

Análisis de la técnica en el tenis: el modelo biomecánico en jugadores de alto nivel

Dra. Cristina López de Subijana
Universidad de Alcalá de Henares
cristina.ldesubijana@uah.es

Dr. Enrique Navarro
Universidad Politécnica de Madrid
enrique.navarro@upm.es

«Kronos nº 11, pp. 10-15, Enero/Junio 2007»

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del análisis del rendimiento deportivo, existen medios para valorar y cuantificar cada área que interviene en el rendimiento del jugador de tenis. La preparación física se valora con pruebas de esfuerzo, la táctica con estadísticas y análisis del patrón de juego, la preparación psicológica también se puede cuantificar. La técnica se puede analizar y valorar siguiendo parámetros biomecánicos que nos determinan el rendimiento de un golpe de un jugador de tenis. No es algo habitual, ya que normalmente el análisis de la técnica se basa en la filmación y análisis de los golpes con cámaras “domésticas”, sin llegar a profundizar en variables mecánicas.

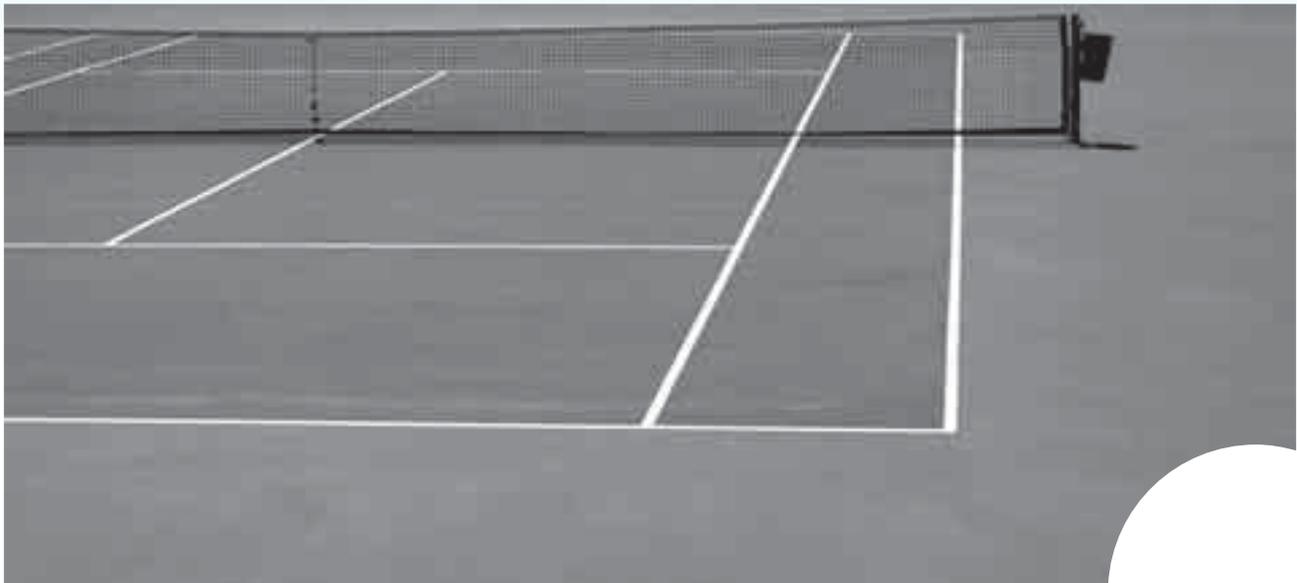
En este trabajo se plantea el análisis de un gesto técnico, el servicio de tenis, proponiéndose un modelo biomecánico individual como herramienta de mejora de la técnica del jugador@ (Dicho estudio ha sido la base de la tesis doctoral de la autora.)

