

Influencia de la aceleración lineal de la mano-raqueta y de su posición sobre la precisión del servicio plano en tenis. Un estudio de caso

Influence of linear acceleration and position of the hand-racket on the accuracy of tennis flat serve. A case study.

Ruperto, A.¹, Sánchez P.A.¹, Leo, F.^o M.¹

¹ Laboratorio de Control y Aprendizaje Motor. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Universidad de Extremadura.

Dirección de contacto

Ruperto Menayo Antúnez: ruper@unex.es

Fecha de recepción: 30 de marzo de 2008

Fecha de aceptación: 16 de octubre de 2008

RESUMEN

En este estudio se presentan los resultados correspondientes a una investigación que trata de evaluar cómo afecta la modificación de las condiciones instrumentales de práctica en el servicio plano en tenis sobre la precisión en esta habilidad motora. Mediante el uso de un sensor de posición tridimensional y un radar se analizaron diferentes variables cinemáticas relacionadas con la posición y aceleración de la mano que sujeta la raqueta. Se registraron datos de su trayectoria hasta el impacto durante la última fase de ejecución, comparándose posteriormente con la precisión alcanzada. Ésta se registró mediante un sistema de digitalización del bote de la pelota en el pavimento de la pista de tenis. Los resultados muestran correlaciones entre variables vinculadas a la aceleración lineal de la mano y a su posición y las pérdidas de precisión en anchura.

Palabras clave: Servicio en tenis, aprendizaje, aceleración lineal, posición de la mano, precisión.

ABSTRACT

This study presents the results for an investigation that seeks to assess how the modification of the instrumental condition of practice in the tennis flat service affects on the accuracy in this motor skill. Using a three-dimensional position sensor and radar were analyzed different kinematics variables related to the position and acceleration of the hand that holds the racket. Data of its trajectory until impact during the last phase of implementation were registered that was compared with the accuracy achieved. It was

recorded through a system of ball ship digitalization on the tennis court pavement. The results show correlations among variables associated with linear acceleration of the hand and its position and the loss of accuracy in width.

Key words: Tennis service, learning, linear acceleration, position of the hand, accuracy.

INTRODUCCIÓN

Uno de los tópicos más estudiados en la actualidad dentro del área del control y del aprendizaje motor es el análisis de las variables que determinan el desarrollo de la práctica de habilidades motrices. En concreto la variabilidad en sus tres ámbitos: práctica, ejecución y resultado; y su influencia sobre la consecución del objetivo de la acción son líneas de investigación a desarrollar en los próximos años.

En esta línea, con nuestro estudio tratamos de obtener información, sobre estas tres variables durante la ejecución de una habilidad como es el servicio en tenis.

Entre los aspectos cualitativos determinantes de la ejecución nos centraremos en variables como la velocidad y la precisión requeridas, que nos indican el compromiso existente entre ambos parámetros cuando, como ocurre con el servicio, la dificultad de ejecución de la tarea es elevada. Aquí, el rendimiento no será influido tanto por la cantidad de velocidad necesaria, sino por la capacidad de realizar el adecuado control neuromuscular que permita la obtención de un movimiento eficaz. En estos casos, las dificultades para aprender y ejecutar este tipo de tarea estarán provocadas por deficiencias en las sensaciones propioceptivas o por los desequilibrios musculares producidos durante la contracción entre agonistas y antagonistas (procesos estocásticos o ruidos). Por tanto, ambas variables -velocidad y precisión- parecen ser *a priori* determinantes para la eficacia en el servicio en tenis.

Con relación a nuestro estudio, se hace necesario establecer la diferencia entre los conceptos de variabilidad en la ejecución y variabilidad en el resultado. En cuanto a la primera, es evidente que en la ejecución de una habilidad motriz no existen dos movimientos exactamente idénticos en sucesivos ensayos, incluso en los casos en los cuales el ejecutante es la misma persona. Esto es debido a que la variabilidad del movimiento es inherente a los sistemas biológicos. Así, si analizamos los parámetros determinantes de ese movimiento (fuerza, velocidad, aceleración, posición, altura del golpeo, intensidad de contracción muscular, etc.), observaremos que pueden aproximarse en los diferentes ensayos a valores similares, pero nunca serán los mismos y lo más probable es que exista un rango en el cual se sitúen. En estos casos, siguiendo

a Newell y Corcos (1993), el sistema sensoriomotor responsable de la ejecución del movimiento presenta múltiples grados de libertad, que aumentan a medida que profundizamos en las unidades que lo conforman (músculos, articulaciones, fibras musculares, unidades motoras, células, etc.), con lo cual, la variabilidad del movimiento estará asociada a la intervención de estos elementos y afectará al patrón final.

