

ANÁLISIS METABÓLICO Y ESTRUCTURAL DEL TENIS DE MESA

Prof. Dr. Francisco Pradas de la Fuente, José Manuel Pinilla Vela y Carlos Castellar Otín
Académico Universidad de Zaragoza. España.
Dpto. Expresión Musical, Plástica y Corporal
Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte
Correspondencia franprad@unizar.es

METABOLIC AND STRUCTURAL ANALYSIS OF TABLE TENNIS

Resumen

El tenis de mesa de elite es un deporte técnicamente complejo y exigente a nivel físico y fisiológico. Durante su juego se realizan de manera coordinada diferentes acciones técnico-tácticas a máxima velocidad que implican continuos cambios de dirección. El objetivo de este estudio consistió en investigar los indicadores metabólicos y estructurales que definen el tenis de mesa actual. Una muestra de 10 jugadores de elite (edad = $25,7 \pm 2,2$ años) de estilo de juego ofensivo fueron sometidos a una prueba de esfuerzo y a una competición simulada. Los datos hallados revelan frecuencias cardiacas de $135 \pm 7,9$ l.min⁻¹ con picos máximos de 177 l.min⁻¹ y niveles de lactato de 1,1-2,9 mmol·l⁻¹. El análisis de la competición indica que un jugador recorre una distancia de $514,5 \pm 213,1$ metros en un partido de $38,1 \pm 15,6$ minutos. La duración de las jugadas ha sido de $3,86 \pm 1,87$ segundos con una ratio esfuerzo-descanso de 1 : 5. Los datos obtenidos confirman que el tenis de mesa es una disciplina aeróbica-anaeróbica alterna en donde predomina el metabolismo anaeróbico aláctico. El análisis de la estructura temporal sugiere que este deporte es de carácter intermitente, submáximo, con esfuerzos cortos de moderada y alta intensidad. Los resultados obtenidos nos ayudan a conocer con mayor exhaustividad el tenis de mesa actual, permitiéndonos planificar y organizar el entrenamiento de manera más exhaustiva.

Palabras claves: frecuencia cardiaca, lactato, consumo de oxígeno, análisis temporal, golpes, desplazamientos.

Abstract

Table tennis is a technically complex game with high physical and physiological efforts. Coordinated high speed technical-tactical actions take place during competitions inducing continuous direction changes. The aim of this study was to analyze the metabolic parameters and the game structure of modern table tennis. A sample of 10 male players (age = 25.7 ± 2.2 years) with offensive style were involved into a simulated competition and a treadmill test. The data recorded revealed heart rates of 135 ± 7.9 b.min⁻¹ with a peak of

177 b.min⁻¹ and lactate levels of 1.1-2.9 mmol·l⁻¹. Match evaluation revealed that table tennis players covered a distance of 514.5±213.1 meters during a game of 38.1±15.6 minutes. The duration of matches was 3.86±1.87 seconds with a rest effort ratio of 5 : 1. The results achieved confirm that table tennis is an aerobic-anaerobic game where alactic anaerobic metabolism is predominant. Time structure analysis revealed that table tennis is an intermittent submaximum sport with highland moderate intensity efforts. These results are useful to understand modern table tennis helping us to organize and plan training more exhaustively.

Keywords: heart rate, lactate, oxygen consumption, temporal analysis, strokes, footwork.

Introducción

El tenis de mesa es un deporte muy popular que en la última década ha experimentado un gran progreso, modificándose su reglamentación y provocando que este deporte se haya modernizado, desarrollándose en la actualidad un juego de mayor atractivo. El tenis de mesa aparece por primera vez como deporte de exhibición en unos Juegos Olímpicos en Seúl 1988 incorporándose definitivamente como disciplina olímpica en Barcelona 1992. Su juego se desarrolla en una mesa rectangular de 2,74 metros (m) de largo por 1,525 m de ancho, elevada a 76 centímetros (cm) del suelo y separada en su centro por una red de 15,25 cm de altura. El material reglamentario utilizado para su práctica se compone de una pelota de 40 mm de diámetro y 2,7 gramos (g) de peso y una pala con una masa aproximada de 171 g, incluyendo 79,5 g de dos revestimientos de caucho adheridos en ambas superficies de la pala (Kawazoe & Suzuki, 2004). El conjunto de la madera y los revestimientos son los elementos esenciales de este deporte ya que definen el estilo de juego (ofensivo, defensivo o mixto), la técnica y la táctica a desarrollar por el jugador.

Durante un partido de tenis de mesa se producen continuas acciones técnico-tácticas de carácter explosivo, corta duración y mediana o alta intensidad, con recuperaciones incompletas entre jugadas. Los requerimientos necesarios para conseguir óptimos niveles de rendimiento en este deporte, independientemente de si se efectúa un estilo de juego ofensivo o defensivo, son ciertamente exigentes y complejos como consecuencia de la extrema velocidad a la que se desarrolla su juego. En partidos de alta competición se han llegado a medir velocidades de traslación de la pelota próximas a los

120 km·h⁻¹ que en situaciones determinadas pueden superar los 160 km·h⁻¹ (Major & Lang, 2004; Tang, Mizoguchi, & Toyoshima, 2003). Teniendo en consideración las reducidas dimensiones de la mesa de juego y la elevada velocidad a la que se desarrolla la competición, un jugador dispone de tan solo una fracción de segundo para simultáneamente analizar la situación que se le presenta y actuar con la mayor precisión posible (Ripoll, 1989). Con estas condiciones de juego el tenis de mesa se puede definir como un deporte que se caracteriza por poseer una gran complejidad a nivel técnico-táctico por su elevado contenido bioinformativo y biomecánico (Pradas, 2002).