El servicio se ha convertido en un golpe fundamental dentro del desarrollo de un partido de tenis. Una alta velocidad combinada con un buen porcentaje de primeros servicios, aumenta las probabilidades de ganar un partido (Brody, 2003). Así mismo, Haake et al (2000) demostraron como cuando el servicio era superior a 160 Km/h los errores en el resto del jugador contrario aumentaban significativamente.

El nivel de los jugadores pertenecientes de los

estudios previos varía desde jugadores de club y nivel universitario, a jugadores profesionales. De los estudios realizados, destacar el de Fleisig et al. (2003) y Elliott et al. (2003) en el que se registraron los servicios efectuados durante los JJ.OO. de Sydney 2000. La cadena cinética del tenis ha sido estudiada principalmente durante la fase de aceleración. Dicha fase comienza en la máxima rotación externa del antebrazo y termina en el impacto. Según Elliott et al. (2003) dicho ángulo de máxima rotación externa del brazo alcanzaba los 169,2° en hombres y 170,9° en mujeres. Elliott et al. (2003) and Fleisig et al. (2003) mostraron cómo las velocidades angulares máximas ocurrían en el siguiente orden: extensión de rodilla, rotación externa del brazo-raqueta, flexión lateral del tronco, rotación del tórax, rotación de la pelvis, extensión del codo, flexión de muñeca y rotación interna del brazo-raqueta. Resulta sorprendente la anticipación de tórax a la pelvis así como la tardía rotación interna del brazo.

La revisión bibliográfica efectuada mostró cómo la mayoría de los estudios eran descriptivos, es decir que no tenían intención de influir en el rendimiento del jugador, sino simplemente caracterizarlo. Así mismo el modelo utilizado era un modelo de medio cuerpo, quedando patente la falta de análisis de los miembros inferiores. Por otra parte, desde la didáctica con este tipo de jugador@s, tal y como indicaban Crespo y Reid, 2004, el hecho de que el jugador pueda comprender



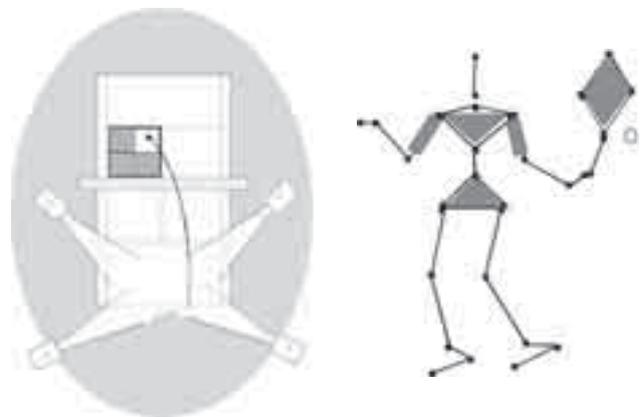
algunas pautas biomecánicas, puede hacer que se implique y confíe más en dichas mejoras técnicas.

El objetivo de este estudio fue, primero, crear un modelo teórico completo, que comprendiera tanto el tronco, como los miembros inferiores, como la raqueta, y segundo el desarrollar una metodología aplicada que permitiera que un jugador de un nivel de competición analizara un golpe de tenis y obtuviera unas pautas de entrenamiento.

METODOLOGÍA:

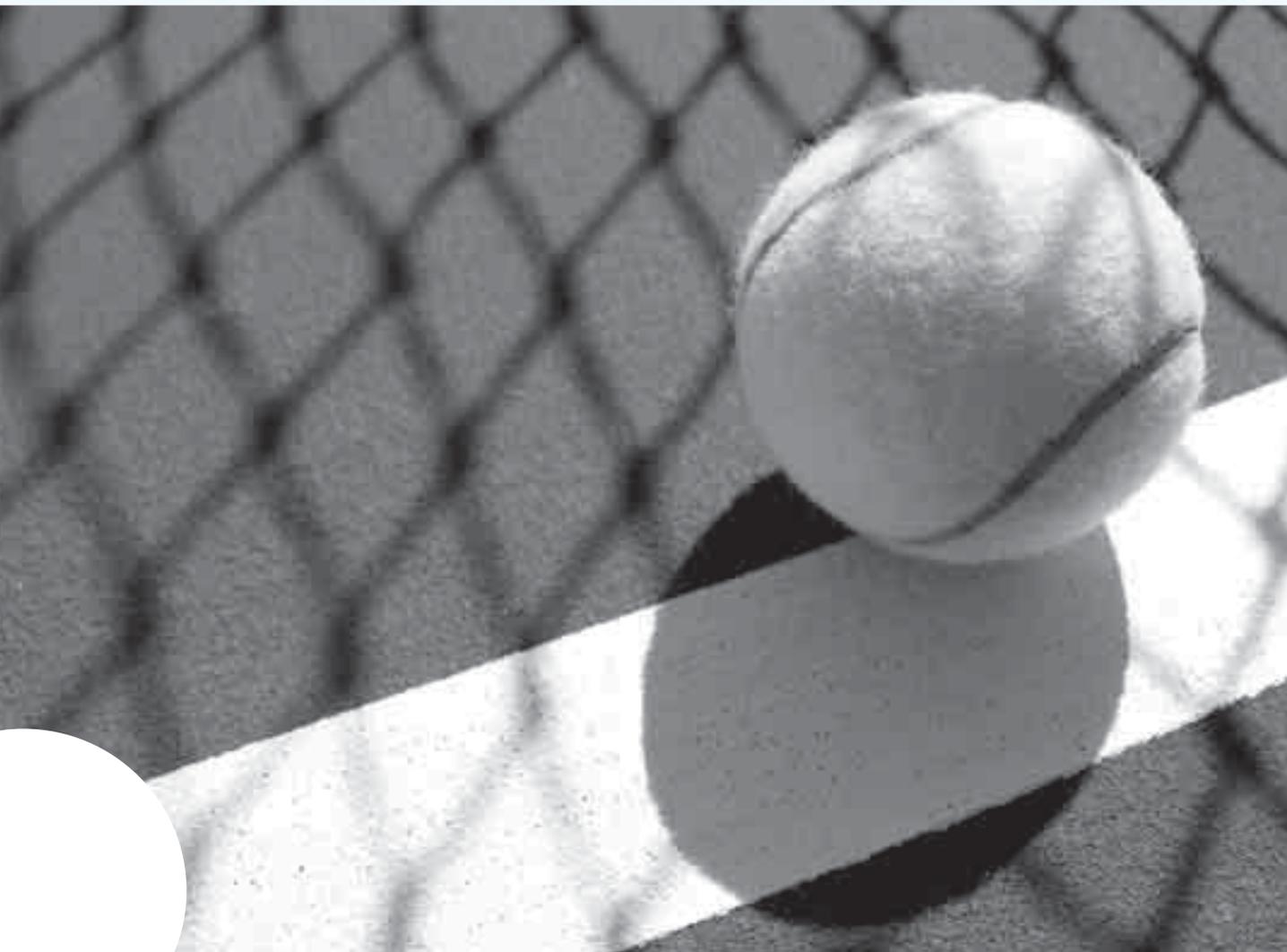
La técnica de adquisición de datos fue la fotogrametría 3D. Esta técnica consiste en la obtención de las coordenadas de un punto, desde la filmación simultánea con dos o más cámaras. El obtener un gesto técnico en tres dimensiones nos permite, en una primera instancia observar el golpe desde todos los puntos de vista, y poder obtener un primer análisis cualitativo. Esta técnica de adquisición de datos sigue una serie de pasos como son: 1º filmación del gesto técnico y 2º tratamiento de los datos en el laboratorio. La filmación tiene una serie de peculiaridades, como que las cámaras se coloquen aproximadamente a 90º, que se filme un cubo de 2 metros de lado, que sirve de referencia al ordenador para calibrar las coordenadas, así como siempre que sea posible, la utilización de cámaras de alta velocidad para obtener la información necesaria en este tipo de golpes. (El tenis se califica como un deporte de golpeo de alta velocidad). El tratamiento en el laboratorio consiste en la captura de las secuencias para poder tratar cada una de ellas y obtener las coordenadas 2D. Este paso fue el más costoso en el tiempo, ya que se digitalizaron manualmente 28 puntos de cada fotograma de cada secuencia filmada.

