

VARIABILIDAD CINEMÁTICA EN RELACIÓN CON EL RENDIMIENTO EN EL SAQUE EN JÓVENES TENISTAS

Urbán, T.; Hernández-Davó, H.; Moreno, F. J.

Grupo de investigación en Aprendizaje y Control Motor. Universidad Miguel Hernández de Elche

RESUMEN

El rendimiento en el tenis viene determinado principalmente por la ejecución del saque con la mayor velocidad y precisión posible. El objetivo del estudio es analizar cómo afecta la variabilidad en el movimiento a las variables de rendimiento. Participaron 29 tenistas (12.9 ± 1.64 años), que realizaron 20 saques cada uno. No se encontraron relaciones entre la precisión y la variabilidad del movimiento en la mayoría de las variables cinemáticas analizadas mediante procedimientos discretos. Se encontraron correlaciones negativas entre la velocidad de los saques y la variabilidad de la trayectoria de la mano al inicio del movimiento en los ejes X ($r=-0.417$; $p=0.024$) y Z ($r=-0.529$; $p=0.003$). También se encontraron correlaciones positivas entre el error radial y la variabilidad de la trayectoria de la mano en la fase intermedia del movimiento en los ejes Y ($r=0.432$; $p=0.019$) y Z ($r=0.466$; $p=0.011$) y final del gesto en el eje X ($r=0.555$; $p=0.002$). La variabilidad en la trayectoria del movimiento se ha mostrado como un índice relacionado con el rendimiento en el saque en tenis en función de la fase del movimiento donde se produzca y sobre el eje en el cual aparezca.

Palabras clave: variabilidad cinemática, velocidad, precisión, rendimiento.

ABSTRACT

In tennis, the performance is frequently determined by the performance of the service with the highest velocity and accuracy. The aim of this study is to analyze the effect of movement variability on service outcome. Twenty-nine tennis players (12.9 ± 1.64 years) took part in this study. The participants were asked to perform twenty services toward a target with the highest velocity and accuracy possible. No correlation was found between accuracy and velocity of movement in most of kinematic variables analyzed through discrete procedures. Was found negative correlation between velocity of services and variability of the trajectory of the hand at the beginning of movement in X axis ($r=-0.417$; $p=0.024$) and Z axis ($r=-0.529$; $p=0.003$). Also was found positive correlations between radial error and variability of the trajectory of the hand in the intermediate phase in Y axis ($r=0.432$; $p=0.019$) and Z axis ($r=0.466$; $p=0.011$) and the end of the gesture in X axis ($r=0.555$; $p=0.002$). The variability in trajectory of movement show as index related to performance tennis service according to the function of movement phase where it occurs and on the axis in which occurs.

Key Words: kinematics variability, accuracy, velocity, performance.

Correspondencia:

Tomás Urbán Infantes
Grupo de investigación en Aprendizaje y Control Motor.
Universidad Miguel Hernández de Elche.
Avda. de la Universidad, s/n, 03202 - Elche
t.urban@umh.es

Fecha de recepción: 10/10/2012

Fecha de aceptación: 19/12/2012

INTRODUCCIÓN

La evolución del tenis en los últimos años, se ha caracterizado por un aumento de la potencia y la precisión que los tenistas ejercen a cada uno de sus golpes. El saque en tenis es el primer golpe ejecutado para iniciar la acción de juego, y por ello, es considerado una habilidad motriz predominante cerrada, ya que su ejecución depende principalmente del ejecutante. Debido a la gran importancia de este gesto técnico dentro del deporte, ha sido uno sobre los que más se ha estudiado y entrenado (Kovacs y Ellenbecker, 2011). Algunos autores argumentan que el resultado del juego en un partido de tenis depende en gran medida del rendimiento obtenido en la ejecución del saque (Bahamonde, 2000).

Debido a su importancia, el saque en tenis ha sido estudiado desde diferentes perspectivas, siendo el análisis de la cinética y cinemática del gesto técnico uno de los aspectos más estudiados, tratando de modelar un gesto ideal que permita un mayor rendimiento en su ejecución. El estudio de Fleisig, Nicholls, Elliott y Escamilla (2003), aportó información acerca de la importancia de la correcta utilización de la cadena cinética, que debe partir desde el tren inferior para finalizar con una flexión de la muñeca para producir altas velocidades en los saques.

