drink would increase muscle strength, sprint

Gallo-Salazar, Areces, Abián-Vicén, Lara, Salinero, Gonzalez-Millán, and Del Coso are with the Exercise Physiology Laboratory, Camilo José Cela University, Madrid, Spain. Portillo, Muñoz, and Juárez are with the Sports Training Laboratory, University of Castilla La Mancha, Toledo, Spain. Address author correspondence to Juan Del Coso at jdelsoso@ucj.edu.

performance, and serve velocity, which, in turn, would increase the percentage of points won during a competition.

Methods

Subjects

Fourteen young and healthy tennis players (10 male and 4 female) volunteered to participate in this investigation. All participants were elite junior players included in the excellence program of the Madrid Tennis Federation. They had a mean \pm SD age of 16.36 ± 1.15 years, height of 174.4 ± 9.5 cm, body mass of 65.2 ± 10.6 kg, and body fat of $11.9\% \pm 4.6\%$. All participants were light caffeine consumers (less than 1 can of soda or energy drink per day) and had no previous history of cardiopulmonary disease. Furthermore, they were not taking medications for the duration of the study. One week before the onset of the investigation, the players' parents/guardians and the technical staff of the tennis federation were fully informed of the risks and discomforts associated with the investigation and gave their informed written consent to allow the junior players to participate. The study was approved by a research ethics committee in accordance with the latest version of the Declaration of Helsinki.

Experimental Design

A double-blind, placebo-controlled, and randomized experimental design was used in this experiment. Tennis players took part in 2 experimental trials carried out in the same outdoor tennis facility and under the same experimental conditions. In 1 trial, players ingested a powdered caffeine-containing energy drink (Fure, ProEnergetics, Spain) dissolved in 250 mL of tap water. The amount of energy drink was individually set to provide a dose of 3 mg of caffeine per kilogram body mass. In another trial, players ingested an identical drink with no caffeine content (placebo). The beverages were ingested 60 minutes before the onset of the experimental trials to allow caffeine absorption and were provided in opaque plastic bottles to prevent identification. Both the caffeinated energy drink and the placebo drink contained a slight amount of carbohydrate (6.6 mg/kg in the form of maltodextrin) to sweeten the taste of the drinks, but the energy provided with this ingredient was negligible (~ 2 kcal). Both experimental beverages also contained taurine (18.7 mg/kg), sodium bicarbonate (4.7 mg/kg), and L-carnitine (1.9 mg/kg), but these substances were ingested in identical proportions in the 2 experimental trials. During the testing, air temperature was $18.0^\circ\text{C} \pm 1.3^\circ\text{C}$ and relative humidity was $31\% \pm 5\%$, and they were similar during both trials.

The experimental trials were separated by 1 week to allow complete recovery and caffeine washout. In each experimental trial, 7 players received the caffeinated energy drink and 7 players received the placebo drink. An alphanumeric code was assigned to each trial to blind participants and investigators to the drink tested. This code was only accessible to the researchers after the analysis of the variables.

Experimental Protocol

Two days before the first experimental trial, the tennis players were nude-weighted to calculate the energy-drink dose, and their body-fat percentage was also calculated using 6 skin folds. On this day, participants were encouraged to refrain from all dietary sources of caffeine, alcohol, or stimulants for the duration of the study. Twenty-four hours before each experimental trial, participants refrained from strenuous exercise and adopted a similar diet and

fluid-intake regimen. They mimicked their habitual routines before competition. Participants had a precompetition meal 3 hours before the start of each test. These standardizations were reported to the technical staff of the team, and food and fluid diaries were obtained to confirm compliance.

At 11 AM, participants arrived at their habitual training facility and the experimental beverage was individually provided in coded bottles. Players ingested the beverage in its entirety, and investigators ensured that players drank only from their own labeled bottle. Then, the players were nude-weighted (Radwag, Poland) and dressed in their competition clothes. They also wore a GPS/accelerometer/heart-rate device inserted in an adjustable neoprene harness (GPS, SPI PRO X, GPSports, Australia), and a heart-rate monitor (Polar T34, Finland) was attached to their chests. Participants verified that the harness did not hinder their habitual movements during tennis play, and the heart-rate monitor was adjusted with tape to prevent movement.