En cuanto a la variabilidad del resultado, existen estudios que utilizaron las desviaciones típicas obtenidas en una serie de lanzamientos a una diana con el fin de determinar la consistencia del gesto a través de la medida de la dispersión o variabilidad existente en cada uno de los ensayos. Sin embargo, en la actualidad la relación entre los dos conceptos de variabilidad no se encuentra completamente explícita, existiendo numerosos estudios que intentan determinar la posible conexión entre ambas. Comparando el desarrollo de un movimiento con las consecuencias del mismo, aún no puede afirmarse con rotundidad que la variabilidad en la ejecución del mismo lleve asociada la variabilidad en su resultado y posiblemente, esta relación dependa en gran medida del tipo de habilidad motriz ejecutada. Es decir, en el caso del servicio en tenis, aunque se han realizado estudios cinemáticos concretos al respecto como los de Subijana y Navarro (2003), Elliot, Fleisig, Nicholls y Escamilla (2003), Fleisig, Nicholls, Escamilla y Elliot (2002), Lo, Wang, Lin y Su (2003), Papadopoulos, Emmanouilidou y Prassas, (2000) y Wang, Wu y Su, (2000), no parece existir evidencia empírica que confirme que la variabilidad en los parámetros que intervienen en el movimiento, produzca también variabilidad en el resultado del mismo.

MÉTODO

Muestra

En esta investigación ha participado un tenista con una experiencia media en el juego de 15.50 años, habiendo disputado en competiciones de categoría regional y nacional.

Variables

Como variable independiente se empleó la variabilidad de las condiciones de práctica, definida en 10 niveles correspondientes a las 10 series. Como variable

dependiente se utilizaron el error absoluto y constante en anchura y en profundidad, que nos dio la medida de la precisión en términos de cantidad y dirección del error.

Instrumental de registro

Se emplea un protocolo adaptado a partir de otros empleados para el registro de la respuesta motriz en habilidades abiertas (Menayo, Fuentes, Sabido y Reina, 2005). El instrumental empleado fue el siguiente:

- Ordenador portátil (Toshiba Satellite 1900), utilizado para el registro y análisis de las variables cinemáticas correspondientes a los servicios ejecutados, a través de una aplicación programada en lenguaje LabView.
- Polhemus Fastrak. Se trata de un sensor de posición con tres grados de libertad, con una precisión de 0.08 cm. para el receptor de posición “x”, “y” y “z” y de 0.15° para el receptor de orientación. El número de datos, con un único receptor, es de 120 Hz.
- Radar (Sports Radar SR 3600), para el registro de la velocidad de los servicios.
- Micrófono inalámbrico y sistema de captación de sonido, para el registro del impacto de la pelota sobre las cuerdas de la raqueta.
- Videocámara digital para la filmación de los botes de las pelotas en la pista.

RESULTADOS

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos en precisión, expresando en centímetros la cantidad y la dirección del error con respecto al valor idóneo correspondiente al centro de la diana.

Tabla 1. Descriptivos del error absoluto y constante en anchura y profundidad. Series 1 y 12.

	M	SD	Máx.	Min.
eax1	55,017	44,349	193,289	3,468
eax12	104,57	52,71	206,17	13,05
eay1	316,643	332,973	912,048	7,510
eay12	345,14	349,60	953,87	9,94
ecx1	-3,746	71,681	193,289	-99,340
ecx12	103,27	55,35	206,17	-13,05
ecy1	10,306	465,080	813,612	-912,048
ecy12	108,92	484,89	824,35	-953,87

A continuación, se realizó una prueba t de medidas repetidas entre las series 1 y 12, sobre las variables error absoluto y error constante, con el fin de analizar el efecto de la práctica en condiciones de variabilidad.

Los resultados muestran diferencias significativas en los valores del error absoluto y constante en anchura (Tabla 2).

Tabla 2. Diferencias significativas entre series 1 y 12 en anchura.