Recientes estudios concluyen que las variables que más influyen en el rendimiento de las acciones de lanzamiento son la velocidad del móvil y la precisión (Van den Tillaar y Ettema, 2003). Por tanto, la combinación de ambas variables ha sido estudiada en diferentes disciplinas deportivas (Bayios, Anastasopoulou, Sioudris y Boudolos, 2001; Gorostiaga, Granados, Ibáñez e Izquierdo, 2005; Matsuo, Escamilla, Fleisig, Barrentine y Andrews, 2001). Si bien tradicionalmente se ha relacionado el incremento de la velocidad con una menor precisión (Oña, Martínez, Moreno y Ruiz, 1999), recientes estudios destacan que aumentos o disminuciones en la velocidad del lanzamiento, no implicaban ni mejoras ni pérdidas en la precisión (Van den Tillaar y Ettema, 2006).

Otro de los factores que pueden afectar a la ejecución del gesto técnico es la variabilidad, del movimiento. Esta variabilidad se puede observar en el comportamiento motor de un sujeto al realizar múltiples ejecuciones de una tarea o gesto técnico concreto, impidiendo la ejecución de dos gestos técnicos iguales como consecuencia tanto de la variabilidad intrínseca como extrínseca que afectan al sujeto (Glass y Mackey, 1988; Newell y Slifkin, 1998). Esta variabilidad era considerada como un error del sistema que afectaba a la traducción inexacta de los comandos procedentes del programa motor al sistema neuromuscular. Por este motivo, la variabilidad era entendida como un factor limitante de la ejecución y por tanto debería ser eliminado o minimizado (Schmidt, Zelaznick, Hawkins, Frank y Quinn, 1979).

Estudios recientes comienzan a considerar la variabilidad como una estrategia del sistema que le permita una mayor exploración del entorno y con ello una mejor adap-

tación a entornos en constante cambio (Schöllhorn, Mayer-Kress, Newell y Michelbrink, 2009; Phillips, Davids, Renshaw y Portus, 2010), lo que va a permitir al deportista una respuesta más eficaz ante las diferentes situaciones que puedan surgir durante las acciones de juego. Por otro lado, se encuentran trabajos que difieren de los comentados anteriormente, en los que encontraron que en acciones de corta duración, aumentos en la variabilidad en la velocidad de la mano provocaban disminuciones en la precisión (Darling y Cooke, 1987; Menayo, Moreno, Fuentes, Reina y Damas, 2012). Por otro lado, en el estudio de Wagner, Pfusterschmied, von Duvillard y Müller (2011) analizaron las diferencias en el rendimiento y la variabilidad en diferentes técnicas de lanzamiento en balonmano, llegando a la conclusión que los jugadores más expertos tienen la capacidad de compensar los incrementos en la variabilidad durante la aceleración de los segmentos más distales. Estudios recientes han centrado su análisis cinemático sobre el rendimiento en habilidades de precisión y en el servicio en tenis en particular. Reid, Whiteside y Elliott (2011) analizaron cómo se modifica la cinemática en el primer y segundo servicio en función de la dirección.

Este estudio pretende aportar información acerca de cómo puede afectar la variabilidad que se da en los patrones motores durante la ejecución del gesto técnico, y más concretamente en el saque en tenis, e intentar relacionarla con la velocidad y la precisión para tratar de identificar factores que pueden tener influencia en el rendimiento del servicio en tenis.

MÉTODO

Participantes

En el estudio participaron voluntariamente 29 jóvenes tenistas (20 varones y 9 mujeres) con una media de edad de 12.9 ± 1.64 años y una estatura media de 150.28 ± 9.56 centímetros. Estos jugadores tenían una experiencia de práctica deportiva de entre 2 y 3 años. Los datos fueron tratados de forma anónima y todos los tutores legales de los participantes fueron informados de los riesgos y beneficios, firmando un documento de consentimiento informado de acuerdo a la Declaración de Helsinki de 1975, revisada en octubre del año 2000.

Variables del análisis

Las variables del estudio relacionadas con el rendimiento de los saques fueron la precisión y la velocidad de los golpes. La precisión se midió a través del error absoluto (en los ejes anteroposterior y transversal), el error radial (Van den Tillaar y Ettema, 2003) y la variabilidad de estos errores calculada mediante la desviación típica de cada uno de estos errores, que representa la dispersión del error cometido

en los servicios realizados respecto a los valores criterio. La velocidad de los saques se midió a través de la velocidad de salida de la pelota.