El objetivo fundamental del tenis de mesa se centra en realizar una acción técnica más que el rival con el principio táctico de dirigir la pelota hacia un espacio libre lejos del oponente como regla más elemental de juego (Pradas, 2002). Estas acciones de juego se realizan durante un periodo de tiempo que puede comprender desde unas décimas de segundo (s) hasta incluso superar los 20 s en función del estilo de juego desarrollado (Yuza et al., 1992). Este tipo de situaciones motrices son de gran dificultad, ya que requieren un elevado nivel de coordinación al efectuarse de forma explosiva mediante diferentes tipos de desplazamientos, que implican continuos cambios de posición para conseguir una colocación óptima desde la cual golpear la pelota con una determinada carga de rotación y con ciertas garantías de éxito. La resistencia que debe vencer el tren superior al impactar sobre la pelota es relativamente pequeña, sin embargo supone un esfuerzo muscular muy severo para el tren inferior motivado por el grado de aceleración y desaceleración que se requiere para posicionarse correctamente, golpear el móvil y regresar a una posición ideal dentro del área de juego, todo ello desplazándose a máxima velocidad e implicando a las manifestaciones de fuerza activa (fuerza explosiva) y reactiva (elástico-explosiva) de los miembros inferiores (Pradas, de Teresa y Vargas, 2005).

Considerando lo expuesto hasta el momento no cabe la menor duda de que son múltiples los factores físicos, fisiológicos, psicológicos, técnicos y tácticos que intervienen de manera integrada durante las diferentes acciones de juego que se producen en este deporte. Sin lugar a dudas, el conocimiento del tipo de esfuerzo y la intensidad a la que se desarrolla el tenis de mesa, puede considerarse como uno de los aspectos que nos puede permitir valorar y estimar el perfil competitivo necesario para orientar la preparación física, planificando los medios y los métodos de entrenamiento más eficaces para optimizar el rendimiento en esta disciplina olímpica. En este sentido, el objetivo de esta investigación

se centra en estudiar los indicadores metabólicos y analizar la estructura de juego que define a este deporte como consecuencia de su relevancia para conocer la carga fisiológica que soporta un jugador cuando practica el tenis de mesa a un alto nivel.

Método

Participantes

Una muestra de 10 jugadores españoles de tenis de mesa de estilo ofensivo y de alto nivel, con una edad de $25,7 \pm 2,2$ años participaron de manera voluntaria en este estudio. Los deportistas seleccionados tenían una experiencia media de $13,8 \pm 5$ años y entrenaban un mínimo de 21 ± 3 horas por semana en mesa, compitiendo de manera regular durante los últimos cinco años en la Superdivisión (liga de la máxima categoría española), y en pruebas de carácter internacional organizadas por la European Table Tennis Union y la ITTF. Todos los jugadores analizados se encontraban clasificados en el momento de realización del estudio entre los 16 primeros puestos del ranking nacional absoluto, encontrándose dos deportistas situados a nivel internacional entre los 150 mejores jugadores del mundo según el ranking oficial de la ITTF.

Antes de su participación en el estudio todos los deportistas fueron informados de manera verbal del procedimiento a seguir en esta investigación, tras lo cual dieron su consentimiento por escrito. Esta investigación fue aprobada por el Comité Ético de Investigación Clínica del Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud del Gobierno de Aragón.

Procedimiento

Todos los deportistas objeto de estudio realizaron dos protocolos de esfuerzo durante la investigación. En primer lugar se efectuó una prueba de campo específica en donde se disputaba un partido de tenis de mesa. Una semana después se realizaba una prueba de esfuerzo máxima no específica sobre un tapiz rodante. Ambas pruebas se desarrollaron en unas condiciones de humedad y temperatura de $48 \pm 2,6\%$ y $22 \pm 0,8$ grados centígrados respectivamente.

Los valores fisiológicos máximos se obtuvieron mediante la monitorización de la prueba de esfuerzo. El protocolo fue de tipo continuo e incremental hasta el agotamiento realizándose sobre un tapiz rodante modelo Pulsar HP (Cosmos, Nussdorf, Alemania). El protocolo de la prueba consistió en un calentamiento preliminar sobre el ergómetro de cinco minutos a una velocidad de $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, iniciándose el test a una velocidad de $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$

con incrementos de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto y con una pendiente constante del 1%. Durante la ergometría fueron registrados los niveles de respuesta cardiaca, el consumo de oxígeno y la lactacidemia máxima. Los valores correspondientes a los registros cardiacos y a la recogida de gases espirados se efectuaron mediante determinación directa utilizándose un cardiofrecuenciómetro Cosmos (Nussdorf, Alemania) y un analizador Oxycon Pro (Jaegger, Alemania) respectivamente. Se utilizó un método fotoenzimático portátil para analizar la concentración de lactato (Dr. Lange LP-20, Berlín, Alemania).

Una semana antes de la realización del test máximo en laboratorio los jugadores efectuaron un test de campo que consistía en disputar, en un ambiente bajo control, un partido en donde se reproducía una situación competitiva similar a una de carácter oficial. La competición simulada se diseñó al mejor de siete juegos, con la finalidad de registrar la respuesta fisiológica máxima posible alcanzada durante un partido de tenis de mesa de alto nivel de carácter internacional. Antes de disputarse los partidos los deportistas realizaron un calentamiento estandarizado de 15 minutos de duración. Los 3 primeros minutos correspondían a actividad física genérica y los 12 minutos restantes a la realización de un calentamiento específico en mesa que consistía en la ejecución de golpes sin efecto y golpes de ataque con efecto liftado (técnica top-spin) en la diagonal natural, con una duración de 4 minutos respectivamente (2 min de derecha y 2 de revés), 2 minutos de juego corto próximo a la red y 2 minutos de juego libre con servicio.

Previo al calentamiento se tomó una muestra de sangre capilar de $10 \mu\text{l}$ del lóbulo de la oreja para establecer los niveles de lactato basales. Durante los partidos se determinaron nuevos valores de lactato tomándose muestras de sangre a la finalización de cada juego y en los minutos 1, 3 y 5 del periodo de recuperación. Los valores correspondientes a la frecuencia cardiaca (FC) fueron registrados en la competición simulada cada cinco segundos de manera telemétrica utilizando un pulsómetro Polar S-610 (Polar Electro Oy, Kempele, Finlandia). Los registros cardiacos obtenidos para cada deportista fueron la FC máxima ($FC_{\text{máx}}$), mínima ($FC_{\text{mín}}$) y media (FC_{med}) de cada juego y de todo el partido. Los partidos se jugaron en mesas Centrefold 25[®] (Butterfly, Japón), con redes Elite clip[®] (Butterfly, Japón) y empleando un kit de tres bolas nuevas (Nittaku, Japón) para cada partido. Todos los materiales de juego utilizados estaban homologados por la ITTF.