		M	SD	t	gl	Sig.
Par 1	Eax1 - eax12	-49.558	74.104	-2,991	19	0.008
Par 2	Eay1 - eay12	-28.494	466.150	-0.273	19	0.788
Par 3	Ecx1 - ecx12	-107.016	99.247	-4,822	19	0.000
Par 4	Ecy1 - ecy12	-98.613	532.589	-0.828	19	0.418

A partir de estos resultados llevamos a cabo un análisis correlacional, con el propósito de descubrir posibles relaciones entre los valores del error absoluto y constante en anchura y las variables cinemáticas del servicio registradas durante las sesiones de práctica variable.

Así, en la Tabla 3 se presentan las relaciones halladas en función de las modificaciones introducidas por series.

Tabla 3. Correlaciones halladas entre los valores del error absoluto y constante en anchura y diversas variables cinemáticas correspondientes a las series 5, 6, 10 y 11.

Serie	Modificación	EAX	r de Person	ECX	r de Person
S5	Pelota tenis-paleta goma	altx	r = 636; p < .05	vkmh	r = -.761; p < .05
				poiyy	r = .693; p < .05
				tpalx	r = -.668; p < .05
S6	Pelota frontenis-raqueta tenis	dur poiyy	r = 633; p < .05 r = 835; p < .01	tpaly	r = .644; p < .05
				alfz	r = .764; p < .05
S10	Secuencia aleatoria	pofx poiyy	r = -.662; p < .05 r = -.674; p < .05	alty	r = -.651; p < .05
				altz	r = -.651; p < .05
S11	Secuencia aleatoria			pofx	r = -.682; p < .05
				alfy	r = -.665; p < .05

En la tabla 3 observamos las correlaciones entre el error absoluto y constante y diferentes variables cinemáticas con variaciones en la realización de los servicios. Se aprecia que las variables cinemáticas relacionadas con el error en anchura y en profundidad son distintas en cada serie.

DISCUSIÓN

Los resultados muestran como el rendimiento del jugador tras la práctica en condiciones de variabilidad ha empeorado notablemente en anchura y en profundidad. Se observa como los valores de cantidad y dirección del error son más elevados que en el pre-test. Incluso, se aprecia que estas diferencias en los valores medios de precisión son significativas en anchura. Este resultado nos lleva a determinar que el tenista some-

tido a condiciones de variabilidad extremas ha perdido rendimiento al desviar sus servicios de la diana en anchura. Cabe resaltar que no se hayan encontrado diferencias en profundidad, por lo que este tipo de entrenamiento no afecta a este parámetro. Este resultado difiere de los apuntados en otros muchos estudios, como por ejemplo el de Waddington y Adams (2003), al afirmar que un nivel incrementado de variabilidad sobre una acción de carácter propioceptivo (autorreguladas o cerradas, según la clasificación) mejora la capacidad del deportista para discriminar su posición y corregir el movimiento de manera más efectiva, el de Schöllhorn (1999), en su trabajo con lanzadores de peso, o los de Magill (2001) y Schmidt (2003) en sus aportaciones acerca de los efectos de la práctica variable sobre habilidades cerradas.

Por otro lado, las modificaciones en las condiciones instrumentales de ejecución del servicio han podido producir las diferencias entre pre-test y post-test en los dos parámetros del error. Las correlaciones indican una relación entre cada condición de práctica y la variable concreta que se modifica produciendo ese posible aumento el error.

En la Serie 5, en la cual el tenista realizó el servicio plano con pelota de tenis y paleta-goma, el error absoluto en anchura correlaciona de manera positiva con la aceleración lineal total de la mano en el eje "x". Esto indica la posible influencia de esta variable durante el recorrido de la mano en la última fase del servicio en la pérdida de precisión. Este resultado se repite en la misma serie con el error constante, que correlaciona positivamente con la posición inicial de la mano en el eje "y" y con el tiempo al pico de aceleración lineal en el eje "x". En esta misma serie, la velocidad de salida de la pelota correlaciona de manera negativa con el error constante, lo que determina que a menor potencia de golpeo mayor es la pérdida de rendimiento en la dirección de los servicios.