La variabilidad cinemática del gesto se midió por medio de cuatro sensores de posición sobre la mano, brazo y pelvis del lado dominante y sobre la mano auxiliar, tal y como se explica en el procedimiento. Se analizó la variabilidad cinemática a través de métodos discretos y continuos siguiendo la clasificación de James (2004). La variabilidad del movimiento mediante método discreto se midió a través de la desviación típica de la media de las siguientes variables por cada serie de ensayos:

- Duración del gesto
- Posición espacial de cada sensor en el momento de máxima velocidad de la mano ejecutora
- Rango de movimiento
- Velocidad máxima y tiempo hasta la velocidad máxima de cada sensor

Todas estas variables (excepto la duración) fueron medidas en los tres ejes espaciales transversal (X), anteroposterior (Y) y longitudinal (Z).

Junto a estos valores de dispersión, se analizó la variabilidad de la trayectoria de la mano en cada eje. Para valorar la variabilidad global del movimiento de la mano ejecutora a lo largo del tiempo se optó por una medida de la variabilidad a través de un método continuo (James, 2004; Hamill, Haddad y McDermott, 2000). Para esto, se realizó inicialmente una normalización temporal de las series de datos de la velocidad instantánea de la mano ejecutora, interpolando a 1000 datos, para igualar la longitud de las series de datos. Tras la normalización, se calculó la media y la desviación típica punto por punto de la serie de ensayos de cada participante (ecuación 1 a y b), y a partir de estos datos se calculó la media de la desviación típica de toda la serie de datos (ecuación 1 c) (Winter, 1984) obteniendo una estimación de la variabilidad de la trayectoria de la mano. Para poder analizar cómo evoluciona esta variabilidad a lo largo del movimiento se dividió cada serie temporal en deciles, calculando la desviación típica media para cada decil.

Ecuación 1.

$$\begin{array}{l}
 \text{a)} \\
 M_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{b)} \\
 SD_i = \left(\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - M_i)}{n - 1} \right)^{1/2}
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 \text{c)} \\
 SD_{avg} = \left(\frac{\sum_{i=1}^k SD_i^2}{k} \right)^{1/2}
 \end{array}$$

Instrumental

Para el registro de la velocidad de la pelota en cada uno de los servicios, se utilizó el radar «Sports Radar SR3600» con una sensibilidad de ± 1 km/hora. El radar se encontraba ubicado en un trípode por detrás del participante apuntando a la diana situada en la zona abierta del cuadro de saque.

Durante la evaluación se filmó la zona del cuadro de saque con una cámara digital «Sony HDR-SR8E» (a 50 hz de frecuencia de registro) para determinar el lugar de impacto de cada servicio. Los botes de la pelota fueron digitalizados mediante el software Kinovea, y se calcularon las coordenadas reales para determinar el error radial de cada uno de los servicios y poder así obtener la precisión de los mismos. La cámara estaba situada a una altura de 3 metros del suelo orientada a la zona del cuadro de saque.

Las variables cinemáticas del movimiento de la mano, brazo y cadera del lado ejecutor y de la mano auxiliar, fueron registradas mediante un sensor electromagnético de posición (Polhemus Liberty). Este sistema dispone de 6 grados de libertad, con una precisión de 0.08 cm. para la posición en los tres ejes espaciales y 0.15° para la orientación angular y una frecuencia de registro de 240 Hz para cada sensor.

Procedimiento

En la medición efectuada, los jugadores se situaban detrás de la línea de fondo en el lado izquierdo de la pista, a 0.8 metros del centro de la misma (Figura 1). Cada jugador, realizó un calentamiento específico en pista de 10 minutos de duración.

Tras el calentamiento, se colocaron sobre los participantes los cuatro sensores colocados con la siguiente ubicación: posición dorsal de la mano dominante (parte medial del metacarpo), posición medial del húmero (impresión o tuberosidad deltoidea del brazo dominante), cresta ilíaca del lado dominante y posición dorsal de la mano no dominante (parte medial del metacarpo). Tras la colocación de los sensores, el participante realizaba 2 saques de familiarización antes de iniciar el proceso de medición.

