

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

Num. Orden: 0071

Título: “Análisis biomecánico del servicio del tenis en jugadoras de nivel internacional”

Autores: C. López de Subijana Hernández, E. Navarro Cabello.

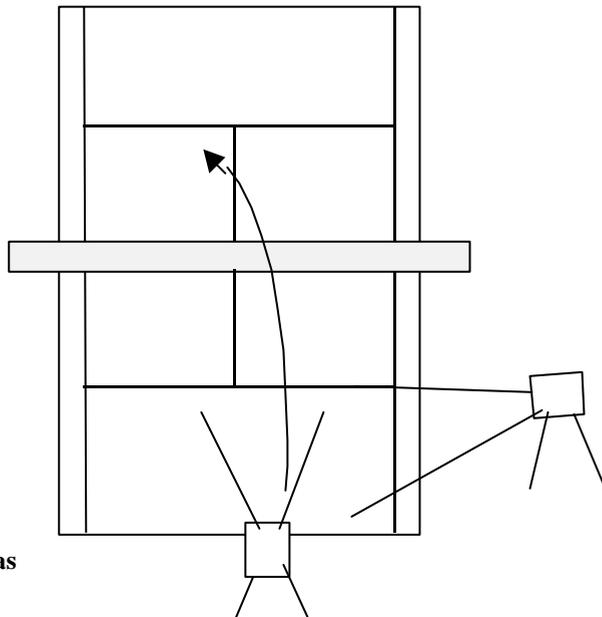
Procedencia: INEF - Universidad Politécnica de Madrid.

Correo: sagucha@teleline.es

1. Introducción y objetivos

El servicio es uno de los elementos técnicos más importantes dentro del tenis. El servicio es el gesto técnico que se utiliza para poner la pelota en juego y sólo depende de la habilidad del jugador. Por ello supone una posibilidad de tomar la iniciativa en el juego (Elliott, 1986). El servicio ha sido analizado en estudios anteriores: Elliott (1986) estudió las velocidades máximas de los puntos articulares, Gheluwe (1987), el ángulo de la raqueta en el impacto así como la pronación-supinación del antebrazo, Buckley y Kerwin (1988), comenzaron el salto cualitativo al conseguir la velocidad angular del codo, Springings (1994) y Elliott (1995) estudiaron las contribuciones de cada segmento a la velocidad del punto medio de la cabeza de la raqueta, y Bahamonde (2000) estudió la evolución del momento angular en este tipo de lanzamientos. La gran mayoría de las muestras recogidas son jugadores de nivel universitario o juniors de un buen nivel internacional y realizados en entrenamientos.

El objetivo de este estudio es observar la secuencia de velocidades y el patrón utilizado por jugadoras de elite mundial. (Entre las 12 mejores del mundo). El analizar los servicios en competición nos dará información real de la técnica utilizada.



Colocación de las cámaras

2. Material y Método

La técnica utilizada fue la Fotogrametría 3D. Se grabó a 50hz de frecuencia con dos cámaras de vídeo mini-DV colocadas aproximadamente a 90°, en el lateral derecho y en el fondo de la pista. Se filmaron servicios desde un lado de la pista, a 15 jugadoras durante la

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

Fase Final de la Copa Federación de Tenis celebrada del 7 al 11 de noviembre de 2001 en Madrid.

Se eligieron las 4 jugadoras con mejor ranking WTA. Las características de las jugadoras eran:

JUGADORA	A	B	C	D	MEDIA
EDAD	18	19	20	22	19,75
ALTURA	1,74	1,67	1,8	1,75	1,74
PESO	68	57	64	64	63,25

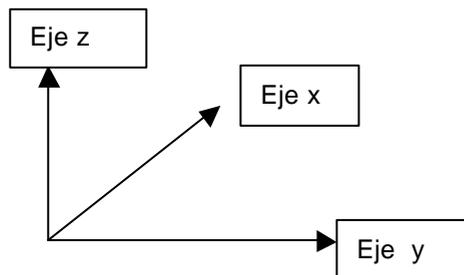
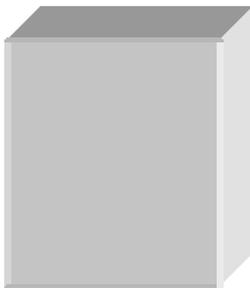
Con un ranking promedio de 7,5 WTA mundial durante la semana de dicho torneo.

Se analizó un primer servicio realizado desde la derecha y sobre el revés de la contraria. La elección del servicio fue aleatoria.