Estos resultados pueden explicarse desde las características de la paleta-goma, cuyo elevado peso (460 g.) puede haber modificado el patrón de ejecución del servicio, afectando a los valores de aceleración de la mano, a su posición al inicio del movimiento y a la potencia del impacto. En la Serie 6 el jugador realizó los servicios con raqueta de tenis y pelota de frontenis. Esta modificación produce correlaciones positivas entre la duración del movimiento y la posición inicial de la mano en el eje "y" con el error absoluto en anchura

respectivamente. Del mismo modo, estas correlaciones se observan entre el error constante y el tiempo al pico de aceleración lineal en el eje "y" y la aceleración lineal final en el eje "z". Posiblemente, al utilizar una pelota mucho más ligera (40 g.) que la de tenis, se hayan producido modificaciones en el lanzamiento que han afectado tanto a la posición de la mano y a la duración del movimiento –aumentando la cantidad de error–, como a la aceleración de la mano, que ha tendido que aumentar para adaptarse al cambio de pelota. En la Serie 10, los resultados del error absoluto en los servicios practicados en secuencia aleatoria respecto a las condiciones instrumentales de práctica, correlacionan positivamente con las posiciones inicial y final de la mano en el eje "y" y "x" respectivamente. Este dato muestra una posible relación entre el cambio constante de materiales y las posiciones de la mano al comienzo y al inicio del movimiento, produciendo desadaptaciones que han afectado a la precisión en anchura en esta serie. En esta misma serie, las aceleraciones lineales totales en los ejes "y" y "z" indican una posible relación negativa entre estas variables y la dirección de los servicios, de manera que a medida que éstas disminuyen, la dirección del error en anchura aumenta. Y esto mismo sucede en la serie 11 con la posición final de la mano en el eje "x" y la aceleración lineal final en el eje "y".

CONCLUSIONES

Con los datos extraídos podemos afirmar que las variables de mayor peso en la ejecución precisa del servicio están relacionadas con la aceleración de la mano en los tres ejes espaciales, así como su posición en "x" e "y", durante el movimiento hasta el impacto con la pelota. Al introducir perturbaciones en este movimiento se han modificado los parámetros del error, con la consiguiente pérdida de rendimiento. Por tanto, en el servicio plano en tenis, podríamos dirigir la investigación acerca de aquellas variables presentes en contextos de aprendizaje y competición en los cuales aparecen elementos que afectan a estas dos variables y producen pérdidas en el rendimiento de los tenistas. Cabe terminar indicando que debemos seguir investigando en esta línea, con la finalidad de determinar los límites mínimos y máximos de variabilidad a la hora de diseñar tareas de aprendizaje y entrenamiento, que permitan la modificación óptima del rendimiento de nuestros deportistas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Elliot, B., Fleisig, G., Nicholls, R. & Escamilla, R. (2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6 (1), 76-87.
- Fleisig, G., Nicholls, R., Escamilla, R. & Elliot, B. (2002). Kinematics and kinetics of the high velocity in tennis serve. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (5), 105.
- Lo, K., Wang, L., Lin, H. & Su, F. (2003). Momentum transfer of upper extremity segments during the tennis serve. In, S. Miller, *Tennis Science and Technology*, 2, pp. 185-191. Canada: Webcom Ltd.
- Magill, R.A. (2001). *Motor Learning: Concepts and Applications*. (6th Ed.). New York: McGraw-Hill.
- Menayo, R., Fuentes, J.P., Sabido, R. y Reina, R. (2005). Desarrollo de un protocolo automatizado para el aprendizaje y el entrenamiento de los golpes del tenis manipulando las condiciones de la práctica. *Congreso Internacional UEM*. Madrid: Universidad Europea de Madrid.
- Newell, K. M., & Corcos, D.M. (1993). *Variability and Motor Control*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Papadopoulos, C., Emmanouilidou, M. & Prassas, S. (2000). Kinematic analysis of the service stroke in tennis. In S.J. Haake and A.O. Coe (Eds.), *Tennis Science and Technology*, pp. 383-387. Londres: Blackwell Science Ltd.
- Schmidt, R. A. (2003). Motor schema theory after 27 years: reflections and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74, 366-375.
- Schöllhorn, W. (1999). Individualität-ein vernachlässigter parameter? *Leistungssport*, 29 (2), 4-11.
- Subijana, C. & Navarro, E. (2003). An approach in determining adequate filming frequency in a biomechanical analysis of tennis serves. In S. Miller, *Tennis Science and Technology*, 2 (pp. 211-216). Canada: Ed. Webcom Ltd.
- Waddington, G. & Adams, R. (2003) Football boot insoles and sensitivity to extent of ankle inversion movement. *British Journal Sports Medicine*, 37, 170-175.
- Wang, L., Wu, C. & Su, F. (2000). Kinematics of trunk and upper extremity in tennis flat serve. In S.J. Hake and A.O. Coe (Eds.), *Tennis Science and Technology*, pp. 395-400. Lenders: Blackwell Science Ltd.