

RELACIÓN ENTRE VARIABILIDAD DE LA PRÁCTICA Y VARIABILIDAD EN LA EJECUCIÓN DEL SERVICIO PLANO EN TENIS

Menayo, R. ¹; Fuentes, J. P. ²; Moreno, F. J. ³; Reina, R. ³; García, J. A. ⁴

1. Facultad de Ciencias de la Salud, de la Actividad Física y del Deporte. UCAM
 2. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura
 3. Centro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche
 4. Facultad de Educación. Universidad de Salamanca
-

RESUMEN

Este estudio investiga acerca de la relación existente entre la variabilidad en la ejecución del servicio plano en tenis y la práctica variable del mismo, partiendo de un análisis predictivo de las variables cinemáticas instantáneas que definen el movimiento de la mano que sujeta la raqueta. 17 tenistas pasaron por 8 condiciones de práctica precedidas de un test inicial y finalizadas con un test final. En dichas series se variaron el implemento utilizado y la pelota. Cada jugador realizó 120 golpesos, con la instrucción de golpear a la máxima potencia manteniendo la eficacia. Los datos obtenidos identifican como variables predictoras de la eficacia en un 57.7 % a dos parámetros relacionados con la velocidad y con la aceleración de la mano: los coeficientes de variación del tiempo hasta el pico de velocidad lineal de la mano en el eje Y y la aceleración lineal final de la mano en el mismo eje. También muestran diferencias significativas entre numerosas variables cinemáticas instantáneas medidas entre el pre-test y las series de práctica variable, así como correlaciones negativas y significativas entre estas variables y la eficacia obtenida en los servicios.

Palabras clave: variabilidad, tenis, servicio

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between the variability in the performance of the flat tennis service and its practice under variable conditions, taking as a starting point a predictive analysis of the instantaneous kinematic variables of the hand that holds the racket. Seventeen tennis players performed services under 8 practice conditions (rackets and balls were modified), and pre-test and post-test were carried out. The players performed 120 services with the instruction to hit the ball powerfully and maintaining maximum efficiency. Data showed that two variables related to the speed and the acceleration of the hand will predict efficacy at 57.7%: both the time variation coefficients until we reach the speed peak and the final acceleration of the hand in the Y axis. Significant differences were also obtained between some instantaneous kinematic variables measured in the pre-test and the practice series, and also negative and significant correlations between these variables and the efficacy of the services.

Key Words: variability, tennis, service

Correspondencia:

Ruperto Menayo Antúnez
Facultad de Ciencias de la Salud, de la Actividad Física y del Deporte.
Campus de Los Jerónimos, s/n 30107 Guadalupe (Murcia)
rmenayo@pdi.ucam.edu

Fecha de recepción: 23/05/2010

Fecha de aceptación: 28/11/2010

INTRODUCCIÓN

La variabilidad es una característica presente en los sistemas biológicos, inicialmente caracterizada como los cambios que ocurren en el rendimiento motor a lo largo de múltiples repeticiones de una tarea (Glass y Mackey, 1988). Son varios los autores que reflexionan en torno al fenómeno de la variabilidad motora, haciendo referencia a las características variables de los seres vivos e incidiendo sobre su presencia en el comportamiento humano (Newell y Corcos, 1993; Newell y Slifkin, 1998). Esta variabilidad se traslada al ámbito del comportamiento motor para explicar las diferencias existentes en dicho comportamiento entre varios individuos e, incluso, en las acciones motrices realizadas por una misma persona. A partir del conocimiento de los parámetros cinéticos, cinemáticos y neurofisiológicos que producen y regulan el movimiento humano se ha podido demostrar la inexistencia de dos movimientos exactamente idénticos, existiendo diferencias intra e inter individuales en la ejecución de una misma tarea motriz (Newell y Slifkin, 1998).

La variabilidad se presenta como una característica diferenciadora del comportamiento de un individuo e, incluso, de su capacidad para ejecutar un movimiento en un entorno determinado. Por ejemplo, podría establecerse el nivel de rendimiento en una habilidad a partir de la capacidad de adaptación a las demandas de la tarea, tomando como referencia la cantidad, el momento de aparición, la estructura y el tipo de variabilidad presente durante la ejecución de la acción.