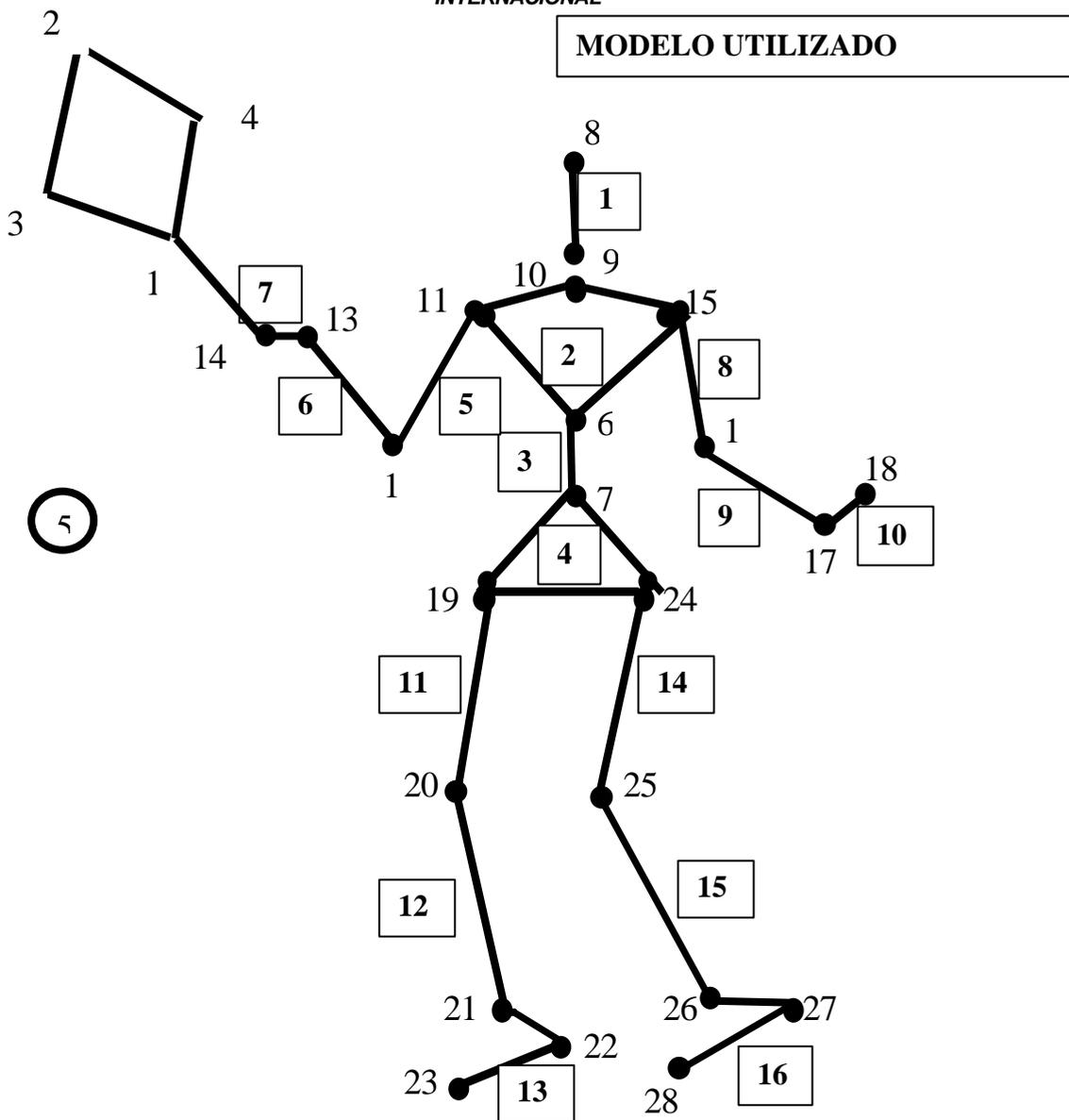
De cada secuencia se digitalizaron 28 puntos, siguiendo el modelo de Clauser (1969) adaptado por Zatsiorsky: 23 del cuerpo de la jugadora, vertex, mentón, hombros, codos, muñecas, manos, esternón, subesternal, umbilical, caderas, rodillas, tobillos, talones y puntas de los pies, 4 de la raqueta, el punto medio del corazón, punto distal, y ambos extremos, y el uno para la pelota de tenis. Se consideraron 29 conexiones y 16 segmentos corporales, y 1 de la raqueta. El brazo derecho, la pelvis y el tórax, se consideraron como sólido-rígidos, los otros segmentos fueron considerados como barras. Los parámetros inerciales de los segmentos se obtuvieron siguiendo los estudios de Paolo de Leva (1996). Tras la obtención de las coordenadas 2D de cada secuencia, los datos se suavizaron y filtraron según Woltring 1987 y se aplicó la Direct Linear Transformation de Abdel-Aziz y Karara (1971) para la obtención de las coordenadas 3D.