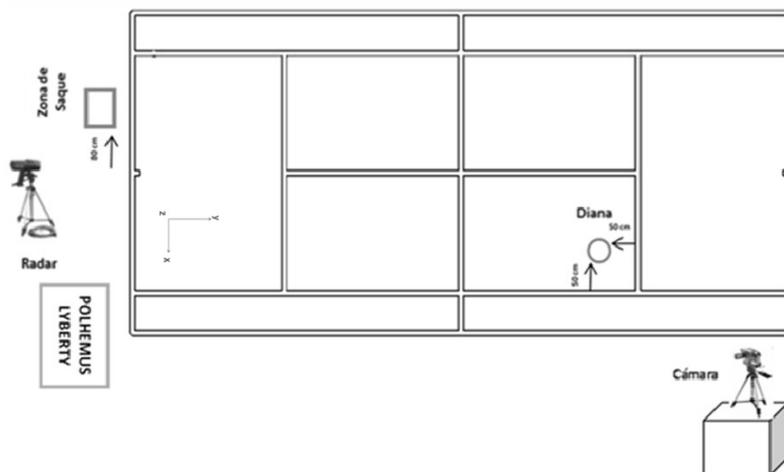


FIGURA 1: Ubicación del instrumental dentro de la pista

Las pelotas (Dunlop Brillance, nuevas) se entregaban una a una para cada ejecución. Cada jugador realizaba 20 primeros servicios divididos en dos bloques de 10 ensayos hacia una diana de 50 x 50cm, situada en la zona abierta o esquina del cuadro de saque del lado de la ventaja (Figura 1). Se efectuaba una pausa de 30 segundos entre bloques. A todos los participantes se les dieron las mismas instrucciones: «Saca a la máxima velocidad y con la mayor precisión posible en dirección a la diana situada en el ángulo abierto del cuadro de saque».

Análisis de datos

Se realizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de los datos y la estimación de valores extremos. Se analizaron las relaciones entre las variables de precisión, la velocidad de la pelota y la variabilidad de los movimientos mediante un análisis de correlación de Pearson.

RESULTADOS

En relación con la precisión de los saques, no se encontró relación entre esta variable con la variabilidad de las posiciones espaciales, ni de la duración o la velocidad de los movimientos (variabilidad en la velocidad y velocidad máxima de cada sensor y tiempos hasta el máximo de velocidad).

El error radial correlacionó positivamente con la variabilidad de la velocidad máxima de la mano en el eje Y ($r=0.551$, $p=0.004$), lo que indica una menor precisión cuando la variabilidad en la velocidad máxima de la mano se incrementa. También se pudo observar que el error radial correlacionaba positivamente con la variabilidad del error en los ejes X e Y, así como con la variabilidad del error radial (Tabla 1).

El error radial correlacionó positivamente con la variabilidad de la velocidad de la pelota ($r=0.465$, $p=0.011$). Lo que indica que aquellos jugadores que muestran una mayor precisión y por ello un menor error radial, tienen menores valores de variabilidad en la velocidad de sus saques.

TABLA 1
Correlaciones entre el error radial y la variabilidad de la dirección del error y la variabilidad del error radial

Error Radial	Variabilidad Error radial	Variabilidad Error X	Variabilidad Error Y
	0.696	0.813	0.627
Sig. (bilateral)	0.001	0.001	0.001
N	29.000	29.000	29.000

En cuanto a la relación de las variables discretas analizadas con respecto a la velocidad de los saques, sólo se encontró una correlación negativa con la variabilidad del rango de movimiento en el eje Z de la mano dominante ($r=-0.388$, $p=0.037$), lo que indica que mayores valores de variabilidad en el desplazamiento en este eje producirán una disminución de la velocidad de la pelota en el saque.

La variabilidad total mostrada por la trayectoria de la mano que sujetaba la raqueta no mostró una relación con la precisión ni con la velocidad de salida de la pelota. Un análisis más pormenorizado de los valores de variabilidad a lo largo de la trayectoria, mediante el análisis de los deciles en los que se dividió, muestran que la variabilidad se va incrementando en la parte final del movimiento. Esto ocurrió así en los tres ejes espaciales analizados. Como se puede observar en la figura 2, los mayores niveles de variabilidad se encuentran en la parte final del movimiento, mientras que al inicio y en una zona intermedia del movimiento, los niveles de variabilidad son más reducidos.