El protocolo de la investigación incluía la filmación de la competición simulada registrándose todos los partidos mediante cuatro cámaras de vídeo digitales (Sony HDR-CX300E), alejadas de la mesa a una distancia mínima de tres metros de su lateral y elevadas sobre unos soportes telescópicos (Manfrotto-007U) a dos metros y medio de altura. Para la grabación la mesa de juego se dividió en dos mitades independientes, cada una de ellas enfocada con una cámara (Figura 1). Cada cámara registró una mitad del campo de juego, obteniéndose dos registros temporalmente simultáneos pero diferentes, ya que cada uno de ellos se correspondía con las acciones de juego realizadas por cada uno de los deportistas. Para registrar una imagen nítida de la pelota y evitar errores de apreciación se configuraron las videocámaras con una velocidad de obturación de 1/500 segundos. Con esta velocidad de exposición se consigue que la pelota, aunque se desplace a gran velocidad, se vea congelada.

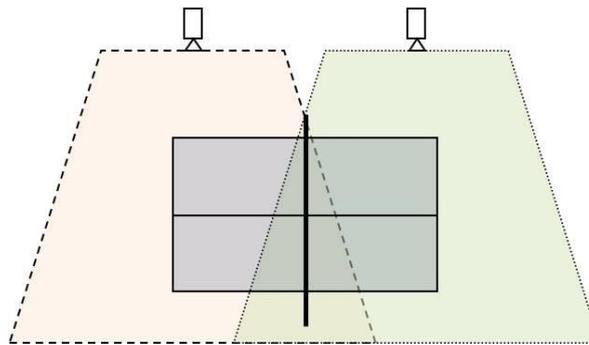


Figura 1. Distribución de las cámaras de vídeo durante la filmación de un partido.

Con la utilización de dos cámaras de vídeo se obtienen dos grabaciones suficientemente claras de las acciones que realiza cada jugador. Con el posterior proceso de sincronización se consigue que ambos vídeos tengan el mismo código de tiempos logrando así que los instantes de grabación de ambas cámaras coincidan a nivel temporal.

Para evaluar las acciones de juego y al igual que en investigaciones de índole similar (Gorospe, Hernández, Anguera y Martínez, 2005; Alonso y Argudo 2008), se diseñó una herramienta observacional ad hoc compuesta por un sistema notacional que comprendía las categorías necesarias a registrar para realizar un efectivo análisis de esta modalidad deportiva. El análisis de los datos obtenidos en las filmaciones se realizó mediante una herramienta de observación previamente validada (Pradas, Floría, González-Jurado, Carrasco y Bataller, 2012), organizada mediante un sistema notacional que permitía estudiar parámetros temporales (tiempos de actuación y pausa) y acciones de juego (tantos disputados, tipo de desplazamientos efectuados y técnicas realizadas) como

indicadores externos más relevantes. Para estimar la distancia recorrida por cada jugador durante la prueba de campo el área de juego se dividió en cuadrículas para crear un sistema de referencias sobre el pavimento.

Análisis estadístico de los datos

El software estadístico utilizado fue el programa SPSS[®] versión 19.0 para Windows (Inc, Chicago, Illinois). Se realizó una estadística descriptiva para obtener las medidas de tendencia central: media, desviación estándar (DS), mínimo y máximo.

Resultados

En la Tabla 1 se presentan las características físicas de la muestra de los jugadores de tenis de mesa que participaron en el estudio.

Tabla 1. Características físicas de la muestra.

	Media (DT)	Mínimo	Máximo
Edad (años)	25,7 ($\pm 2,2$)	22	30
Masa corporal (kg)	72,7 ($\pm 8,1$)	63	85,9
Altura (cm)	178 ($\pm 0,05$)	170	185
Peso graso (%)	11,7 ($\pm 1,8$)	9,8	15,7
IMC (kg/m^2)	23,05 ($\pm 2,1$)	20,4	27,2

Los jugadores registraron durante el protocolo máximo de esfuerzo una $FC_{\text{máx}}$ de $195 \pm 6,1$ latidos por minuto ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$), un consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) de $52,08 \pm 3,3$ $\text{ml}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ y una lactatemia (LA) de $13 \pm 2,88$ $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. La carga máxima movilizada expresada en velocidad fue de $17,7 \pm 1,07$ $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Los datos obtenidos en la prueba de laboratorio nos permiten conocer los valores máximos alcanzados por los deportistas para poder contrastarlos con los alcanzados en la prueba de campo.

Para averiguar las demandas fisiológicas que produce el esfuerzo y la intensidad a la que se desarrolla el juego del tenis de mesa se analizaron durante la prueba de campo los valores correspondientes a la $FC_{\text{máx}}$, $FC_{\text{mín}}$ y FC_{med} , y los niveles de LA. La respuesta cardiaca obtenida se encuentra entre unos valores de $FC_{\text{mín}}$ de $93 \pm 10,9$ $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ y de $FC_{\text{máx}}$ de $167 \pm 7,7$ $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$, reflejando una gran variabilidad de la FC. La FC_{med} a lo largo de la competición alcanzó un valor de $135 \pm 7,9$ $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$. La $FC_{\text{máx}}$ registró en algunos momentos del juego valores de 177 $\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$ reflejando el carácter submáximo de esta disciplina deportiva. Los resultados de $FC_{\text{máx}}$ y FC_{med} obtenidos durante la prueba de campo representan respectivamente porcentajes cercanos al 85%. En la Figura 2 se presenta la

curva cardiaca obtenida por un jugador durante uno de los partidos realizados en la competición simulada.