El sistema de calibración utilizado fue un cubo 2x2x2 m. Cubo utilizado y criterios para determinar el sistema de referencia. Siendo:

- Eje x: anteroposterior.
- Eje y: transversal
- Eje z: longitudinal



ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL



Para el análisis del servicio se consideraron 8 fases: (Elliott 2001)

- 1- Posición de Espera: Desde posición semidelado, con un pie perpendicular y otro paralelo a la línea de fondo. Normalmente el peso se apoya en el pie delantero.
- 2- Péndulo: Desde la posición de espera el jugador baja ambos brazos y va trasladando el peso del cuerpo al pie retrasado. El péndulo puede ser “completo” es decir con todo el recorrido o, “recortado”, donde el jugador va directamente desde la posición de preparado al “armado” a la altura del hombro derecho.
- 3- Subida de brazo-raqueta y lanzamiento de la bola: el brazo-raqueta comienza a elevarse mientras que el brazo-pelota también se eleva al mismo tiempo. Si es un

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

primer servicio se suele lanzar en una trayectoria rectilínea y ligeramente a la derecha del jugador.

- 4- **Armado de brazo:** El momento de armado varía según el criterio: cuando se alcance la máxima rotación externa tomado en lanzamientos y golpes de otros deportes (Navarro, 1995), o cuando el codo derecho forma un ángulo cercano a 90°, y justo antes de que comience la flexión hacia el bucle, suele ser el criterio adoptado en tenis. Se produce una pequeña desaceleración de la raqueta, mientras que el brazo izquierdo se mantiene extendido y el peso del cuerpo pasa a la pierna izquierda. Se produce una flexión lateral de tronco junto con una flexión de rodillas para aumentar el impulso previo. Existen dos tipos de “juego de pies”:
 - Con pies separados durante todo el tiempo: ofrecen una mayor estabilidad en todo el golpeo.
 - Con un agrupamiento de los pies, se denomina en “cabeza de alfiler”: permite un mayor impulso con ambas piernas, pero también un mayor riesgo de desequilibrio, suelen realizarlo tenistas con un nivel técnico elevado. (Groppe, 1993)
- 5- **Bucle:** la raqueta desciende por la espalda de la jugadora dibujando un bucle. El bucle provoca una flexión del codo llegando a un punto de máxima flexión.
- 6- **Impacto:** Se produce la fase de aceleración de la raqueta y en el caso del primer servicio plano el impacto delante y ligeramente a la derecha, siendo el impacto recomendado en el punto más alto, de máxima extensión. Según Elliott (2001), en el impacto es importante la orientación de la raqueta, la altura del impacto y la velocidad alcanzada por la raqueta.
- 7- **Acompañamiento:** Ya que se trata de una cadena cinética secuencial, tras el impacto se continúa el movimiento hacia delante y arriba. El impulso adquirido hace que la jugadora de un pequeño salto. La caída puede ser con el pie izquierdo o con el derecho. Este último se denomina en “tijera”.
- 8- **Terminación:** Normalmente la raqueta termina entre el brazo izquierdo y el cuerpo. La jugadora suele caer delante de la línea de fondo.

El ritmo del saque resulta crucial a la hora de imprimir una mayor velocidad a la bola. Este ritmo es un “sello personal” de cada jugador. Hay jugadores que realizan una pausa más marcada durante el péndulo, se denomina “pausa italiana”, otros realizan el gesto de manera “continua”, sin marcar excesivamente la desaceleración de la raqueta.

3. Resultados y Discusión

3.1 Análisis Técnico Cualitativo

1. POSICIÓN DE PREPARADO

La jugadora A tiene el centro de gravedad más adelantado que la jugadora B. Siendo las jugadoras B y C las que tienen una posición inicial más equilibrada. La jugadora D se encuentra con todo el peso del cuerpo sobre el pie izquierdo.

2. PENDULO

Todas las jugadoras realizan el servicio con el péndulo completo. La jugadora A no varía en exceso la posición inicial, ya veremos como su ritmo es más continuo. Siendo las jugadoras C y D las que tienen posiciones más exageradas. La jugadora D realiza esta primera fase más lentamente y no llega a transferir el peso al pie derecho. Por el contrario la jugadora C mantiene una posición excesivamente erguida y alcanza la transferencia del peso atrás antes de lo necesario.