La variabilidad también está presente en diferentes niveles de organización del movimiento. Dicha presencia se debe a las interacciones que se producen entre los múltiples sistemas y condicionantes que participan en la producción y en el control del movimiento, siendo resultado directo de los grados de libertad asociados al mismo (Bernstein, 1967). Lejos de ser interpretada como perjudicial para el rendimiento, las nuevas aproximaciones sugieren que cuando la variabilidad aparece en la ejecución motora puede ser beneficiosa para la organización y la ejecución del movimiento, incluso, representar un índice de la capacidad de resistencia a los condicionantes relacionados con dicha ejecución.

Desde esta perspectiva, se establece que la variabilidad puede ser un índice a considerar, relacionado con la estabilidad del patrón de movimiento. Una gran cantidad de variabilidad puede sugerir patrones de movimiento inestables, sin embargo, si dicha variabilidad es exploratoria de las posibilidades de acción podría generar una mayor eficacia en la ejecución. En este sentido, existen estudios, fundamentalmente realizados sobre la estabilidad postural, que utilizan esta variable como un posible indicador de consistencia del sistema (por ejemplo, Nashner y McCollum, 1985), pero que abogan por considerar la estabilidad solamente como un exponente de la resistencia a las perturbaciones. En este caso, la variabilidad aportaría flexibi-

lidad al sistema neuromotor, permitiendo el aprendizaje de nuevos patrones de movimiento mediante el ajuste de los parámetros apropiados.

La existencia de variabilidad en la ejecución también puede favorecer la selección, el cambio o la generación de nuevos patrones de movimiento aprendidos con anterioridad, al re-escalar los valores de acceso a los parámetros que definen dichos patrones. Incluso, podría proporcionar perturbaciones estocásticas (aleatorias) que permiten un muestreo constante de diferentes patrones de movimiento, aspecto que favorecería la selección del patrón más apropiado (Newell y Corcos, 1993).

Considerando la variabilidad como característica inherente al movimiento, sería razonable pensar entonces que si la variabilidad se encuentra presente en el desarrollo de las acciones motrices, la práctica variable es un medio a tener en cuenta para facilitar el aprendizaje motor. No obstante, existen estudios que han confirmado los beneficios de la variabilidad al practicar para generar aprendizaje motor e incrementar el rendimiento deportivo (Schölnhorn, Röber, Jaitner, Hellstern y Käubler, 2001; Rein y Simon, 2003; Jaitner y Pfeifer, 2003; Schönherr y Schölnhorn, 2003; Beckman y Schölnhorn, 2003; Wagner, Müller, Kösters, Von Tscharny y Brunner, 2003; Jaitner, Kretschmar y Hellstern, 2003). Dicha práctica parece generar incrementos en la variabilidad en la ejecución del movimiento (Miller, 2002; Sabido, Caballero y Moreno, 2009), dando lugar a pérdidas iniciales de rendimiento, el cual tiende a incrementarse a largo plazo a medida que transcurren los ensayos de práctica, como consecuencia de procesos exploratorios y de búsqueda de una ejecución óptima (Scholz y Schöner, 1999; Zanone y Kelso, 1992; Kelso y Ding, 1993; Newell y Corcos, 1993; van Emmerik y van Wegen, 2000).

Así, entendiendo el comportamiento motor del aprendiz como un proceso dinámico en el cual se desarrolla una relación bilateral con su entorno, la interacción con las tareas de aprendizaje —parámetros de control— le llevará a estados de desequilibrio, de inestabilidad o alejados de un nivel de funcionamiento óptimo. Si estas situaciones se vuelven estables con la práctica, es decir, se convierten en atractores del sistema, el aprendiz habrá logrado una situación de equilibrio (Wallace, 1997) y, por tanto, se habrá adaptado. La variabilidad de la práctica se convertiría así en el medio fundamental para lograr la adaptación. A través de ella se buscará la optimización de la relación entre la dinámica intrínseca del sistema, es decir, de su comportamiento cuando no está sometido a cargas y la dinámica de la tarea, entendida como el comportamiento generado por la influencia de dicha tarea, dando lugar a la generación espontánea de nuevos patrones motores que facilitarán al aprendiz la superación de los condicionantes o limitaciones asociadas a la resolución de la acción.