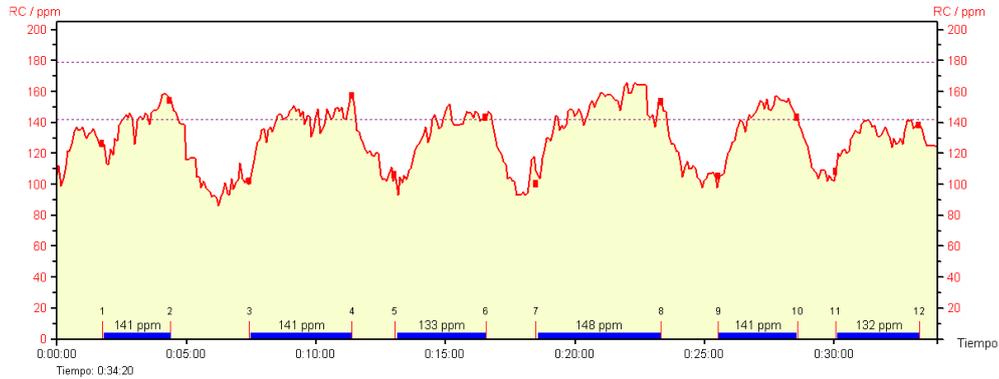


Figura 2. Representación gráfica de la frecuencia cardíaca durante un partido.

Los niveles promedios de LA, FC_{med} y $FC_{m\acute{a}x}$ obtenidos durante la prueba de campo se presentan en la Tabla 2. Los valores de LA alcanzados por los jugadores durante los partidos se encuentran en un rango de 1,1 y 2,9 $mmol \cdot l^{-1}$ alcanzando un valor promedio durante toda la competición de $1,81 \pm 0,1 mmol \cdot l^{-1}$. Los valores medios de LA correspondientes a los diferentes juegos disputados se sitúan entre los 1,61 y los 1,93 $mmol \cdot l^{-1}$.

Tabla 2. Resultados obtenidos durante el test de campo.

	Juego1	Juego2	Juego3	Juego4	Juego5	Juego6
LA	$1,61 \pm 0,2$	$1,69 \pm 0,3$	$1,93 \pm 0,2$	$1,68 \pm 0,2$	$1,76 \pm 0,3$	$1,72 \pm 0,3$
FC máx	167 ± 14	$177 \pm 7,6$	$167 \pm 9,2$	172 ± 9	$157 \pm 7,9$	$160 \pm 12,9$

La $FC_{m\acute{a}x}$ promedio alcanzada en cada uno de los juegos de la competición simulada ha oscilado entre los 157 y 177 $l \cdot min^{-1}$. En la Figura 2 se presenta una gráfica en donde se comparan los valores promedios máximos correspondientes a la respuesta cardíaca y niveles de LA obtenidos durante la prueba de campo.

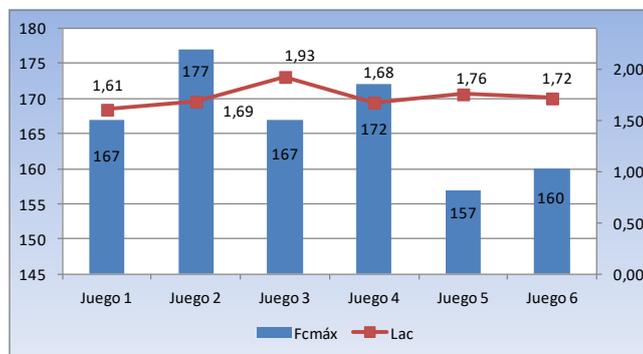


Figura 2. Comparativa de FC y LA durante el test de campo.

Los valores promedio porcentuales de la $FC_{m\acute{a}x}$ en cada uno de los juegos se han situado entre el 76 y el 82,7% respecto a la $FC_{m\acute{a}x}$ real del jugador. Estos registros sitúan el esfuerzo en la franja porcentual del 60-70% del $VO_{2m\acute{a}x}$.

En la Tabla 3 se presentan los valores correspondientes a la estructura temporal de juego. Los partidos realizados durante la competición simulada han alcanzado un tiempo total de $38,10 \pm 15,6$ minutos (min), con valores mínimos y máximos que han oscilado entre los 16,56 y 59,13 min respectivamente. El tiempo real de juego durante los partidos ha sido de $7,16 \pm 2,3$ min. Los juegos disputados tuvieron una duración total de $7,32 \pm 3,09$ min. Teniendo en consideración estos datos durante la competición simulada se ha establecido una ratio esfuerzo/descanso de 1:5.

Tabla 3. Características temporales de juego.

	Media (DT)	Rango
Duración del partido (min)	38,10 ($\pm 15,6$)	16,56-59,13
Duración de los juegos (min)	7,32 ($\pm 3,09$)	2,32-14,28
Duración de las jugadas (s)	3,86 ($\pm 1,87$)	0,88-22,44
Tiempo de juego real (min)	7,16 ($\pm 2,3$)	4,01-11,06
Tiempo de pausa total (min)	31,34 ($\pm 14,3$)	13,35-48,34
Tiempo de pausa entre juegos (min)	1,52 ($\pm 0,3$)	1,01-2,18
Tiempo de pausa entre tantos (s)	15,38 ($\pm 8,88$)	1,88-86,96

En la Figura 3 se presenta la distribución de la estructura temporal obtenida durante la competición simulada. El tiempo efectivo de juego se sitúa en un 18% mientras que el tiempo de pausa total del partido se encuentra por encima del 80%. Los tiempos de inactividad se distribuyen en un 65% para las pausas efectuadas durante las jugadas y el 18% restante pertenece a los descansos reglamentarios existentes entre juegos.

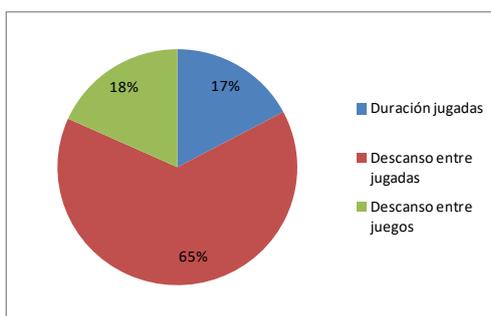


Figura 3. Distribución temporal de juego en la competición simulada.