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

IMAGEN 1: POSICIÓN DE PREPARADO

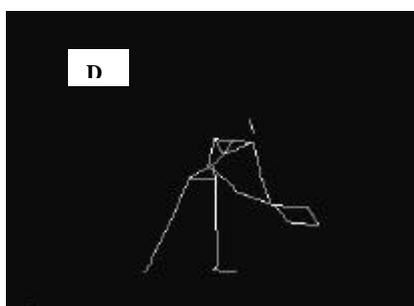
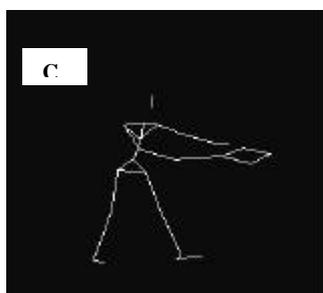
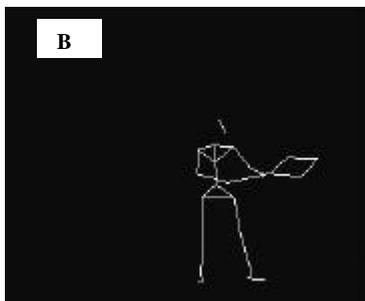
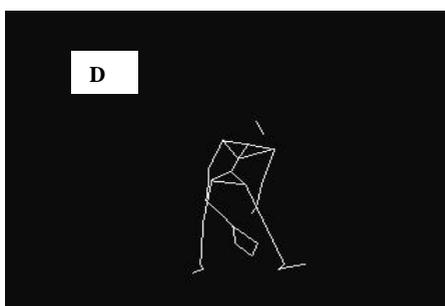
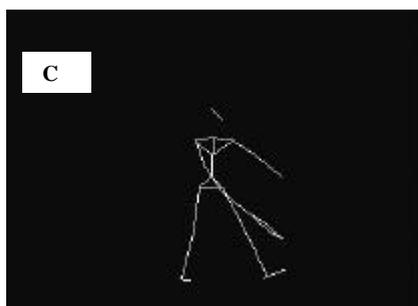
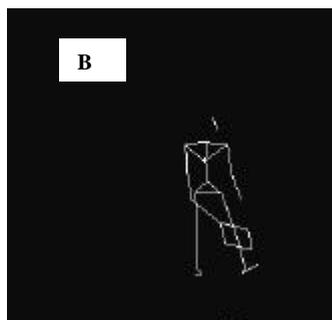
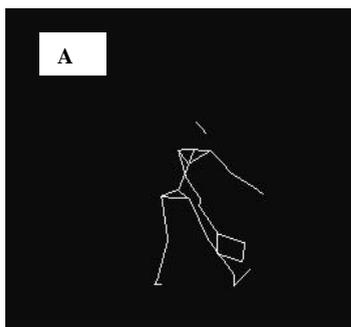
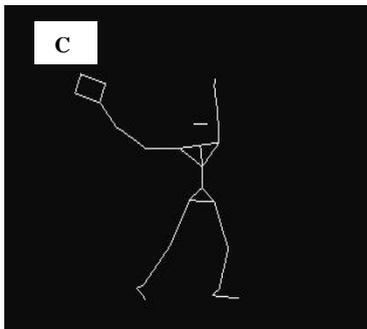
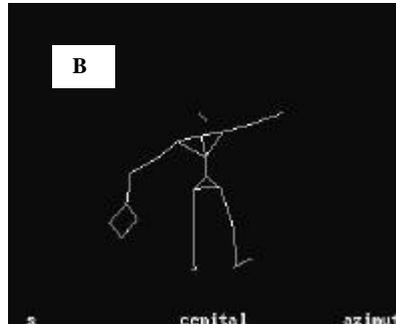
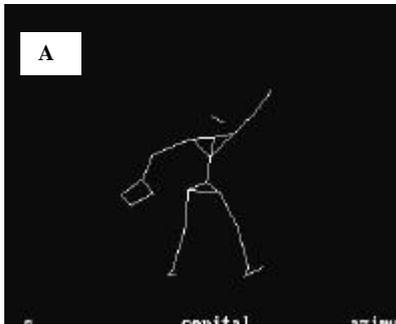


IMAGEN 2: PÉNDULO



3. ELEVACIÓN DE BRAZOS



Siguiendo con la descripción, vemos como la jugadora A realiza la elevación de brazos manteniendo la posición inicial del tren inferior. La jugadora C eleva el brazo-raqueta, en rotación externa, antes de terminar de elevar la pelota. La jugadora B es la que mejor sincroniza y disocia los movimientos, manteniendo una postura adecuada. Por el contrario, la lentitud en la jugadora D se ve reflejada cuando al terminar de elevar la bola todavía tiene la raqueta en una posición inferior al resto.

4. ARMADO

El criterio seguido para la posición del armado es el más cercano a 90° en la articulación del codo. Vemos como la jugadora que mejor utiliza el tren inferior en flexión, el tronco y la posición del brazo, es la jugadora B. Las carencias previas del resto de jugadoras queda patente en:

A: falta de impulso con el tren inferior.