La muestra de este estudio fueron 14 y 12 servicios planos efectuados, sobre una zona diana, por dos jugadoras de alto nivel, entre 40-60 ranking WTA (Figura 1). Dicha zona diana es el revés del contrario algo natural en un primer servicio de ambas jugadoras. Las cámaras tuvieron dos ubicaciones diferentes dado que una jugadora era diestra y la otra zurda. Fueron filmadas con cámaras de alta velocidad a 125 Hz sincronizadas. Todas las secuencias fueron digitalizadas manualmente y se aplicó el algoritmo DLT para la obtención de las coordenadas 3D.



Figuras 1 y 2: Localización de las cámaras y zona diana, y modelo mecánico de 28 puntos.

El modelo mecánico se basó en Clauser (1969) y and Zatsiorsky et al. (1990). Fue un modelo de 28 puntos (Figura 2). Todos los segmentos se definieron mediante barras salvo 5 sólido-rígidos, (pelvis, tórax, brazos y raqueta). Los parámetros inerciales corporales fueron tomados de De Leva (1996). Los datos fueron filtrados con funciones splines de quinto orden (Woltring, 1985). El error medio de la digitalización manual de las coordenadas 3D fue de 0,016 m., similar a Fleisig et al. (2003), que obtuvieron 0,014 m.



Las variables consideradas fueron por una parte, un grupo de variables en función del tiempo, que aportaron una amplia descripción del gesto técnico, y por otra, un conjunto de variables estadísticas que permitieron el analizar el conjunto de servicios registrados.

Las variables en función del tiempo fueron: la altura del centro de masas, la velocidad de salida de la bola, las velocidades angulares en los tres ejes del tórax, pelvis, brazo y raqueta, los momentos angulares del tórax, pelvis, brazo y raqueta, y las energías cinéticas de todos los segmentos del modelo creado.

Las variables estadísticas fueron agrupaciones de energías cinéticas normalizadas. Dichas agrupaciones fueron diferentes para cada jugadora. Para GL fueron: Energía cinética del miembro inferior, tronco-brazo, antebrazo y mano-raqueta; y para VR fueron: Energía cinética de miembro inferior, del tronco, del brazo, del antebrazo y de la mano-raqueta.

RESULTADOS Y DISCUSION:

Las variables en función del tiempo fueron acor-

des a la técnica empleada por cada jugadora que se había podido apreciar en el análisis cualitativo previo. GL utilizaba una técnica de pies juntos, y de péndulo completo, y se observaba un apoyo del pie izquierdo ligeramente adelantado al derecho al agruparse. VR mantenía los pies separados y realizaba un péndulo recortado y los pies se mantenían en “puntillas” durante todo el apoyo.

La velocidad de salida tras el impacto fue de 38.1 m/s, (150.9 km/h), en la jugadora GL y 41.9 m/s (137.2 km/h) en VR. Este resultado tiene coherencia con Fleisig *et al.* (2003) y Elliott *et al.* (2003), que registraron una velocidad media 149.3 km/h en los tres mejores servicios de las jugadoras.

El centro de masas se encontraba siempre en su altura máxima en GL en el impacto (0,98 m.), mientras que en VR dicho instante se situó siempre 4-5 fotogramas tras el impacto (0,80 m.). Ello indicó que dicha jugadora golpeaba descendiendo.