Si analizamos la duración de las acciones de juego se puede observar en la Figura 4 que la frecuencia temporal mayor se encuentra situada entre los 3 y 5 s. Las jugadas

realizadas han alcanzado un valor mínimo de 0,88 s y se corresponden con aquellas en donde el tanto se obtiene de manera directa con el saque. El valor máximo obtenido para una jugada ha sido de 22,44 s. Los valores promedio de las jugadas sitúan el esfuerzo realizado en los $3,86 \pm 1,87$ s (Tabla 3).

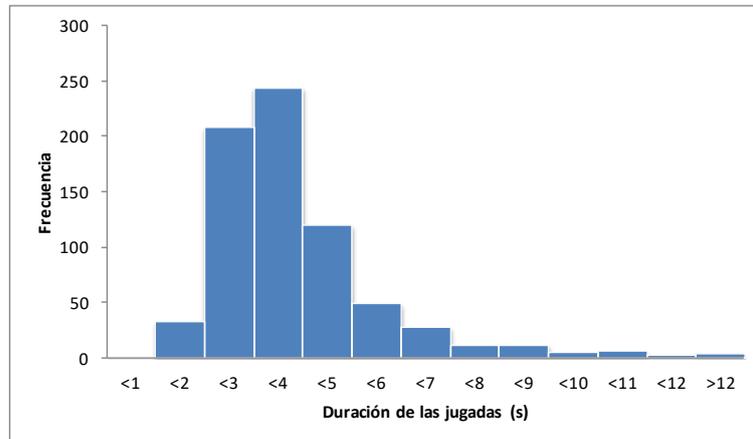


Figura 4. Frecuencia y duración de las jugadas durante el test de campo.

En la Tabla 4 se reflejan las variables técnicas analizadas durante la prueba de campo. Durante los partidos realizados se han podido contabilizar $568 \pm 453,88$ golpes de los cuales 138 se corresponden con la técnica del servicio, representando este valor en un partido el 22,88% de los golpes ejecutados. El número de golpes que se realiza durante un partido se encuentra en los $4,51 \pm 2,65$. Si comparamos este dato con los registros obtenidos sobre la duración de una jugada podemos comprobar la intensidad y la complejidad de juego de este deporte, en donde se efectúa más de un golpeo por segundo durante el desarrollo de un punto.

Tabla 4. Características técnicas de juego.

	Media (DT)	Rango
Golpeos por partido	568 ($\pm 453,88$)	231-671
Golpeos por partido sin saques	430 ($\pm 348,88$)	169-518
Golpeos por jugada	4,51 ($\pm 2,65$)	1-27
Desplazamientos por partido	458,88 ($\pm 201,49$)	163-752
Desplazamientos por juego	79,8 ($\pm 31,49$)	24-166
Desplazamientos cortos	231,69 ($\pm 128,95$)	46-471
Desplazamientos intermedios	209,88 ($\pm 95,21$)	64-360
Desplazamientos largos	17,31 ($\pm 12,36$)	7-53
Jugadas por partido	109,4 ($\pm 31,7$)	62-153

Durante los partidos se ha registrado un volumen total de desplazamientos de $458,8 \pm 201,4$ distribuidos en $173,7 \pm 96,7$ de tipo corto, con una amplitud de 0,5-0,75 metros (m), $314,8 \pm 142,8$ m de tipo intermedio, que se corresponden con un movimiento

comprendido entre los 0,75-1,5 m y $24\pm 17,3$ desplazamientos largos con una amplitud superior a los 1,5 m. Durante el juego cerca del 50,5% de los golpes son realizados con desplazamientos inferiores a los 0,75 m, mientras que un 45,7 % son realizados con desplazamientos entre 0,75 y 1,5 m y menos de 4% se realizan mediante desplazamientos superiores a 1,5 m. El análisis de estos datos nos permite calcular de forma indirecta la distancia que se recorre durante una competición. En nuestro caso, los datos obtenidos indican que en un partido de tenis de mesa la distancia total recorrida se encuentra ligeramente por encima del medio kilómetro ($514,5\pm 213,1$ m), siendo la distancia menor de 210 m y la mayor de 843,7 m.

Discusión

En la literatura podemos encontrar numerosos estudios en donde se analiza la respuesta fisiológica máxima de jugadores de elite de tenis de mesa mediante la realización de pruebas de esfuerzo en laboratorio (Allen, 1991; Faccini, Faina, Scarpellini y Dal Monte, 1989; Lundin, 1973; Orfeuill, 1989; Püschel, 1978; Suchomel 2010; Yuza et al., 1992). Estas investigaciones muestran que los jugadores de alto nivel obtienen valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ comprendidos entre los 43,9-67,9 $ml.kg.min^{-1}$, $FC_{m\acute{a}x}$ de 186,4-204 $l.min^{-1}$ y valores de LA de 10,1-12,2 $mmol.l^{-1}$. Los resultados obtenidos por los deportistas españoles analizados en esta investigación se encuentran comprendidos dentro de los valores descritos en las diferentes publicaciones revisadas.