Participants then performed a 30-minute standardized warm-up including continuous running followed by dynamic stretching exercises for the upper and lower limbs and specific tennis exercises (rallies and serves). Just 60 minutes after the completion of the beverage intake, participants performed a handgrip maximal-force-production test with both hands (Grip-D, Takei, Japan). After 3 minutes, they performed 3 maximal-velocity serves with a 10-second rest period between repetitions. In the serving test, the players had to perform a maximal flat first service. Ball velocity was measured by a radar gun (ATS, Stalker, USA) placed 3 m behind the tennis player. Tennis services touching the net, called out, or called in but with the ball touching the ground 0.5 m from the T were considered invalid and were repeated. The maximal and mean velocities of 3 valid services were used for statistical analysis.

Five minutes later, participants performed an 8×15 -m-sprint test at maximal running velocity with 20 seconds of active recovery between repetitions. The test was carried out on a synthetic-surface tennis court. Verbal instructions were given to indicate the onset of each sprint, and oral feedback was given by the technical staff to encourage players to produce maximal performance in each repetition. Instantaneous running velocity was measured by means of the GPS device. The GPS was set to measure the velocity at a frequency of 5 Hz. The maximal velocity obtained during each sprint and the mean velocity for the 8 sprints was used for statistical analysis. Good reliability of the GPS to assess maximal running speed during sprint tests has been previously reported (coefficient of variation of 1.2%).¹⁹

Fifteen minutes after the tennis-specific testing, players participated in a simulated singles match played on an official tennis court against an equally ranked opponent. The game followed the rules of the International Tennis Federation, and 1 treatment-blinded coach acted as referee to make decisions on play disputes during the game. During the experimental trials, the same 2 participants took part in each match to avoid the effects of the opponent's level on the results of the investigation. The outcome of the tennis match was determined through a best-of-3-sets system. During the games, the GPS device and heart-rate monitor continuously recorded data on distance covered, instantaneous running speed, player impact data, and heart rate at 5 Hz. Because the matches were of different duration, the activity patterns of the tennis players are presented as per hour of play. The tennis players wore the same GPS unit for both experimental trials to reduce measurement error.²⁰ With the GPS devices, the coefficient of variation for measuring movement demands in different sports players has been found to be $\sim 2\%$.^{19,21} although distance and speed recordings might be slightly underestimated when compared with camera motion-analysis systems.²²

The games were recorded using 2 diagonally set video cameras (Handycam HDR-XR200VE, Sony, Spain), and each game point was notated afterward. The winner of each point, the concurrence of first or second service, and the amount of double faults and aces were analyzed. Since the matches had a different number of points, all these data are presented as percentages. After testing, postexercise nude body weight was recorded. During each experimental trial, players drank water ad libitum only from their own individually labeled bottles. Fluid intake rate was measured from the change in bottle weight using a 1-g-sensitive scale (Delicia, Tefal, France). Sweat rate was estimated from body-mass change, total fluid intake, and experimental-trial duration.

Statistical Analysis

The results are presented as mean \pm SD for 14 elite junior tennis players. Normality was tested for all variables with the Shapiro-Wilk test. All the variables presented a normal distribution in this test ($P > .05$). Differences between experimental beverages were determined using paired t tests. Maximal running speed during the 8×15 -m-sprint test was analyzed using a 2-way ANOVA (beverage \times repetition) with repeated measures. After a significant F test (Geisser-Greenhouse correction for the assumption of sphericity), differences between means were identified using the Tukey honestly significant difference post hoc test. The data were analyzed with the statistical package SPSS v 20.0 (SPSS Inc, Chicago, IL). The significance level was set at $P < .05$.