Esta perspectiva del aprendizaje motor basada en la consideración de la influencia de los condicionantes ligados al organismo —individuo—, a la tarea y al am-

biente (constraints-led-approach) sobre la generación de nuevos estados de atracción, se relaciona directamente con la visión del aprendizaje motor como proceso de adaptación a la variabilidad de las condiciones de práctica (Davids, Chow y Shuttleworth, 2005).

Partiendo de las premisas anteriormente expuestas, este trabajo trata de caracterizar el movimiento descrito por la mano que sujeta la raqueta durante su trayectoria espacial en el servicio plano en tenis. Además, se analiza la relación entre la variabilidad en la ejecución del servicio y las condiciones de práctica variable, valorando los efectos de ésta última sobre su eficacia.

MÉTODO

Participantes

La muestra de estudio estuvo compuesta por 17 tenistas amateur de nivel de perfeccionamiento, con una edad media de 20.88 ± 2.83 años y con una experiencia en la práctica del tenis de 6.94 ± 2.99 años. Todos los participantes eran diestros y participaron voluntariamente en el estudio, firmando al inicio del mismo un formulario de consentimiento informado. Todos los jugadores poseían la habilidad para ejecutar el servicio plano empleando la empuñadura continental.

Instrumental

En la situación experimental diseñada para la toma de datos, se pidió a los tenistas la ejecución de un test inicial de 20 servicios planos, 8 series de 10 servicios planos en práctica variable con modificación de instrumentos, cada una de ellas con la instrucción de golpear la pelota a la máxima potencia posible y tratando de enviar las bolas hacia el centro de una diana de 50 cm de diámetro situada en la zona conocida en el argot tenístico como «T» (intersección de la línea que divide los dos cuadros de saque y sus respectivas líneas de fondo) y un test final de otros 20 ensayos. Para mantener el control sobre la máxima potencia de golpeo se utilizó un radar (Sports Radar SR3600), que registra la velocidad de móviles con una precisión de ± 1 km/h. Para el registro y análisis del movimiento ejecutado por el tenista se empleó el sistema electromagnético de posición Polhemus Fastrak, conectado a un ordenador portátil (Toshiba Satellite 1900). Este aparato dispone de un sensor de posición con tres grados de libertad que alcanza una precisión de 0.08 cm para la posición en los ejes espaciales X, Y y Z y de 0.15 grados para la orientación angular (elevación, rotación y azimut). La frecuencia de registro de datos con un único receptor es de 120 Hz. El instante temporal del impacto sobre la pelota se captó mediante un micrófono inalámbrico (FoneStar MSH 135) e interruptor por sonido (Lafayette 63040*C), sincronizado con el sistema Polhemus Fastrak.