El estudio de la intensidad del esfuerzo que se produce durante la realización de un partido de tenis de mesa ha despertado desde siempre un gran interés por su relevancia para planificar el entrenamiento. Diferentes investigaciones han intentado cuantificar la carga fisiológica y metabólica producida en competición, ya sea simulada en entrenamiento, en condiciones de laboratorio, o en menor medida, como consecuencia de su complejidad, durante una competición real (Faccini et al., 1989; Kasai, Dal Monte, Faccini, & Rossi 1994; Lundin, 1973; Orfeuill, 1989; Shieh, Chou & Kao, 2010; Watanabe, Kitahara, Shu, & Nagata, 1994; Zagatto, Morel & Gobatto, 2010). Kondric, Zagatto y Sekulic (2013) señalan que el $VO_{2m\acute{a}x}$ es uno de los parámetros fisiológicos más utilizados por algunos investigadores para determinar la demanda aeróbica que se solicita con la práctica de esta disciplina. En este sentido, Lundin (1973) y Faccini et al. (1989), registraron en condiciones de laboratorio el $VO_{2m\acute{a}x}$ obtenido en un partido recogiendo los gases espirados por los jugadores por vía telemétrica. Los valores de consumo de oxígeno

hallados se situaron entre un 50-60% del máximo teórico con picos de $VO_{2m\acute{a}x}$ de 50 ml/kg/min⁻¹. Utilizando la tabla de conversión de Burke (1998) para determinar de forma indirecta el % $VO_{2m\acute{a}x}$ a partir del % $FC_{m\acute{a}x}$ registrada, los jugadores analizados en la competición simulada obtuvieron un rendimiento medio próximo al 60% del $VO_{2m\acute{a}x}$, con valores comprendidos en un rango de 31,2 a 36,4 ml/kg/min⁻¹. Estos datos sitúan a la muestra ligeramente por debajo de los valores descritos en la literatura revisada. Sin embargo, recientes investigaciones realizadas utilizando un analizador de gases portátil durante una competición simulada pusieron de manifiesto que durante un partido se alcanzan valores de $36,8\pm 13,2$ ml/kg/min⁻¹ (Shieh et al., 2010), muy similares a los hallados en este estudio de forma indirecta. Si analizamos los valores de $VO_{2m\acute{a}x}$ obtenidos en las investigaciones revisadas podemos apreciar como existen notables diferencias. Una posible explicación se encuentra en las modificaciones introducidas por la Federación Internacional de Tenis de Mesa (ITTF) sobre las reglas de juego a partir del año 2000, en donde se reduce el número de tantos por juego de 21 a 11 puntos y se aumenta el tamaño y peso de la pelota como cambios más importantes, afectando de manera considerable la dinámica interna de juego de este deporte (Li, Zhao & Zhang, 2005; Takeuchi, Kobayashi, Hiruta, & Yuza, 2002; Tang et al., 2003; Wei, Kong, & Zhi, 2002).

El análisis de la respuesta cardiaca ha sido una de las variables habitualmente más utilizadas para averiguar la intensidad del esfuerzo que se produce en este deporte. Investigaciones realizadas con jugadores de elite europeos muestran que en partidos de competición se registran FC de trabajo de 140-180 l.min⁻¹ que representan un 50-75% del máximo teórico obtenido en laboratorio (Lundin, 1973; Leso, Demetrovic y Piric, 1982; Faccini et al., 1989). Los valores de $FC_{m\acute{a}x}$ que se alcanzan en competición han sido examinados en diversos estudios (Allen, 1991; Yuza et al., 1992) y sitúan los registros cardiacos de partidos de alta competición en un rango porcentual del 71-86% de la $FC_{m\acute{a}x}$. Recientes estudios como los realizados por Zagatto et al. (2010) y Suchomel (2010) describen valores de $FC_{m\acute{a}x}$ del 81,2% y 78% respectivamente. En nuestro trabajo la intensidad de la competición simulada ha situado el esfuerzo desarrollado, con respecto al máximo teórico, en unos valores del $84,4\pm 2,2\%$, mostrando unos registros muy similares a los reseñados por las diferentes fuentes consultadas. Sin embargo, se ha obtenido un promedio cardiaco de trabajo algo inferior ($135\pm 7,9$ l.min⁻¹) y valores mínimos y máximos más bajos a los hallados en las investigaciones consultadas. Estos datos podrían estar

relacionados con el estilo de juego desarrollado por los jugadores (defensivo, ofensivo y mixto), ya que como indica Kasai, Akira, Eung, y Mori (2010) la FC tiene una relación directa con el tipo de juego efectuado. Las investigaciones revisadas no indican el estilo de juego desarrollado por los jugadores por lo que resulta muy difícil realizar una comparación exhaustiva de los datos obtenidos.

Las concentraciones de LA alcanzadas en la prueba de campo se encuentran en el límite inferior de los valores promedios señalados en las diferentes investigaciones revisadas, en donde se indica que la lactatemia en este deporte se sitúa en un rango de entre 1,5-4,3 mmol.l⁻¹ (Barchukova y Salanova, 1988; Lundin, 1973; Leso et al., 1982; Zagatto et al., 2010). Como se ha citado con anterioridad, la obtención de valores de LA inferiores podrían relacionarse con el estilo de juego desarrollado y por los materiales utilizados en la pala (madera y revestimientos de caucho), ya que en este deporte estos elementos definen el tipo de juego a realizar, ya sea de potencia o de rotación, y de defensa o de ataque. La intensidad del esfuerzo obtenido en esta investigación hace pensar que las fuentes energéticas principales en este deporte son el glucógeno muscular, en parte oxidado y en parte utilizado anaeróbicamente, los triglicéridos intramusculares (oxidados), y algo la reutilización energética del lactato (Comellas & López, 2001).

El análisis de la estructura temporal de juego es un parámetro de gran interés para conocer los esfuerzos que se producen durante la competición. Investigaciones realizadas con la anterior reglamentación señalan que en partidos realizados a 21 puntos la duración de los juegos se sitúa en 4,13-9,25 min, mientras que la duración total del partido es de 28,4±7,5 min (Yuza et al., 1992). Trabajos más recientes como el realizado por Katsikadelis, Pilianidis y Vasilogambrou (2007) en partidos disputados al mejor de 7 juegos, señala que la duración promedio de un partido se encuentra comprendida entre 18,30±7,90 y 25,80±5,23 min, algo inferior a los 38,10±15,6 min encontrados en este estudio pero similares a los resultados descritos por Kasai et al. (2010) en donde se indica que la duración media de un partido se encuentra en torno a los 30 min. El tiempo medio de los juegos ha situado su valor en 7,32±3,09 min con una horquilla de tiempo situada entre los 2,32 y los 14,28 min, valores ambos dentro de los descritos por Katsikadelis et al. (2007) pero por debajo de los 5,36 detallados por Allen (1992). La duración de las jugadas se sitúan en un promedio de 3,86±1,87 s. Estos valores son similares a los hallados por Watanabe et al. (1992) y Yoshida, Iimoto y Ushiyama (1992) que ubican la duración de las

jugadas en un registro temporal próximo a los 4 s. Sin embargo, los estudios revisados no tienen en consideración algunas de las variables que tiene una influencia directa sobre los registros temporales, como el número de juegos al que se disputa un encuentro (al mejor de 5 o 7 juegos), el estilo de juego desarrollado por los jugadores (ofensivo, mixto o defensivo), los materiales utilizados en la pala (madera y revestimientos de caucho de picos hacia el interior o exterior), el nivel de la prueba o de la competición evaluada (internacional, nacional, regional, universitaria, etc.) y la ronda analizada de la competición (final, semifinal, cuartos de final, etc.). Teniendo en cuenta el elevado número de variables que influyen sobre los parámetros temporales resulta complejo estandarizar los datos obtenidos.