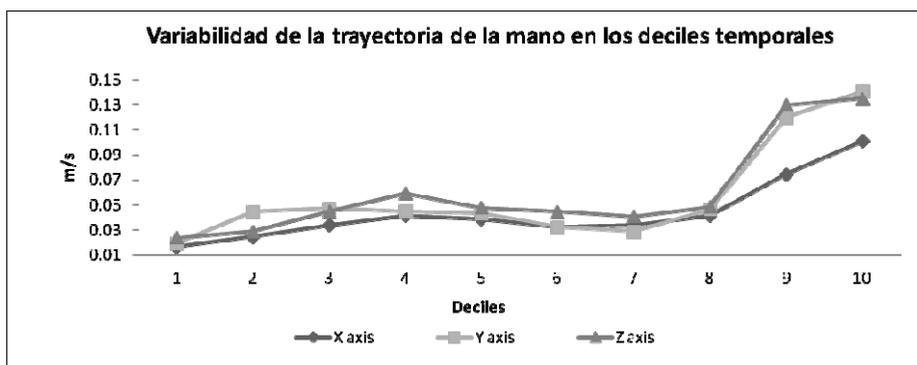


FIGURA 2: Evolución de la desviación típica de la velocidad de la mano ejecutora en los 3 ejes espaciales, durante cada una de los deciles en los que se dividió el gesto técnico.

En cuanto a la variabilidad de la trayectoria de la mano en relación con el rendimiento de los saques, se obtuvieron relaciones diferentes en función de los ejes, y el decil en el que se dividió el movimiento.

La velocidad del saque correlaciona negativamente con la variabilidad de la trayectoria de la mano dominante en la fase inicial del movimiento en los ejes X y Z, como se puede observar en la tabla 2.

TABLA 2
Correlación entre la velocidad del saque y la variabilidad de la trayectoria de la mano en los ejes X y Z en los deciles 1 y 2 del movimiento

Velocidad del Saque	Variabilidad Eje X decil 1	Variabilidad Eje Z decil 1	Variabilidad Eje Z decil 2
	-0.417	-0.529	-0.460
Sig. (bilateral)	0.024	0.003	0.012
N	29.000	29.000	29.000

Por otro lado, aparecen correlaciones positivas entre el error radial de los saques y las desviaciones típicas de la velocidad de la mano dominante en el eje Y y Z durante la fase intermedia del movimiento, indicando que una mayor variabilidad en las fases intermedias conlleva un mayor error radial y por lo tanto una disminución en la precisión del saque. No obstante, la variabilidad de la trayectoria de la mano en la fase final del movimiento en el eje X, se relacionó positivamente con el error radial en la parte final del movimiento. Estos resultados se pueden observar en la tabla 3.

TABLA 3
Correlación entre el error radial de los servicios y las desviaciones típicas en los ejes X, Y y Z en diferentes fases del movimiento

Error Radial	Variabilidad Eje X decil 9	Variabilidad Eje X decil 10	Variabilidad Eje Y decil 4	Variabilidad Eje Y decil 5	Variabilidad Eje Z decil 6
	0.414	0.555	0.388	0.432	0.466
Sig. (bilateral)	0.026	0.002	0.038	0.019	0.011
N	29	29	29	29	29

DISCUSIÓN

En este estudio se ha tratado de relacionar los valores de precisión y de velocidad de los saques de jóvenes tenistas con la variabilidad del movimiento. Para ello se han utilizado una metodología discreta de estimación de la variabilidad cinemática de la acción y metodologías continuas sobre la trayectoria del movimiento de la mano que sujeta la raqueta.

Atendiendo a los resultados obtenidos, no se ha encontrado relación entre la variabilidad del movimiento expresado en las variables cinemáticas analizadas en este estudio mediante métodos discretos (James, 2004), con la precisión de los saques. Estos resultados no concuerdan con algunos trabajos anteriores en los que algunas de estas variables se relacionaron con una disminución en el rendimiento en velocidad o precisión (Darling y Cooke, 1987; Menayo et al, 2012). No obstante, los resultados obtenidos en la variabilidad del rango de movimiento en el eje longitudinal de la mano que sujeta la raqueta parecen estar relacionados con una disminución de

las velocidades máximas de los saques. Las variaciones en el rango de movimiento en este eje están relacionadas con la variación en la altura de golpeo de la pelota (eje Z). Estas variaciones en la altura del golpeo de la pelota podrían obligar al deportista a disminuir la velocidad de sus servicios para intentar ajustarse a los golpes de la pelota. No obstante, los resultados actuales no permiten establecer una clara relación entre estas variables y sería necesario profundizar en estudios en este sentido.