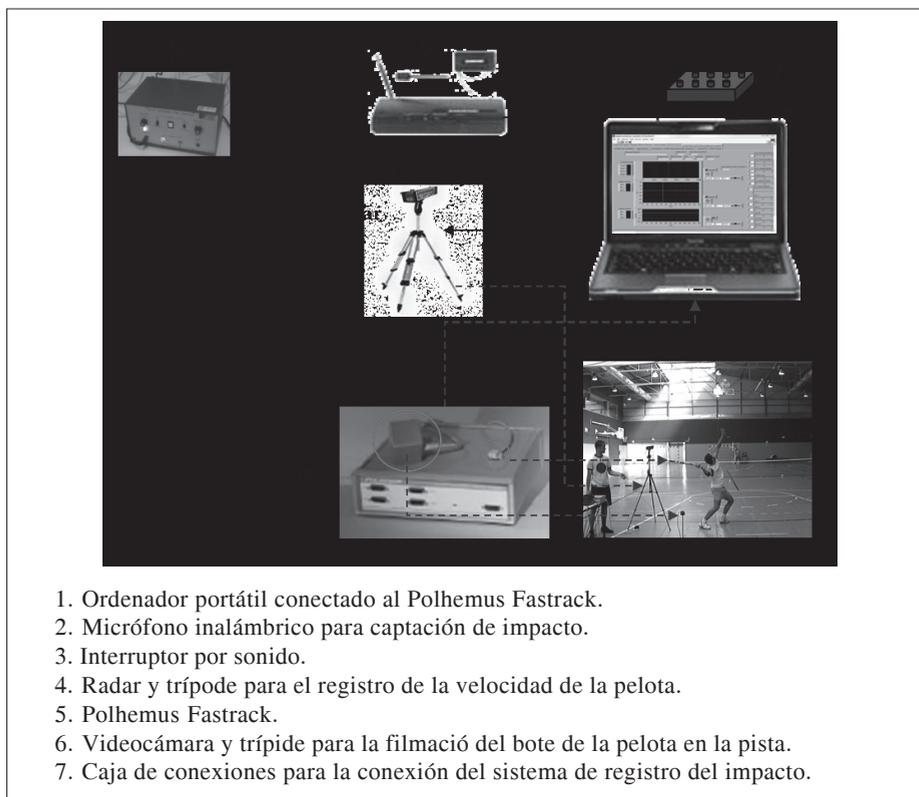


FIGURA 1. Situación experimental e instrumental empleado para la toma de datos.

Procedimiento

Se utilizó un diseño de investigación intra-grupo con el fin de controlar los posibles efectos de las diferencias individuales. El proceso de medida se desarrolló en una pista de tenis cubierta con medidas reglamentarias. Se citó a los jugadores en intervalos de 30 minutos, de manera que no estuvieran presentes durante el desarrollo de las medidas con el resto de tenistas. De este modo, se evitó que pudieran disponer de información previa referente a la toma de datos. Se les informó acerca del objetivo, de su colocación en la zona de saque y de las series de servicios a ejecutar. Cada jugador, realizó un calentamiento individualizado y específico para el servicio, de una duración máxima de 5 minutos. Durante el mismo, cada tenista realizaba un total de 8 servicios.

Una vez que el jugador se encontraba dispuesto con el emisor del Polhemus Fastrack colocado en el dorso de la mano, se iniciaban las series de servicios, comenzando con un test inicial, continuando con las series de práctica variable, balanceadas con respecto al orden de las mismas para controlar el posible efecto de unas

sobre otras y finalizando con un test final (tabla 1). Entre series, el tenista descansaba durante 2 minutos. Un investigador colaborador le aportaba las bolas y las raquetas con el fin de que el sacador no se moviera de la posición determinada para ejecutar los servicios. Un segundo investigador anotaba las velocidades registradas por el radar. Y un tercer colaborador registraba la eficacia alcanzada, anotando los servicios enviados al cuadro correspondiente, fuera del mismo o a la red.

Se consideró como variable independiente la práctica variable, en la que diferenciamos 8 niveles representados por las 8 series con modificación de instrumentos (tabla 1). Como variables dependientes, se analizaron el resultado de los servicios, medido a través del porcentaje de eficacia y la variabilidad en la ejecución a partir de las desviaciones típicas y los coeficientes de variación registrados en diversas variables cinemáticas instantáneas, medidas en el movimiento descrito por la mano que sujeta la raqueta durante su trayectoria en los tres ejes espaciales (tabla 2).

TABLA 1
Variables independientes aplicadas en la investigación

Variable	Modificación introducida sobre los instrumentos de ejecución	Definición de la variable independiente
Serie 1 (pre-test)	Ninguna	Pre-test: ejecución de 20 servicios planos a máxima potencia.
Serie 2	Modificación del implemento	Ejecución de 10 servicios planos utilizando pala de pádel y pelota de tenis.
Serie 3	Modificación del implemento	Ejecución de 10 servicios planos utilizando paleta-goma y pelota de tenis.
Serie 4	Modificando el móvil	Ejecución de 10 servicios planos utilizando raqueta de tenis y pelota de frontenis.
Serie 5	Modificando el móvil	Ejecución de 10 servicios planos utilizando raqueta de tenis y pelota-goma.
Series 6-9	Modificando implemento y móvil de forma aleatoria en cada ensayo	Ejecución de 10 servicios planos alternando aleatoriamente el uso de pala de pádel, raqueta de tenis, paleta-goma, pelota de tenis, de frontenis y de goma.
Serie 10 (post-test)	Ninguna	Post-test: ejecución de 20 servicios planos a máxima potencia.