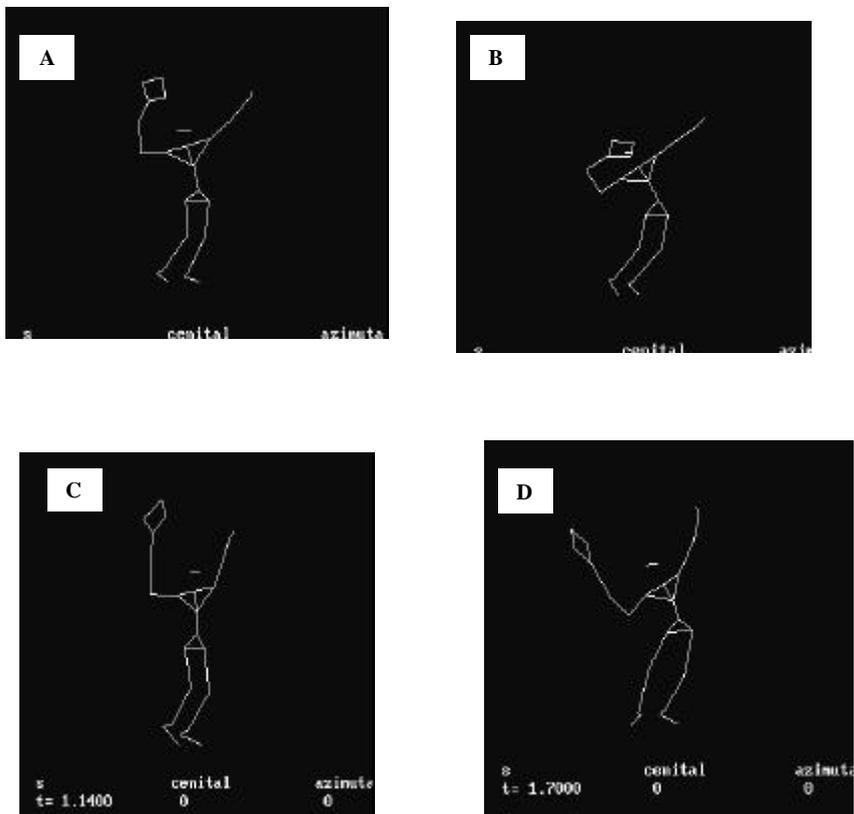
C: falta de sincronización y un armado demasiado elevado.

D: Mejora la posición, pero se ven descoordinados el tren inferior y superior en las líneas de hombros y caderas.

Todas la jugadoras realizan el “juego de pies” tipo cabeza de alfiler. Siendo el mejor coordinado el de la jugadora B.

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

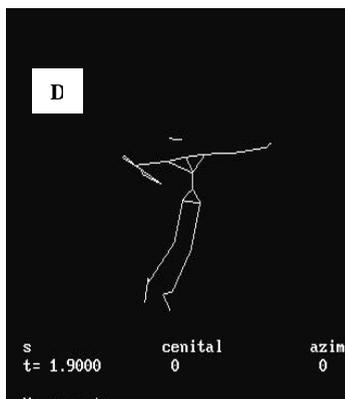
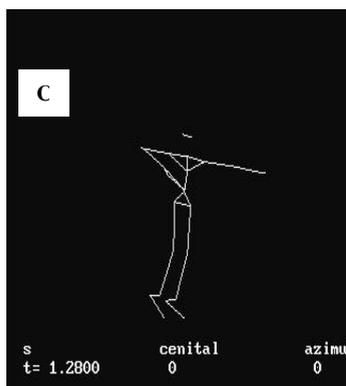
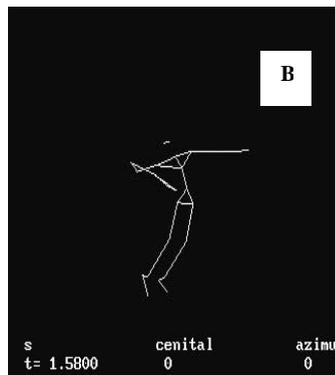
IMAGEN 4: ARMADO



5. BUCLE

El bucle se “dibuja” con la raqueta, mientras que el brazo-pelota descende. Coincide con el instante previo al impacto. La jugadora C se ha adelantado y el frenado no está muy marcado. Por el contrario la jugadora D, no tiene el impulso suficiente para frenar ya que la línea de velocidad era considerablemente inferior al resto.