Results

In comparison with the placebo drink, the preexercise ingestion of the caffeinated energy drink increased handgrip force by $4.0\% \pm 7.2\%$ in the right hand and by $4.3\% \pm 7.2\%$ in the left hand ($P < .05$, Table 1). The energy drink tended to increase maximal and mean running speed during the repeated-sprint test, although the differences did not reach statistical significance (Table 1). However, the energy drink did not improve maximal or mean ball velocity during the serving test (Table 1).

During the simulated match, the mean running pace was similar with the ingestion of the caffeinated energy drink and the placebo drink (Table 2). To analyze tennis players' movement patterns during the match, we set 5 speed categories (Figure 1). In comparison with the placebo drink, the use of the caffeinated energy drink produced a significant rise in running pace in zone 5 (eg, high-intensity running; $P < .05$), while there was no difference in the remaining zones. The number of sprints during the game was increased by $9.0\% \pm 4.5\%$ ($P < .05$) with the energy drink, although the peak running speed achieved during the game and the number of body impacts were not different between the experimental trials (Table 2). In addition, mean and maximal heart rate during the competition game were unaffected by the ingestion of the energy drink. During the match, sweat rate was slightly higher in the caffeinated-energy-drink trial, producing significantly higher dehydration ($P < .05$). The rehydration rate during the game was not significantly affected by the experimental drinks (Table 2).

Table 1 Handgrip Force, Ball-Serve Velocity, and Maximal and Mean Running Speed During an 8×15 -m-Sprint Test With the Ingestion of a Caffeinated Energy Drink (3 mg Caffeine/kg Body Weight) or the Same Drink Without Caffeine (Placebo)

Variable	Placebo drink	Energy drink	Δ (%)	P
Right handgrip force (N)	387 \pm 83	402 \pm 83	+4.0 \pm 7.2	.03
Left handgrip force (N)	348 \pm 76	361 \pm 74	+4.3 \pm 7.2	.03
Maximal serve velocity (m/s)	42.6 \pm 4.8	42.7 \pm 5.0	+0.2 \pm 3.2	.49
Mean serve velocity (m/s)	41.6 \pm 5.1	41.4 \pm 5.2	+0.4 \pm 3.1	.41
Maximal running speed (km/h)	22.3 \pm 2.0	22.9 \pm 2.1	+2.9 \pm 1.8	.07
Mean running speed (km/h)	20.7 \pm 2.2	21.3 \pm 1.5	+3.8 \pm 3.1	.12

Table 2 Physical Performance and Physiological Variables During a Best-of-3-Sets Tennis Match With the Ingestion of a Caffeinated Energy Drink (3 mg Caffeine/kg Body Weight) or the Same Drink Without Caffeine (Placebo)

Variable	Placebo drink	Energy drink	Δ (%)	P
Distance (m/h)	3058 \pm 620	2904 \pm 430	-5.0 \pm 3.2	.24
Sprints (number/h)	12.1 \pm 1.7	13.2 \pm 1.7	+9.0 \pm 4.5	.05
Peak running velocity (km/h)	19.5 \pm 2.3	20.5 \pm 2.8	+5.1 \pm 5.2	.44
Body impact >5 g (number/h)	2624 \pm 742	2491 \pm 566	-5.0 \pm 3.2	.21
Mean heart rate (beats/min)	143 \pm 3	144 \pm 4	+1.4 \pm 3.8	.35
Maximal heart rate (beats/min)	181 \pm 3	178 \pm 4	-1.7 \pm 6.0	.44
Sweat rate (L/h)	0.5 \pm 0.3	0.7 \pm 0.3	+33.5 \pm 10.6	.04
Dehydration (%)	0.1 \pm 0.5	0.2 \pm 0.4	—	.04
Rehydration rate (L/h)	0.5 \pm 0.3	0.6 \pm 0.3	+17.8 \pm 6.6	.41

Table 3 depicts the notational analysis during the best-of-3-sets simulated tennis match. The caffeinated energy drink increased the percentage of total points won during the game, although this effect was not statistically significant. Furthermore, there was a tendency for a higher percentage of points won when players were at service with the caffeinated energy drink ($P = .07$). The proportion of points won when the players were receiving was similar between experimental trials. The amount of first serves “in,” double faults, and aces was minimally affected by ingestion of the caffeinated energy drink.