TABLA 2.
 Variables dependientes definidas en la investigación (a cada abreviatura
 le sigue _DT = desviación típica; o _CV = coeficiente de variación)

Variables cinemáticas instantáneas	Abreviatura	Unidades de medida
Duración del movimiento de la mano	dur	ms.
Posiciones iniciales y finales de la mano (X, Y, Z)	poix, poiy, poiz	cm.
Distancia recorrida por la mano (X, Y, Z)	podifx, podify, podifz	cm.
Altura máxima de la mano (pico en eje Z)	piz	cm.
Tiempo al pico de altura de la mano (eje Z)	tpiz	ms.
Velocidades y aceleraciones lineales, finales y totales (X, Y, Z) registradas en la mano	vlfx, vlfy, vlfz / alfx, alfy, alfz	m/s. y m/s ² .
Picos de velocidad y de aceleración lineal (X, Y, Z) de la mano	pvlx, pvly, pvlz / palx, paly, palz	m/s y m/s ² .
Tiempos al pico de velocidad y de aceleración lineal (X, Y, Z) de la mano	tpvlx, tpvly, tpvlz / tpalx, tpaly, tpalz	ms.

RESULTADOS

Previamente al análisis estadístico, se llevó a cabo la prueba K-S de normalidad, que mostró una distribución normal de los datos obtenidos en todas las variables, aspecto que determinó la aplicación de estadística paramétrica. Las tablas 3 y 4 muestran los descriptivos correspondientes a la eficacia y a las variables cinemáticas. Debido a la gran cantidad de variables cinemáticas analizadas, sólo se muestran los descriptivos de las variables correlacionadas con la eficacia en la serie 1.

TABLA 3.
Eficacia lograda por el grupo de tenistas en cada serie de práctica (expresada en %)

Porcentaje de eficacia	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>DT</i>
Serie 1 (pre-test)	17	34.71	16.91
Serie 2	17	40.00	22.36
Serie 3	17	42.35	16.40
Serie 4	17	31.76	12.86
Serie 5	17	44.12	18.73
Promedio bloque (series 2-5)		38.59	17.45
Serie 6	17	38.24	15.10
Serie 7	17	33.53	17.66
Serie 8	17	35.88	14.60
Serie 9	17	43.53	13.67
Promedio aleatoria (series 6-9)		37.79	15.26
Serie 10 (post-test)	17	44.71	15.36

TABLA 4.
Descriptivos de las variables cinemáticas instantáneas y correlaciones con la eficacia obtenidas en la serie 1 (CV = coeficiente de variación; DT = desviación típica; s1 = serie 1)

Serie 1	<i>N</i>	<i>M</i>	<i>DT</i>	<i>Corr.</i>	<i>p</i>
Duración del movimiento (dur_CVs1)	17	7.32	4.26	.571	.017
Posición inicial en el eje Z (poiz_SDs1)	17	1.43	0.55	.584	.014
Pico de altura en el eje Z (piz_CVs1)	17	-4.31	1.68	.490	.046
Velocidad lineal final en el eje Y (vlfy_SDs1)	17	0.19	0.12	.541	.025
Velocidad lineal final en el eje Y (vlfy_CVs1)	17	-13.19	9.75	.571	.017
Tiempo al pico de velocidad lineal en el eje Y (tpvly_CVs1)	17	7.47	3.43	.625	.007
Pico de velocidad lineal en el eje Z (pivlz_CVs1)	17	-12.20	6.45	.587	.013
Aceleración lineal final en el eje Y (alfy_CVs1)	17	65.85	142.06	.614	.009
Tiempo al pico de aceleración lineal en el eje Y (tpaly_CVs1)	17	9.72	5.98	.563	.019
Aceleración lineal total en el eje Y (alty_SDs1)	17	187.89	116.18	.538	.026
Aceleración lineal total en el eje Y (alty_CVs1)	17	-13.53	9.94	.570	.017
Pico de aceleración lineal en el eje Z (palz_SDs1)	17	1.11	0.54	.530	.029
Pico de aceleración lineal en el eje Z (palz_CVs1)	17	-15.76	8.72	.584	.014
Tiempo al pico de aceleración lineal en el eje Z (tpalz_CVs1)	17	10.15	4.59	.608	.010
Distancia recorrida en el eje Y (podify_CVs1)	17	-11.46	4.98	.483	.050

A continuación se aplicó una prueba t de medidas repetidas para comprobar si existían diferencias significativas respecto a la eficacia alcanzada en los servicios derivadas de la práctica variable en bloques de 10 ensayos con cambio en implemento y pelota o la práctica variable aleatorizando los instrumentos. El análisis mostró la inexistencia de diferencias entre ambas condiciones (*M* aleatoria = 37.79 ± 15.36; *M* bloque = 38.59 ± 17.45).