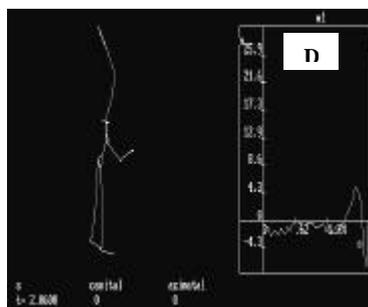
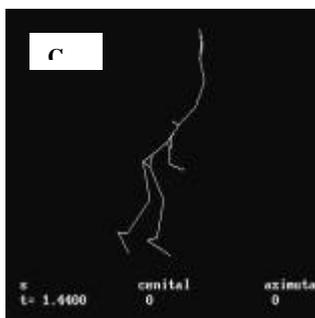
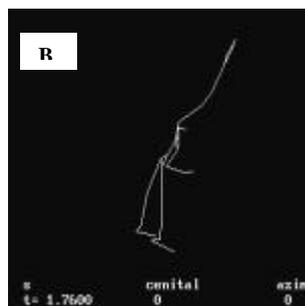
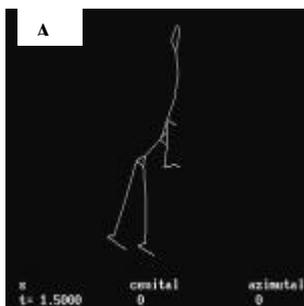
ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL



6. IMPACTO

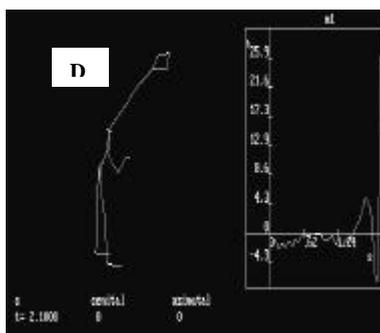
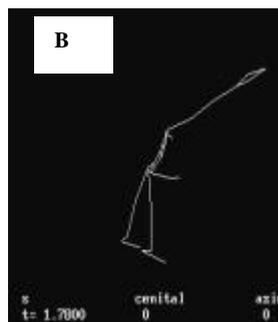
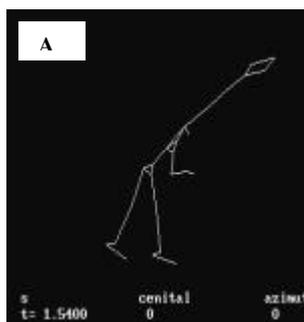
El instante del impacto debe de coincidir con el instante de máxima velocidad en el extremo distal de la raqueta. Según Elliott (2001), en este instante son cruciales la orientación de la raqueta, la altura de impacto y la velocidad de la raqueta. La Velocidad de B es la mayor de todas. Así como su punto de impacto es el más adecuado. La jugadora A golpea la pelota ligeramente retrasada. La Jugadora C no la golpea aprovechando la cadena cinética, sino que realiza una corrección y fuerza el hombro. La jugadora D no le imprime toda la aceleración posible.

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL



7. ACOMPAÑAMIENTO

Las jugadoras A y B mantienen una buena posición y el equilibrio tras el impacto, no ocurriendo lo mismo con la jugadora D que tiene un desplazamiento lateral y se “cae” hacia la izquierda.



ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

3.2 RESULTADOS

Se midieron las velocidades máximas en el eje x. Las cadenas cinéticas resultantes fueron de tipo secuencial.

Jug.A		Jug B		Jug C		Jug D		
t		t		t		t		Variable
1,16	3,05	1,30	3,27	1,04	3,28	1,66	3,24	h bola max (m)
1,42	3,13	1,68	2,77	1,36	2,74	1,98	2,13	Vx hob d max (m/s)
1,44	6,03	1,70	6,47	1,38	5,77	2,02	5,38	Vx cod d max (m/s)
1,48	9,27	1,72	9,28	1,40	8,52	2,04	8,49	Vx muñ d max (m/s)
1,48	10,62	1,72	10,44	1,42	10,38	2,04	9,79	Vx ma d max (m/s)
1,50	29,45	1,74	31,69	1,44	29,86	2,06	29,19	Vx pta raqueta max (m/s)
1,50	2,53	1,74	2,35	1,44	2,48	2,06	2,50	H bola imp (m)
1,54	1,03	1,80	0,97	1,46	1,08	2,02	0,94	h CM max (m)

La jugadora que tiene una secuencia cinética en la que no coinciden las velocidades máximas, siguiendo el orden de distal a proximal, es la jugadora B. Así mismo es la jugadora que mayor velocidad alcanza en el extremo distal de la raqueta.

En la flexo-extensión de la articulación del CODO derecho se obtuvieron los siguientes resultados: El instante de máxima flexión de codo nos aporta el instante en el que se produce el “bucle” y la amplitud del mismo.

Jugadora	T bucle	Flex máx Cod d	T Vx max raqueta	Ext Codo en Vxmax Raqueta	Recorrido	Rad/s
A	1,30	71,0	1,50	159,6	88,6	7,7
B	1,56	64,7	1,74	156,0	91,3	8,9
C	1,26	67,3	1,44	157,4	90,1	8,7
D	1,76	69,7	2,06	161,7	92	5,4

La jugadora B es la que más velocidad angular genera desde la articulación del Codo. La jugadora D pese a tener un recorrido mayor, realiza un movimiento más lento.