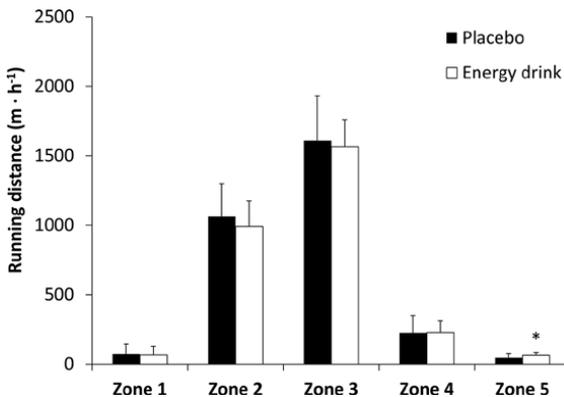


Figure 1 — Running paces covered at different speeds during a best-of-3-sets tennis match with the ingestion of a caffeinated energy drink (3 mg caffeine/kg body weight) or the same drink without caffeine (placebo drink) for 14 elite junior tennis players, mean \pm SD. Standing and walking (zone 1 = 0–6 km/h); jogging (zone 2 = 6–12 km/h); cruising (zone 3 = 12–14 km/h); striding (zone 4 = 14–18 km/h); high-intensity running (zone 5 >18 km/h). *Different from placebo drink ($P < .05$).

Discussion

The aim of this investigation was to determine the effectiveness of a caffeine-containing energy drink to enhance the physical performance of elite junior tennis players. In comparison with a placebo drink, the preexercise ingestion of 3 mg/kg of caffeine in the form of an energy drink increased handgrip force by $-4.2\% \pm 7.2\%$ in both hands, while the maximal and mean running speed during a tennis-specific sprint test tended to be improved (Table 1). Although the distance covered during a best-of-3-sets match was unaffected by the caffeinated energy drink, the running pace at high intensity and the number of sprints were increased (Figure 1 and Table 2) during this trial. In addition, the percentage of points won when players were serving tended to be higher with the caffeinated energy drink, while the proportion of points won on return was unaffected by the drink (Table 3). All this information suggests that caffeinated energy drinks might be an ergogenic aid to increase some aspects of physical performance in tennis.

Few studies have previously investigated the effects of caffeine on tennis performance.^{4,6,7,23} The results are contradictory because of the difference in the dose used (from 3 to 8 mg/kg), the testing protocols (simulated tennis, ball-machine test), the coingestion of other substances (carbohydrates), or even the players' genetics (CYP1A2 polymorphism). With this previous research, it is difficult to acknowledge the benefits of caffeine on tennis performance since the positive effects obtained with this substance (enhanced serve velocity and successful shots) are mixed with the outcomes in which caffeine had no positive effect on performance (stroke accuracy and velocity, running sprint velocity, etc).

The present investigation is the first study to examine the effects of caffeinated energy drinks on elite junior tennis players' performance, and it offers new information about the ergogenicity of caffeine in tennis. We tested the effects of a caffeinated energy drink during tennis-specific testing, and this beverage produced enhanced handgrip muscle strength in both dominant and nondominant upper limbs. Previous investigations confirm the effectiveness of caffeine to improve upper-body strength^{16,17} with similar doses. On the con-

Table 3 Notational Analysis of a Best-of-3-Sets Tennis Match With the Ingestion of a Caffeinated Energy Drink (3 mg Caffeine/kg Body Weight) or the Same Drink Without Caffeine (Placebo)