Seguidamente, se elaboró una caracterización del movimiento de la mano que sujeta la raqueta, aplicando un análisis correlacional (tabla 4) y de regresión sobre el test inicial —libre de los efectos de las variables independientes— sobre las variables cinemáticas y la eficacia (tabla 4). Los resultados obtenidos muestran correlaciones negativas entre diversas variables instantáneas y la eficacia lograda en los servicios, a excepción de la variable definida como aceleración lineal final de la mano en el eje Y (alfy_CVs1), que correlaciona positivamente con dicha eficacia. Se obtiene un coeficiente de correlación $R^2 = .577$ en el modelo predictivo, lo que indica que la varianza de la variable porcentaje de eficacia en la serie 1 es predicha por los coeficientes de variación del tiempo hasta el pico de velocidad lineal de la mano en el eje Y (tpvly_Cvs1) y por la aceleración lineal final de la mano en el mismo eje (alfy_CVs1) en un 57.7 %. Además, el ANOVA realizado sobre dichas variables confirma la relación significativa entre ambas variables con $F(1,16) = 9.55$, $p < .05$; $d = .07$. Asimismo, los resultados del coeficiente Beta indican que para predecir el porcentaje de eficacia, las variables con más peso en el modelo son el coeficiente de variación del tiempo hasta el pico de velocidad lineal de la mano en el eje Y, con $\beta = -.474$ y una significación de $t(16) = -2.57$, $p < .05$; y el coeficiente de variación de la aceleración lineal final de la mano en el eje Y, con $\beta = .457$ y una significación de $t(16) = 2.48$, $p < .05$. En este caso, la tolerancia indicada por los estadísticos de colinealidad se aleja de cero, mostrando valores de .891 en ambas variables predictoras.

Para comprobar el efecto de la práctica variable sobre las variables predictoras de la eficacia se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas entre la serie 1 y el resto de series (tabla 5). Se observa que las series 5 (raqueta de tenis y pelota de goma) y 9 (práctica con aleatorización de instrumentos) han afectado de manera significativa a la variable predictora de la eficacia, definida como coeficiente de variación del tiempo hasta el pico de velocidad de la mano en el eje Y (tpvly_CVs1), aumentándolo en ambas series. Del mismo modo, la serie 7 (práctica con aleatorización de instrumentos) ha incrementado significativamente la variable predictora de la eficacia, definida como coeficiente de variación de la aceleración lineal final de la mano en el eje Y (alfy_CVs1).

TABLA 5.
ANOVA de medidas repetidas entre las variables predictoras
de la eficacia en la serie 1 y sus valores en el resto de series
(dif = diferencia entre las medias de cada serie con respecto a la serie 1)

Variable predictora		<i>N</i>	<i>dif</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
tpvly_CVs1 (7.47 ± .3.43)	tpvly_CVs5 (11.55 ± 6.63)	17	-4.07	.009	.08
	tpvly_CVs9 (10.76 ± 4.52)	17	-3.28	.034	.08
alfy_CVs1 (65.85 ± 142.05)	alfy_CVs7 (534.13 ± 1903.37)	17	-468.28	.019	.04