La división temporal de la ejecución técnica del saque en varias fases ha aportado información más detallada acerca de las características de la ejecución y del efecto de la variabilidad de la ejecución sobre el rendimiento. De este modo, se puede indicar sobre qué fases del movimiento se obtienen resultados más elevados de variabilidad. Se ha podido observar que la mayor variabilidad de la trayectoria se observa en la fase final del movimiento, y se corresponden con los momentos en los que hay una mayor velocidad en los segmentos corporales, ya que las velocidades más altas de la mano en la ejecución del saque en tenis se encuentran próximas al momento del golpeo (Fleisig, et al., 2003). Esto ocurre en los tres ejes analizados, aspecto que podría indicar que en dicho momento y como consecuencia de la velocidad que adquiere la mano, los deportistas muestran menor capacidad para replicar el mismo gesto técnico, aspecto que va en la línea de los trabajos de Glass and Mackey (1988) y Newell and Slifkin (1998) en los que se observa que en la repetición de múltiples ejecuciones de un mismo gesto técnico no se observan dos movimientos iguales. Otra explicación que podría corroborar estos aumentos de variabilidad en la parte final del gesto técnico, podría ser que, al tratarse de la parte final del movimiento, el deportista tiene que intentar corregir cualquier posible error o fluctuación durante las fases iniciales e intermedias del movimiento con el objetivo de alcanzar el rendimiento óptimo en el resultado de la ejecución. Estas cuestiones abren nuevos campos de actuación y nuevas preguntas de investigación que deben guiar una aproximación científica del entrenamiento de la técnica de este tipo de gestos como el saque en tenis.

Por otro lado, en nuestro estudio, se observa que al final del gesto técnico se producen grandes aumentos en la variabilidad del gesto técnico, pero esta variabilidad no parece afectar a ninguna de las variables de rendimiento. Los resultados de este trabajo, pueden complementar el efecto que tiene la variabilidad sobre la ejecución, haciendo referencia a que no toda la variabilidad puede ser considerada como positiva y que en función de en qué parte del gesto surja esta variabilidad, tendrá unas consecuencias diferentes sobre el rendimiento o sus variables en la tarea.

A su vez, al observar el efecto de esta variabilidad sobre la precisión, se observó que un aumento en la variabilidad en la fase intermedia del gesto (en los ejes Y y Z) conllevaba un aumento del error radial. El aumento de la variabilidad en esta fase intermedia puede indicar que es en esta fase en la que se producen mayores ajustes,

necesarios para efectuar el control del golpeo de la pelota. Estos resultados van en la línea de trabajos previos en los que encontraron relaciones inversas entre aumentos en la variabilidad del movimiento y la precisión en acciones de corta duración, donde se mostraron que aumentos en la variabilidad en la velocidad de la mano provocaban disminuciones en la precisión (Darling y Cooke, 1987; Menayo et al. 2012). Por otro lado, en la parte final del gesto no se encontraron relaciones en ninguna de las variables de rendimiento, lo que parece indicar que una vez realizados los ajustes en la parte inicial e intermedia del gesto, el resultado de la acción ya no varía para ninguna de las variables analizadas. Estos resultados están en la línea de los obtenidos por Wagner et al. (2011) que encontraron resultados en los que los jugadores más expertos poseen la capacidad de compensar incrementos en la variabilidad durante la fase final del gesto técnico.

Respecto a los resultados que relacionan la variabilidad cinemática del comienzo del movimiento y la velocidad de los saques, los jugadores que presentan una mayor variabilidad en la fase inicial del movimiento presentaban una disminución de la velocidad de los servicios, aspecto que podría ser debido a la necesidad de ajustar el movimiento en función del lanzamiento de la pelota, lo que podría implicar una reducción del tiempo en el que poder aplicar fuerza y por tanto una pérdida de velocidad en el saque. Los resultados de disminuciones de la velocidad como consecuencia de la variabilidad en el inicio del gesto, parecen mostrarse en contraposición con los estudios de Schollhorn et al. (2009) y Phillips, et al. (2010), los que indicaban que una mayor variabilidad permitía al sujeto una mayor exploración y adaptación a las necesidades del entorno, lo que permitía al deportista responder de un modo más eficaz ante las diferentes acciones de juego.