La distancia recorrida durante una competición es un elemento de juego que puede relacionarse con el nivel de exigencia necesario para alcanzar un óptimo rendimiento. En un deporte como el tenis de mesa que se desarrolla a elevadas velocidades en un reducido espacio de juego de 49 m² por jugador (Yuza et al., 1992), es un factor determinante a considerar como consecuencia de la explosividad necesaria para reaccionar, desplazarse y actuar del modo más eficaz en el menor tiempo posible. Existen escasos estudios en donde se analicen los tipos de desplazamientos realizados y las distancias recorridas. Una de las posibles causas de los limitados estudios realizados sobre estas acciones de juego podría ser su elevada complejidad por la cantidad de acciones que se producen por segundo (Pradas, 2002).

En el estudio realizado por Yoshida et al. (1992) se analizan las distancias medias recorridas durante la final de los 9th Asian Table Tennis Championships encontrándose distancias recorridas por los jugadores de 444,9 y 382, 2 m respectivamente. Estos resultados son inferiores a los obtenidos en esta investigación en donde los jugadores analizados han superado ligeramente el medio kilómetro de media. El análisis de las acciones de juego realizadas en esta investigación muestra que existe un número de golpes por jugada bastante elevado siendo superior a uno por segundo. Este dato pone de manifiesto la elevada velocidad a la que se desarrolla el juego en el tenis de mesa.

En un estudio efectuado por Yuza et al. (1992) se comparan partidos de jugadores ofensivos (con revestimientos de caucho de picos hacia el interior y picos cortos hacia el exterior) y defensivos diferenciándolos en función del material de juego utilizado. Esta investigación a pesar de ser anterior a la nueva reglamentación resulta de gran interés ya

que discrimina entre estilos de juego y materiales, señalando que los jugadores que desarrollan un estilo de juego ofensivo realizan de media un menor número de golpes por jugada, con acciones de juego de menor duración respecto a los jugadores defensivos. Los jugadores de estilo ofensivo efectúan entre 3,9-4,8 golpes de media por jugada, con valores mínimos y máximos de 1 y 14 respectivamente, y una duración media de los puntos disputados que se encuentra en un rango de 2,9-3,4 s. Los registros temporales y el volumen de golpes obtenidos por Yuza et al (1992) son algo inferiores a los hallados en los jugadores ofensivos analizados en esta investigación. Este dato nos induce a pensar que la duración y la intensidad del esfuerzo de las jugadas del tenis de mesa moderno, en donde reglamentariamente se juegan menos tantos por juego, deben ser ligeramente superiores tal y como señalan algunas investigaciones (Li et al., 2005; Takeuchi et al., 2002).

Conclusiones

Los datos obtenidos en esta investigación ponen de manifiesto que el tenis de mesa es una disciplina aeróbica-anaeróbica alterna. Desde el punto de vista de las vías de obtención de energía se caracteriza por ser anaeróbico. El sistema anaeróbico aláctico se presenta como la fuente energética más importante. El sistema aeróbico, aunque en raras ocasiones se utiliza de manera máxima juega un papel fundamental para poder recuperar el débito energético contraído en las fases veloces del juego.

El análisis de la estructura temporal refleja una ratio esfuerzo/descanso de 1:5 lo que nos permite sugerir que el tenis de mesa es un deporte intermitente, caracterizado por una sollicitación cardiaca submáxima y en donde se producen de manera interválica esfuerzos cortos de moderada y alta intensidad, basados en esfuerzos de tipo explosivo, con recuperaciones incompletas entre jugadas. Las variables analizadas en esta investigación nos permiten conocer con mayor rigor la estructura y las demandas fisiológicas necesarias para obtener óptimos niveles de rendimiento en el tenis de mesa moderno, permitiéndonos planificar y organizar el entrenamiento de manera más exhaustiva.

A pesar de los resultados obtenidos en este trabajo se hace necesaria la realización de nuevos estudios que profundicen sobre la respuesta metabólica y estructural que pueda derivarse de la realización de un estilo de juego ofensivo, mixto o defensivo. Asimismo, resulta de especial interés analizar el impacto fisiológico que puedan tener los materiales

específicos de juego (maderas y revestimientos de caucho) y que definen que un jugador desarrolle un juego más orientado hacia la potencia o la rotación. La influencia que puedan tener todas estas variables sobre el esfuerzo aconseja seguir estudiando este deporte para poder disponer de un conocimiento más exacto de su comportamiento sobre el juego.

Agradecimientos

A los deportistas participantes en la investigación por su desinteresada colaboración. El estudio forma parte del Proyecto I+D DEP2011-13820-E sobre Red Temática científico-profesional de Deportes de Raqueta del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España.