De igual modo, se aplica un ANOVA de medidas repetidas entre la serie 1 y el resto de series con el fin de comprobar los efectos de la práctica variable sobre las variables cinemáticas instantáneas (excluyendo las predictoras) (tabla 6). Los resultados informan del incremento significativo en el coeficiente de variación de la duración de los servicios en la serie 5 (*dur_CVs5*), provocado por la práctica con raqueta de tenis y pelota de goma; y del descenso de la cantidad de variabilidad en la posición inicial de la mano que sujeta la raqueta en el eje X (*poix_SDs7*, *poix_SDs8*), provocado por las series 7 y 8 (práctica variable con modificación aleatoria de instrumentos y test final). También muestra la reducción de la cantidad de variabilidad inicial en el eje Y (*poiy_SD*) producida por las series 2 (pala de pádel) y 6 (práctica variable con modificación aleatoria de instrumentos) y 8 (*poiy_SDs2*, 6 y 8, respectivamente) (práctica variable aleatoria con modificación de instrumentos), así como el incremento en el coeficiente de variación de la distancia recorrida por la mano en los ejes X y Z producido en las series 4 (*podifx_CVs4*) (pelota de frontenis) y 8 (*podifz_CVs8*) (práctica variable aleatoria con modificación de instrumentos).

Con respecto a los efectos de la práctica variable sobre las variables relacionadas con la velocidad de la mano, en la serie 5 (pelota de goma) la desviación típica de la velocidad lineal en el eje X en el instante del impacto (*vlfx_SDs5*) desciende, resultado que se repite en el pico de velocidad lineal de la mano (*pvlx_SDs2*) en el mismo eje en los datos de la serie 2 (pala de pádel). Sin embargo, el coeficiente de variación de la velocidad lineal final en el eje X (*vlfx_CVs4*) medida en la serie 4 (pelota de frontenis) se incrementa con respecto a los valores iniciales. En el eje Y, la serie 5 (pelota de goma) produce incrementos en la desviación típica y en el coeficiente de variación de la velocidad lineal final de la mano (*vlfy_SDs5*, *vlfy_CVs5*). De igual modo, la serie 5 provoca los mismos efectos aumentando la desviación típica en la velocidad lineal final (*vlfz_SDs5*).

En cuanto a las variables relacionadas con la aceleración de la mano que sostiene la raqueta, la serie 3 (paleta y pelota de tenis) incrementa los valores del coeficiente de variación de la aceleración lineal total en el eje X (*altx_CVs3*), mientras que de nuevo la serie 5 es la que más efectos produce sobre la cantidad de variabili-

dad generada, aumentando la misma en las variables de aceleración lineal final en el eje X (alfx_SDs5) y en diversas variables cinemáticas instantáneas del eje Y, como son la desviación típica de la aceleración lineal final (alfy_SDs5), la desviación típica y el coeficiente de variación del tiempo hasta el pico de aceleración lineal (tpaly_SDs5, tpaly_CVs5). Estas dos últimas variables también sufren incrementos derivados de la práctica variable de la serie 5 en el eje Z (tpalz_SDs5, tpalz_CVs5).

TABLA 6
Resultados significativos del ANOVA de medidas repetidas entre las variables cinemáticas instantáneas de la serie 1 y sus valores en el resto de series
(dif = diferencia entre las medias de cada serie con respecto a la serie 1).