Variable	Placebo drink	Energy drink	Δ (%)	P
Total points won (%)	48.3 \pm 7.2	51.8 \pm 6.8	+15.0 \pm 23.2	.16
First serves in (%)	55.5 \pm 7.9	59.8 \pm 10.9	+16.3 \pm 24.2	.13
Double fault (%)	8.6 \pm 3.9	7.6 \pm 3.8	—	.44
Ace (%)	6.1 \pm 7.8	4.7 \pm 4.6	—	.23
Points won on serve (%)	49.7 \pm 9.8	56.4 \pm 10.0	+20.9 \pm 8.1	.07
First serves won (%)	59.7 \pm 12.2	68.0 \pm 13.9	+23.2 \pm 8.2	.07
Second serves won (%)	36.4 \pm 10.2	38.7 \pm 14.9	+15.0 \pm 15.9	.32
Points won on return (%)	46.8 \pm 9.2	50.4 \pm 12.3	+3.4 \pm 15.3	.26

Note: Total points won is the number of points won divided by the total points played; first serves in is the number of first serves placed “in” divided by total first serves performed; points on service is the number of points won on service divided by the total number of points performed on service; first serves won is the number of points won on first serve divided by total number of first serves; second serves won is the number of points won on second serve divided by total number of second serves available; points on return is the number of receiving points won divided by the total number of points when the player was receiving.

trary, the caffeinated energy drink was ineffective to increase serve velocity (Table 1). While we tested serve velocity before the tennis match, previous investigations have found that caffeine can overcome the progressive reduction in serve velocity during fatiguing tennis,⁴ which might explain the difference between investigations. Finally, the energy drink tended to increase the maximal running speed during an 8 × 15-m-sprint test. This result agrees with the outcomes found in other sports situations^{9,10,12} and overall suggests an improved physical fitness after the ingestion of the energy drinks.

This investigation presents some novelties in comparison with previous ones. To our knowledge, this is the first investigation to assess the effects of caffeine on tennis players' movement patterns by using GPS devices. This methodology allows the measurement of activity patterns during real play, while the position and size of the GPS unit do not hinder tennis-specific actions. We have found that elite junior tennis players cover 3058 ± 620 m per hour of play, which agrees with running distances found in advanced veteran tennis players.²⁴ Contrary to our hypothesis, caffeine did not modify the running pace during the match, as has happened in other skill-based sports.^{12,14,15}

Figure 1 presents the distribution of the running activities using 5 speed categories. This classification was based on Castagna, D'Ottavio, and Abt,²⁵ who categorized activity profiles of young soccer players by using 6 speed zones. However, we have merged the 2 final speed categories because the tennis-court dimensions are much smaller than a soccer field, and obtaining high-speed running bouts is less frequent in tennis. From the total running movements, players performed most activities at medium intensity (Figure 1), as previously found by time–motion analysis of tennis matches.²⁴ This might be related to the continuous pauses and breaks allowed between points and games. However, the ability to maintain high-intensity exercise is a key variable for success in contemporary tennis,²⁶ suggesting that the running activities in zone 5 are the most important for this sport. The ingestion of the energy drink increased the running distance covered in zone 5 (eg, high-intensity running) and the number of sprint bouts during the tennis match. Although the energy drink did not affect the overall running distance during a tennis match and minimally changed the distribution of running activities per speed zone, it increased high-intensity running, which in turn might represent a key advantage for tennis performance.

A second novelty of this investigation is related to the assessment of the effects of caffeine during a best-of-3-sets tennis match against an equally ranked opponent and the notational analysis performed afterward. The preexercise ingestion of the caffeinated energy drink increased by 15.0% ± 23.2% the points won during the match compared with the placebo drink, although this effect did not reach statistical significance (Table 3). A similar result has been previously obtained in tennis,⁵ although these benefits were only found in a subsample of female tennis players. The notational analysis also revealed that the energy drink's effects on tennis performance were related to games when the players were serving, especially when players were performing their first service (Table 3). On the contrary, caffeine was not effective to increase the likelihood of winning a point when the players were receiving. In a recent investigation with male volleyball players, it was found that the ingestion of a caffeinated energy drink increased the number of actions classified as successful during a simulated competition, without affecting the number of player errors.²⁷ All this information suggests positive effects of caffeine or caffeine-containing nutritional products on match performance.