Referencias

- Allen, G. D. (1991). Physiological characteristics of elite australian table tennis athletes and their responses to high level competition. *J Hum Mov Stud*, 20, 133-147.
- Alonso, J. I. & Argudo, F. (2008). Indicadores de rendimiento del saque en frontenis olímpico femenino. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 10(4), 59-76.
- Barchukova, G. V. & Salanova, E. V. (1988). Ergometric characteristics of table tennis. *Teoriya i Praktika Fizicheskoi Kultury*, 7(50), 164.
- Burke, E. R. (1998). *Heart rate monitoring and training*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Comellas, J. & López, P. (2001). Análisis de los requerimientos metabólicos del tenis. *Apunts Educación Física y Deportes*, 65, 60-63.
- Faccini, P., Faina, M., Scarpellini, E. & Dal Monte, A. (1989). Il costo energetico nel tennistavolo. *Scuola dello Sport*, 8(17), 38-42.
- Gorospe, G., Hernández, A., Anguera, M. T. & Martínez, R. (2005). Desarrollo y optimización de una herramienta observacional en el tenis de individuales. *Psicothema*, 17(1), 123-127.
- Kasai, J.-I., Akira, O., Eung, J. T. & Mori, T. (2010). Research on table tennis player's cardio-respiratory endurance. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 6, 6-8.
- Kasai, J.-I., Dal Monte, A., Faccini, P. & Rossi, D. (1994). Oxygen consumption during practice and game in table tennis, *International Journal of Table Tennis Sciences*, 2, 29.
- Katsikadelis M., Pilianidis T. & Vasilogambrou A. (2007) Real play time in table tennis matches in the XXVIII Olympic Games «Athens 2004». En Kondrič, M. & Furjan-Mandić,

- G. (Eds.), Proceedings book 10th Anniversary ITTF Sports Science Congress (pp. 94-98). Zagreb: University of Zagreb, Faculty of Kinesiology.
- Kawazoe, Y. & Suzuki, D. (2004). Impact prediction between a ball and racket in table tennis. En Lees, A., Kahn, J.-F. & Maynard, I. W. (Eds.), Science and Racket Sports III (pp. 134-139). Oxon: Routledge.
- Kondric, M., Zagatto, A. M. & Sekulic, D. (2013). The physiological demands of table tennis: a review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(3), 362-370.
- Leso, J., Demetrovic, E. & Piric, J. (1982). Physiological requirements of superior table tennis. *Teorie a praxe telesne vychovy*, 30(2), 81-86.
- Li, J. L., Zhao, X. & Zhang, C. H. (2005). Changes and development: influence of new rules on table tennis techniques. En Zhang, X. P., Xiao, D. D. & Dong, Y. (Eds.), The Proceedings of the Ninth International Table Tennis Federation Sports Science Congress (pp. 67-72). Beijing: People's Sports Publishing House of China.
- Lundin, A. (1973). *Bordtennis*. Stockholm: Trygg-Hansa.
- Major, Z. & Lang, R. W. (2004). Characterization of table tennis racket sandwich rubbers. En Lees, A., Kahn, J.-F. & Maynard, I. W. (Eds.), Science and Racket Sports III (pp. 146-151). Oxon: Routledge.
- Orfeuill, F. (1982). *Le tennis de table physiologie et entraînement*. Paris: Institut National du Sport et de l'Education Physique.
- Pradas, F. (2002). De la iniciación al perfeccionamiento en el juego de dobles. Un caso práctico en tenis de mesa. En Cabello, D. (Ed.), *Fundamentos y enseñanza de los deportes de raqueta y pala*. (95-110). Granada: Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Granada.
- Pradas, F., de Teresa, C. & Vargas, M. C. (2005). Evaluation of the explosive strength and explosive elastic forces of the legs in high level table tennis players. *Sport Science Research*, 3, 80-85.
- Pradas, F., Floría, P., González-Jurado, J. A., Carrasco, L. & Bataller, V. (2012). Desarrollo de una herramienta de observación para el análisis de la modalidad individual del tenis de mesa. *Journal of Sport and Health Research*, 4(3), 255-268.
- Püschel, K. (1978). Leistungsphysiologische aspekte des tischtennispiels. *Deutsche Zeitschrift für sportmedizin*, 12, 357-360.

- Shieh, S. C., Chou, J. P. & Kao, Y. H. (2010). Energy expenditure cardiorespiratory responses during training and simulated table tennis match. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 6, 186-189.
- Ripoll, H. (1989). *Comprendere ed agire*. *Scuola dello Sport*, 8(17), 22-28.
- Suchomel, A. (2010). A comparison of exercise intensity on different player levels in table tennis. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 6, 79-82.
- Takeuchi, T., Kobayashi, Y., Hiruta, S. & Yuza, N. (2002). The effect of the 40mm diameter ball on table tennis rallies by elite players, *International Journal of Table Tennis Sciences*, 5, 267-277.
- Tang, H.-P., Mizoguchi, M. & Toyoshima, S. (2003). Speed and spin characteristics of the 40mm table tennis ball, *International Journal of Table Tennis Sciences*, 5, 278-284.
- Watanabe, M., Kitahara, T., Shu, J. Z. & Nagata, M. (1994). Exercise intensity of table tennis practice and games by hear rate, blood lactate concentration, and RPE. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 2, 28.
- Watanabe, M., Yano, H., Nagata, M., Kitahara, T., Oka, S., Shu, J. Z., Kyung, J. L., Kasai, J. & Mori, T. (1992). Evaluation of table tennis practice by blood lactate concentration. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 1, 38.
- Wei, X., Kong, C. T. & Zhi, F. Q. (2002). Speed and spin of 40mm table tennis ball and the effects on elite players. In Gianikellis, K. E. (Ed.), *Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports* (pp. 623-626). Cáceres: Universidad de Extremadura.
- Yoshida, K., Iimoto, Y & Ushiyama, Y. (1992). A game analysis of table tennis using a direct linear transformation method (DLT method). *International Journal of Table Tennis Sciences*, 1, 43.
- Yuza, N., Sasaoka, K., Nishioka, N., Matsui, Y., Yamanaka, N., Ogimura, I., Takashima, N. & Miyashita, M. (1992). Game analysis of table tennis in top Japanese players of different playing styles. *International Journal of Table Tennis Sciences*, 1, 79-89.
- Zagatto, A. M., Morel, E. & Gobatto, C. A. (2010). Physiological responses and characteristics of table tennis matches determined in official tournaments. *J Strength Cond Res*, 24(4), 942–949. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181cb7003.