Las velocidades angulares encontradas se muestran en la tabla I. Son similares a Fleisig *et al.*, (2003) y ocurren

en el mismo orden: rotación del tórax, rotación de la pelvis y por último la rotación interna del brazo. (Tabla 2)

Jugadora	Velocidad Angular Máxima		
	Brazo	Pelvis	Torax
GL	-1404 ± 506	-416 ± 51	-618 ± 55
VR	1962 ± 486	197 ± 23	405 ± 46

Tabla 1: Velocidades angulares de las jugadoras GL y VR en °/s. (GL es – siendo zurda).

Tabla 2: Instantes de máximas Velocidades Angulares en s, siendo 0 el tiempo del impacto.		
	GL (Media ± SD)	VR (Media ± SD)
Rotación Tórax	-0,090 ± 0,027	-0,135 ± 0,014
Rotación Pelvis	-0,027 ± 0,034	-0,088 ± 0,037
Rotación interna Brazo	0,021 ± 0,011	-0,006 ± 0,018

Las figuras 3 y 4 muestra la evolución de la energía cinética en julios en el tiempo. El análisis de la cadena cinética encontrada en cada jugadora se realizó estudiando cada fase del golpeo y las correlaciones existentes entre las agrupaciones de variables explicadas. En todas las fases aparecieron correlaciones significativas, ($p < 0,05$), lo que indicaba que los incrementos y decrecimientos de energía cinética estaban relacionados entre sí.

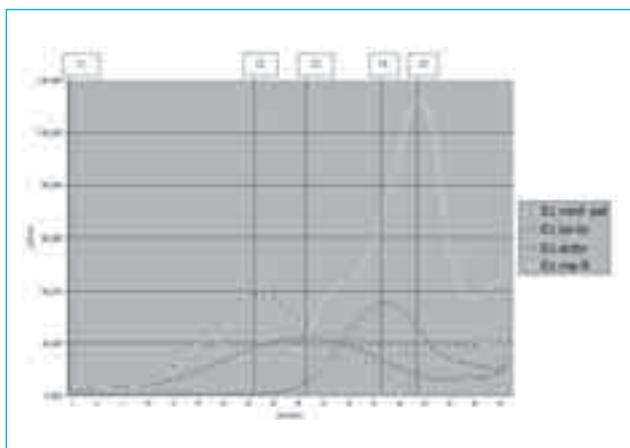


Figura 3: Energía cinética de GL.

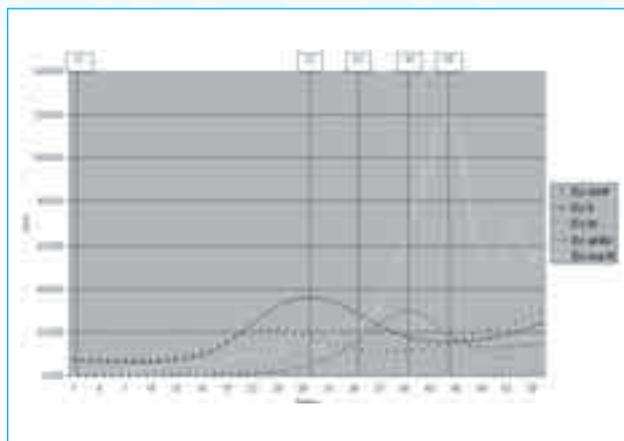


Figura 4: Energía cinética de VR.

Ambas jugadoras mostraron una cadena cinética estable y que se producía de forma proximal-distal. En dichos estudios el parámetro biomecánico fue la energía cinética es decir la suma de la energía de translación y de rotación del segmento corporal. (L. De Subijana y Navarro, 2005 y 2006).

Así mismo se halló una fórmula discriminante basada en variables biomecánicas capaz de discernir entre los servicios buenos y malos de cada jugadora. El criterio de eficacia establecido fue la velocidad de salida de la bola tras el impacto. De esta forma se podría predecir el rendimiento de cada jugadora, al 78,6 y al 100% de los casos respectivamente.