Los resultados obtenidos de la flexo -extensión del TREN INFERIOR son:

Jugadora	T de flexión	Rod d	Rod i
A	1,2000	111,7	118,2
B	1,4200	109,7	98,9
C	1,1200/1,1600	118,5	118,3
D	1,5600/1,6800	123,0	122,0

Las jugadoras que tienen coordinada la flexión de ambas rodillas para aumentar así la transferencia de energía desde el tren inferior son la A y la B, acorde con el tipo de técnica observada en el análisis cualitativo.

La jugadora A tiene un servicio en la que utiliza ambas piernas por igual a lo largo de toda la ejecución, verdaderamente no marca una transferencia de peso real entre ambos apoyos.

La jugadora B tiene una flexión mayor en la pierna fuerte de apoyo, que suele ser la izquierda para jugadoras diestras.

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

Todas las jugadoras mostraron velocidades máximas acordes con las investigaciones previas.

	Elliott (1986)	Jugadoras Fed Cup
Vx max Hob	2,5	2,69
Vx max Cod	6,8	5,91
Vx max muñ	10,6	8,89
Vx max distal R	33,3	30,05

El hecho de que los registros de las velocidades máximas alcanzadas sean inferiores, se puede achacar al tipo de muestra obtenida. La muestra de Elliott (1986) son chicos de nivel universitario. Siendo la muestra de esta investigación exclusivamente femenina, sería razonable pensar que las diferencias tienen origen en las diferencias existentes entre géneros.

4. Conclusiones

Ya que el grupo de jugadoras ha sido seleccionado en función del ranking, la técnica analizada en el grupo es ejecutada de forma diferente por cada jugadora.

Todas ellas alcanzan velocidades máximas de la punta de la raqueta cercanas a 30 m/s. Las diferencias encontradas provienen de las diferentes escuelas y procedencias de las jugadoras.

La jugadora que según este análisis es más eficaz es la jugadora B. Obtiene una mayor velocidad en la punta distal de la raqueta, tiene una flexo-extensión del Codo más rápida, coordina bien la flexión del tren inferior, y tal y como se puede observar en el análisis cualitativo, mantiene un buen ritmo y equilibrio durante toda la ejecución.

5. Palabras Clave: Servicio, tenis, Biomecánica.

6. Bibliografía

- ❑ **Abdel-Aziz, Y.I. Karara, H.M. (1971).** *Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close range photogrammetry.* En ASP Symposium on close range photogrammetry, ed. American society of photogrammetry, ASP, Falls Church, 1-18.
- ❑ **Bahamonde,-R.-E 2000** *Changes in angular momentum during the tennis serve* Journal-of-sports-sciences-(London) 18(8), Aug 2000, 579-592 Refs:26, Total Pages: 14
- ❑ **Balius,-X; Turro,-C; Carles,-J; Jauregui,-J; Escoda,-J; Pratt,-J.-A (1995)** *Improving the performance of a top ATP tennis player with a kinematical approach, and a 3-D interactive visualization of the serve* In, Hakkinen, K. (ed.) et al., XVth Congress of the International Society of Biomechanics, July 2-6, 1995, Jyvaskyla: book of abstracts, Jyvaskyla, University of Jyvaskyla, 1995, p. 82-83, Total Pages: 2
- ❑ **Buckley, J.P. & Kerwin, D.G. (1988).** *The role of the biceps and triceps brachii during the tennis serving.* Ergonomics, 1988, vol.31, nº 11. Pp: 1621-1629.
- ❑ **Clauser, C.E., McConville, J.T. y Young, J.W, (1969).** *Weight, volume, and center of mass of segments of the human body.* NTIS, Springfield.
- ❑ **Chandler, R.F., Clauser, C.E. y McConville, H.M. (1975).** *Investigation of inertial properties of the human body.* NTIS, Springfield.