Los resultados obtenidos en el estudio ayudan a clarificar los efectos de la variabilidad como característica inherente del movimiento, tratando de mostrar cómo pueden influir las oscilaciones de variabilidad sobre las variables de rendimiento. Sería interesante profundizar sobre los procesos causantes de esta variabilidad para tratar de aportar más información sobre los efectos de la variabilidad en diferentes fases del gesto técnico, que pudieran explicar sus efectos sobre las variables de rendimiento en esta u otras acciones de juego.

REFERENCIAS

- Bahamonde, R. (2000). Angular momentum changes during the tennis serve. *Journal of sport science*, 18, 579-592.
- Bayios, I. A., Anastasopoulou, E. M., Sioudris, D.S., y Boudolos, K. D. (2001). Relationship between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 41(2), 229-235.

- Darling, W.G., y Cooke, J.D. (1987). Chance in the variability of movement trajectories with practice. *Journal of Motor Behavior*, 19(3):291-309.
- Fleisig, G., Nicholls, R., Elliott, B., y Escamilla, R. (2003). Kinematics used by World class Tennis players to produce high-velocity serves. *Sport Biomechanics*, 2:1, 51-64. <http://dx.doi.org/10.1080/14763140308522807>
- Glass, L., y Mackey, M.C. (1988). From clocks to chaos: The rhythms of life. Princeton, New York: Princeton University Press
- Gorostiaga, E.M., Granados, C., Ibañez, J., y Izquierdo, M. (2005). Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 26(3), 225-232.
- Hamill, J., Haddad, J.M., y McDermott, W.J., (2000). Issues in quantifying variability from a dynamical systems perspective. *Journal of Applied Biomechanics* 16, 407-418.
- James, C.R. (2004). *Considerations of Movement Variability in Biomechanics Research*. En: Stergiou N, ed. Innovative Analyses for Human Movement. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers: 29-62.
- Kovacs, M.S., y Ellenbecker T.S. (2011). A performance evaluation of the tennis serve: Implications for strength, speed, power, and flexibility training. *Strength and Conditioning Journal*, 33(4), 22-30.
- Matsuo, T., Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., Barrentine, S.W., y Andrews, J.R. (2001). Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 1-13.
- Menayo, R., Moreno, F.J., Fuentes, J.P., Reina, R., y Damas, J.S. (2012). Relationship between motor variability, accuracy and ball speed in the tennis serve. *Journal of Human Kinetics*, 33, 45-53.
- Newell, K.M., y Slifkin, A.B. (1998). *The nature of movement variability*. In: Piek JP, ed. Motor behavior and human skill: a multidisciplinary perspective. Champaign, IL: Human Kinetics, 143-60.
- Phillips, E., Davids, K., Renshaw, I y Portus, M. (2010). Expert performance in sport and the dynamics of talent development. *Sports Medicine*, 40(4), 271-283.
- Reid, M., Whiteside, D., y Elliott, B. (2011). Serving to different locations: set-up, toss, and racket kinematics of the professional tennis serve. *Sports Biomechanics*, 10(4), 407-414.
- Schmidt, R.A., Zelaznick, H.N., Hawkins, B., Frank, J.S., y Quinn, J.Y. (1979). Motor-output variability of rapid motor acts. *Psychological Review*, 86, 415-451.
- Schöllhorn, W.I., Mayer-Kress, G., Newell, K.M., y Michelbrink, M. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human Movement science*, 28, 319-333.
- Van den Tillaar, R., y Ettema, G. (2003). Influence of instruction on velocity and accuracy of overarm throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 96, 423-434.
- Van den Tillaar, R., y Ettema, G. (2006). Comparison between novices and experts of the velocity accuracy trade off in overarm throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 103, 503-514.

- Wagner, H., Pfusterschmied, J., von Duvillard, S., y Müller, E. (2011). Performance and kinematics of various throwing techniques in team-handball. *Journal of Sport Science and Medicine*, 10, 73–80.
- Winter, D.A., (1984). Kinematic and kinetic patterns of human gait; Variability and compensating effects. *Human Movement Science*, 3, 51-76