La función discriminante es positiva, cuando los servicios son del Grupo 1 (“buenos”), y negativa, cuando es del Grupo 2 (“malos”).

$$F(d) = 0,003 \cdot (2.4 \text{ antbr}) - 0,103(2.3 \text{ tor-br}) + 0,176 \cdot (4.5 \text{ antbr}) + 0,66 \cdot (3.4 \text{ minf-pel}) + 4,855.$$

Correlación Canónica de 0,789
 $p < 0,05$
 Predictiva 78,6 % casos

Función discriminante servicios GL:

$$F(d) = -0,492 \cdot (2.3 \text{ tr}) + 0,006 \cdot (2.3 \text{ br}) + 0,269 \cdot (3.4 \text{ tr}) - 0,25 \cdot (2.4 \text{ antbr}) + 0,483 \cdot (4.5 \text{ tr}) - 0,474 \cdot (4.5 \text{ br}) - 0,071.$$

Correlación Canónica de 0,934
 $p < 0,05$
 Predictiva 100% casos

Función discriminante servicios VR:

En el caso de la jugadora GL, sus mejores servicios ocurren cuando acelera al máximo su antebrazo, acompaña el servicio tras el impacto y controla la extensión de piernas. En VR, el tronco debe frenar al máximo al tiempo que el brazo debe acelerar al máximo, y el acompañamiento debe ser poco pronunciado, para ejecutar sus mejores servicios.

Tras el análisis cualitativo se observaron unos apoyos no adecuados en ambas jugadoras, que podrían ser la causa de los desequilibrios del miembro inferior registrados en ambas jugadoras.

CONCLUSION:

En el análisis de los jugadores de alto nivel, existe un modelo individual del servicio de tenis, y se cree que cada jugador@, en función de sus características tendrá un modelo para cada golpe.

Por lo tanto no resulta recomendable el tomar como modelo a imitar a los primeros jugadores clasificados del ranking mundial, sino el obtener lo mejor de cada jugador en función de sus propias limitaciones.

Las descripciones de los registros alcanzados por dichos jugadores podrían servir como complemento a la información principal del servicio, pero nunca como pauta de entrenamiento.





V REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Brody, H. (2003). Serving Strategy. *In, ITF Coaching and Science Review*, 31, December, 2-3.

Clauser, C.E., McConville, J.T., Young, J.W. (1969). *Weight, volume, and center of mass of segments of the human body*. NTIS, Springfield.

De Leva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics*, Vol.29, nº9, 1223-1230.

Elliott, B; Fleisig G; Nicholls R & Escamilla R. (2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *In, Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 6 (1), 76-87.

Fleisig, G; Nichols, R; Escamilla, R; Elliot, B. (2003) Kinematics used by world class tennis players to produce high-velocity serves. *In, Sports Biomechanics*, Ed. R. Sanders, University of Edimburgh, Vol. 2 (1), 17-30.

Haake S., Rose P. & Kotze J. (2000). Reaction time-testing and Grand Slam Tie-break data. *In "Tennis Science and Technology"* S.J. Haake y R. Coe Eds. Blackwell Science, Oxford, 269-276.

L. de Subijana, C. Navarro E. (2006) (paper accepted). The kinetic chain performed by high performance tennis players. *In, "International Symposium of Biomechanics in Sport Congress, Salzburg, 14-18 july 2006"*. University of Salzburg, Austria.

L. De Subijana, C; Navarro E (2005). Análisis de la cadena cinética en el servicio de tenis en jugadoras de alto nivel, en *"Congreso Internacional UEM. La actividad física y deporte en el siglo XXI"*, Editado por la Universidad Europea de Madrid, Ed. Gymnos, Madrid, 619-625.



DIRECCIÓN DE CONTACTO.

xxxxxxx xxxxx