Practical Applications

Junior tennis players typically encounter too much pressure to accomplish extraordinary results while seeking a successful career at elite level. Sometimes, young athletes' attitudes point toward using performance-enhancing substances, and energy drinks are among the most-consumed products in this population. Besides, most investigations about caffeine or caffeine-containing drinks had been based on adult athletes' responses, while the information about the effects of these beverages on young athletes is scarce. The present investigation focused on the effects of a commercially available energy drink on junior elite tennis players. This investigation confirms that the preexercise ingestion of an energy drink could be a nutritional aid to increase several physical factors associated with tennis success in junior players, as happens in the adult population. However, some other studies have also revealed that athletes typically report increased nervousness and insomnia during the hours after ingestion of caffeinated energy drinks.^{13,14} Thus, the recommendation of caffeinated energy drinks for junior athletes should take into consideration these negative side effects.

Conclusions

The preexercise ingestion of a caffeinated energy drink with 3 mg/kg of caffeine increased handgrip force and high-intensity running and tended to increase the percentage of points won on service during a simulated tennis match of elite junior players. Thus, the use of energy drinks could be a nutritional strategy to increase physical tennis performance in young players.

Acknowledgments

The authors wish to thank the participants for their invaluable contribution to the study. The authors also want to thank Ana Salas and Juan Luis Rascon, on behalf of the Madrid Tennis Federation, for their help in participant recruiting and testing, as well as for the use of their facilities for the study.

The authors declare that they have no conflict of interest derived from the outcomes of this study.

This study did not receive any funding.

References

1. Fernandez-Fernandez J, Sanz-Rivas D, Mendez-Villanueva A. A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. *Strength Cond J*. 2009;31(4):15–26. doi:10.1519/SSC.0b013e3181ada1cb
2. Kovacs MS. Tennis physiology: training the competitive athlete. *Sports Med*. 2007;37(3):189–198. PubMed doi:10.2165/00007256-200737030-00001
3. DeL Coso J, Munoz-Guerra J. Prevalence of caffeine use in elite athletes following its removal from the World Anti-Doping Agency list of banned substances. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2011;36(4):555–561.
4. Vergauwen L, Brouns F, Hespel P. Carbohydrate supplementation improves stroke performance in tennis. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(8):1289–1295. PubMed doi:10.1097/00005768-199808000-00017
5. Ferrauti A, Weber K, Struder HK. Metabolic and ergogenic effects of carbohydrate and caffeine beverages in tennis. *J Sports Med Physical Fitness*. 1997;37(4):258–266. PubMed

6. Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young WB. Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. *Int J Sports Physiol Perform.* 2007;2(4):423–438. PubMed
7. Klein CS, Clawson A, Martin M, et al. The effect of caffeine on performance in collegiate tennis players. *J Caffeine Res.* 2012;2(3):111–116. doi:10.1089/jcr.2012.0019
8. Killen LG, Green JM, O'Neal EK, McIntosh JR, Hornsby J, Coates TE. Effects of caffeine on session ratings of perceived exertion. *Eur J Appl Physiol.* 2013;113(3):721–727. PubMed doi:10.1007/s00421-012-2480-z
9. Glaister M, Howatson G, Abraham CS, et al. Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(10):1835–1840. PubMed doi:10.1249/MSS.0b013e31817a8ad2
10. Stuart GR, Hopkins WG, Cook C, Cairns SP. Multiple effects of caffeine on simulated high-intensity team-sport performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(11):1998–2005. PubMed doi:10.1249/01.mss.0000177216.21847.8a
11. Hoffman JR. Caffeine and energy drinks. *Strength Cond J.* 2010;32(1):15–20. doi:10.1519/SSC.0b013e3181bdafa0
12. Del Coso J, Munoz-Fernandez VE, Munoz G, et al. Effects of a caffeine-containing energy drink on simulated soccer performance. *PLoS ONE.* 2012;7(2):e31380. PubMed doi:10.1371/journal.pone.0031380
13. Lara B, Gonzalez-Millan C, Salinero JJ, et al. Caffeine-containing energy drink improves physical performance in female soccer players. *Amino Acids.* 2014;46(5):1385–1392. PubMed doi:10.1007/s00726-014-1709-z
14. Del Coso J, Portillo J, Munoz G, Abian-Vicen J, Gonzalez-Millan C, Munoz-Guerra J. Caffeine-containing energy drink improves sprint performance during an international rugby sevens competition. *Amino Acids.* 2013;44(6):1511–1519. PubMed doi:10.1007/s00726-013-1473-5
15. Del Coso J, Ramirez JA, Munoz G, et al. Caffeine-containing energy drink improves physical performance of elite rugby players during a simulated match. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2013;38(4):368–374.
16. Bazzucchi I, Felici F, Montini M, Figura F, Sacchetti M. Caffeine improves neuromuscular function during maximal dynamic exercise. *Muscle Nerve.* 2011;43(6):839–844. PubMed doi:10.1002/mus.21995
17. Del Coso J, Salinero JJ, Gonzalez-Millan C, Abian-Vicen J, Perez-Gonzalez B. Dose response effects of a caffeine-containing energy drink on muscle performance: a repeated measures design. *J Int Soc Sports Nutr.* 2012;9(1):21. PubMed doi:10.1186/1550-2783-9-21
18. Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young W. Fatigue in tennis: mechanisms of fatigue and effect on performance. *Sports Med.* 2007;37(3):199–212. PubMed doi:10.2165/00007256-200737030-00002
19. Barbero-Álvarez JC, Coutts A, Granda J, Barbero-Álvarez V, Castagna C. The validity and reliability of a global positioning satellite system device to assess speed and repeated sprint ability (RSA) in athletes. *J Sci Med Sport.* 2010;13(2):232–235. PubMed doi:10.1016/j.jsams.2009.02.005
20. Jennings D, Cormack S, Coutts AJ, Boyd LJ, Aughey RJ. Variability of GPS units for measuring distance in team sport movements. *Int J Sports Physiol Perform.* 2010;5(4):565–569. PubMed
21. Coutts AJ, Duffield R. Validity and reliability of GPS devices for measuring movement demands of team sports. *J Sci Med Sport.* 2010;13(1):133–135. PubMed doi:10.1016/j.jsams.2008.09.015
22. Vickery WM, Dascombe BJ, Baker JD, Higham DG, Spratford WA, Duffield R. Accuracy and reliability of GPS devices for measurement of sports-specific movement patterns related to cricket, tennis, and field-based team sports. *J Strength Cond Res.* 2014;28(6):1697–1705.
23. Struder H, Ferrauti A, Gotzmann A, Weber K, Hollmann W. Effect of carbohydrates and caffeine on plasma amino acids, neuroendocrine responses and performance in tennis. *Nutr Neurosci.* 1999;1:419–426.
24. Fernandez-Fernandez J, Sanz-Rivas D, Sanchez-Munoz C, Plum BM, Tiemessen I, Mendez-Villanueva A. A comparison of the activity profile and physiological demands between advanced and recreational veteran tennis players. *J Strength Cond Res.* 2009;23(2):604–610.
25. Castagna C, D'Ottavio S, Abt G. Activity profile of young soccer players during actual match play. *J Strength Cond Res.* 2003;17(4):775–780.
26. Mendez-Villanueva A, Fernandez-Fernandez J, Bishop D, Fernandez-Garcia B, Terrados N. Activity patterns, blood lactate concentrations and ratings of perceived exertion during a professional singles tennis tournament. *Br J Sports Med.* 2007;41(5):296–300, discussion 300. PubMed doi:10.1136/bjism.2006.030536
27. Del Coso J, Perez-Lopez A, Abian-Vicen J, Salinero JJ, Lara B, Valades D. Enhancing physical performance in male volleyball players with a caffeine-containing energy drink. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(6):1013–1018. <http://dx.doi.org/10.1123/ijspp.2013-0448>