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

- ❑ **De Leva, P.**(1996). *Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters*. Journal of Biomechanics, Vol.29, nº9, pp1223-1230.
- ❑ **Elliott, B.; Marsh, T. & Blanksby, B. (1986)**. *A Three-dimensional Analysis of the Tennis Serve*. International Journal of Sports Biomechanics, 2, 260-271.
- ❑ **Elliott,-B.-C; Marshall,-R.-N; Noffal,-G.-J 1995**. *Contributions of upper limb segment rotations during the power serve in tennis* Journal-of-applied-biomechanics-(Champaign, Ill.) 11(4), Nov 1995, 433-442 Refs:16
- ❑ **Elliott,-B; Takahashi,-K; Marshall,-R 1996** *Internal rotation of the upper arm: the missing link in the kinematic chain* International Society of Biomechanics in Sports In, Abrantes, J.M.C.S. (ed.), XIV Symposium on biomechanics in sports.June 25-29, 1996, Funchal, Madeira, Portugal. Proceedings, Lisboa, Edicoes FMH, c1996, p. 205-208.
- ❑ **Elliott, B., Baxter, K., & Besier, T. (1999)** *Internal rotation of the upper arm segment during a stretch-shorten cycle movement*. Accepted Journal of Applied Biomechanics
- ❑ **Elliott,-B 2001** *The serve* .ITF-coaching-and-sport-science-review-(London, England)(24), July 2001, 3-5.
- ❑ **Gheluwe, B.V.; Ruyscher, I.D. & Craenhals, J. (1987)**. *Pronation and endorotation of the racket arm in the tennis serve*. In Biomechanics X-B, Ed. Johnson, B. Pp: 667-672., Champaign, Il. Human Kinetics publishers.
- ❑ **Groppel, J. 1993**. "*Tenis para jugadores avanzados*". Ed Gymnos. Madrid.
- ❑ **Hay, J.G. (1985)**. *The biomechanics of sport techiques*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- ❑ **Ito,-A; Tanabe,-S; Fuchimoto,-T (1995)**.*Three dimensional kinematic analysis of the upper limb joint in tennis flat serving* In, Hakkinen, K. (ed.) et al., XVth Congress of the International Society of Biomechanics, July 2-6, 1995, Jyvaskyla: book of abstracts, Jyvaskyla, University of Jyvaskyla, 1995, p. 424-425, Total Pages:2
- ❑ **Knudson,-D2001** *Improving stroke technique using biomechanical principles* .ITF-coaching-and-sport-science-review-(London, England)(24), July 2001, 11-13.
- ❑ **Legnani,-G; Marshall,-R; Noffal,-G.-J 1995** *Analysis of filmed movements: methodologies to improve the final precision* . In, Hakkinen, K. (ed.) et al., XVth Congress of the International Society of Biomechanics, July 2-6, 1995, Jyvaskyla: book of abstracts, Jyvaskyla,University of Jyvaskyla, 1995, p. 542-543, Total Pages: 2
- ❑ **Leganani,-G; Zappa,-B; Peini,-R .1997**. "*Dynamic analysis of the tennis serve* ". In, XVIth ISB Tokyo Congress, August 25-29, 1997, hosted by the University of Tokyo. Book of abstracts, Tokyo, Japan, International Society of Biomechanics, 1997, p.400.
- ❑ **Marshall,-R.-N; Elliott,-B.-C 2000** *Long-axis rotation: the missing link in proximal-to-distal segmental sequencing* Journal-of-sports-sciences-(London) 18(4), Apr 2000, 247-254.
- ❑ **Navarro, E., Campos, J., Vera, P., Chillaron, E..** *A Procedure for determining the acceleration phase in the Javelin Throwing*. IVEF.IBV.
- ❑ **Navarro, E., Campos, J., Chillaron, E. y Vera, P.** *A method for determining the individual sport technique in javelin throwing based on a discriminant analysis*. INEF. IVEF. IBV.
- ❑ **Navarro, E. Cabrero, O., Vera P., y Vizcaíno, F.** *A Procedure for determining the angular velocity of upper arm abouts its longitudinal axis relative to the torax in javelin throwing*. INEF. IVEF.

ANÁLISIS BIOMECÁNICO DEL SERVICIO DEL TENIS EN JUGADORAS DE NIVEL INTERNACIONAL

- ❑ **Navarro, E. Cabrero, O., Vera P., y Vizcaíno, F.** *A Three Dimensional analysis of angular velocities of segments in javelin throwing.*
- ❑ **Navarro, E., Campos, J., Vera, P y Chillaron, E.** *A kinetic energy model of human body applied to 3D-Analysis of the javelin throwing.* IVEF.
- ❑ **Noffal, G.-J1999** *Where do high speed tennis serves come from?* In, Elliott, B. (ed.), Applied proceedings: tennis, Perth, W.A., Edith Cowan University, School of Biomedical and Sports Science, c1999, p.27-33.
- ❑ **R.F,E.T. Escuela de Maestría. 2001** .“*Textos del curso de Entrenador nacional de Tenis*”. Madrid.
- ❑ **Springings, E, Marshall, R. , Elliott, B., and Jennings L.(1994).** *A Three Dimensional Kinematic Method for determing the effectiviness of arm segment rotations in producing raquet-head speed.* In, Journal of Biomechanics, vol.27, n°3, pp 245-254.Elsevier Science Ltd.