Variables cinemáticas instantáneas		<i>N</i>	<i>dif</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
dur_CVs1 (7.32 ± 4.26)	dur_CVs5 (10.57 ± 10.17)	17	-3.25	.021	.04
poix_SDs1 (3.57 ± 1.40)	poix_SDs7 (2.60 ± 0.88)	17	0.97	.045	.08
	poix_SDs8 (2.52 ± 1.29)	17	1.04	.031	.08
poiy_SDs1 (2.08 ± 0.85)	poiy_SDs2 (1.55 ± 0.62)	17	0.53	.037	.07
	poiy_SDs6 (1.47 ± 0.55)	17	0.61	.016	.09
	poiy_SDs8 (1.52 ± 0.37)	17	0.56	.027	.09
podifx_CVs1 (144.31 ± 268.04)	podifx_CVs8 (2757.63 ± 9911.75)	17	-2613.32	.047	.04
podifz_CVs1 (85.94 ± 219.34)	podifz_CVs4 (656.44 ± 2562.37)	17	-570.50	.049	.03
vlfx_SDs1 (0.28 ± 0.10)	vlfx_SDs5 (0.25 ± 1.25)	17	-0.28	.044	.03
vlfx_CVs1 (21.83 ± 123.36)	vlfx_CVs4 (136.54 ± 400.57)	17	-114.71	.040	.09
pvlx_SDs1 (1.26 ± 0.54)	pvlx_SDs2 (1.15 ± 0.53)	17	0.11	.019	.02
vlfy_SDs1 (0.18 ± 0.12)	vlfy_SDs5 (0.84 ± 2.74)	17	-0.66	.022	.03
vlfy_CVs1 (12.61 ± 9.76)	vlfy_CVs5 (19.58 ± 122.45)	17	-6.97	.019	.01
vlfz_SDs1 (0.22 ± 0.08)	vlfz_SDs5 (0.45 ± 0.54)	17	-0.11	.048	.03
alfx_SDs1 (4.47 ± 1.95)	alfx_SDs5 (12.48 ± 34.58)	17	-8.01	.026	.03
altx_CVs1 (13.87 ± 143.46)	altx_CVs3 (382.40 ± 1420.00)	17	-368.52	.045	1.1
alfy_SDs1 (2.82 ± 1.29)	alfy_SDs5 (28.86 ± 106.93)	17	-25.70	.016	.04
tpaly_SDs1 (61.54 ± 47.65)	tpaly_SDs5 (88.35 ± 47.45)	17	-26.81	.020	.06
tpaly_CVs1 (9.72 ± 5.98)	tpaly_CVs5 (17.10 ± 9.68)	17	-7.38	.003	.09
tpalz_SDs1 (52.04 ± 25.82)	tpalz_SDs5 (77.26 ± 40.54)	17	-20.22	.043	.06
tpalz_CVs1 (10.15 ± 4.59)	tpalz_CVs5 (17.04 ± 11.47)	17	-6.88	.013	.08

DISCUSIÓN

Cabe señalar que ninguna de las series de práctica variable aplicadas en la investigación han producido modificaciones sobre la eficacia. Por tanto, esta variable no se ha visto alterada por ninguna de las condiciones de práctica utilizadas. Esto puede deberse a que la carga de práctica variable aplicada o sus características no generan diferencias en este grupo de jugadores. Este resultado, se aproxima a las propuestas de Crespo (2009) acerca de los beneficios de la práctica variable para el aprendizaje del tenis, resultando interesante para el planteamiento de tareas de apren-

dizaje del servicio mediante la variación de los implementos y las pelotas, ya que el rendimiento no se ve reducido por dicha práctica.

Respecto a los efectos de la práctica variable sobre las variables predictoras de la eficacia, los resultados muestran una mayor cantidad de variabilidad en el tiempo empleado en alcanzar el pico de velocidad lineal de la mano que sujeta la raqueta, derivada de las condiciones de práctica variable aplicadas en las series 5 y 9, incremento que podría posibilitar al tenista la exploración espontánea de los diferentes patrones individuales de movimiento existentes en el paisaje perceptivo-motor (Davids, Button y Bennett, 2008) característico del servicio, aumentando a largo plazo su eficacia motora (Balagué y Torrents, 2004). Asimismo, la serie 7 ha afectado significativamente a la variable predictora de la eficacia definida como coeficiente de variación de la aceleración lineal final de la mano en el eje Y, incrementando sus valores. En este caso, al correlacionar positivamente con dicha variable predictora, los efectos de esta serie producirían beneficios directos para el rendimiento. De este modo, en la serie 7 los tenistas han incrementado la variabilidad en la aceleración lineal de la mano en el momento del impacto, situación que incrementaría la eficacia en los servicios. Aquí, podrían aparecer los efectos funcionales de la variabilidad apuntados por autores como Riley y Turvey (2002), Bartlett, Wheat y Robins (2007), Kudo y Ohtsuki (2008) o Bartlett (2008), que mejorarían la eficacia en el servicio por procesos de auto-organización del comportamiento ante los condicionantes de la tarea.

En cuanto a los efectos sobre las variables cinemáticas instantáneas, son diversas las series de práctica variable que han producido modificaciones en los valores de algunas de ellas, relacionadas con la variabilidad en la ejecución del servicio. Este resultado concuerda con las conclusiones de Miller (2002) y de Sabido *et al.* (2009) sobre los efectos de la práctica variable en otras habilidades como el tiro a canasta en baloncesto. Estos autores concluyen que la introducción de variabilidad en el contexto de práctica genera incrementos de la variabilidad en la ejecución de los lanzamientos. En nuestro estudio, la serie que más parece afectar a las mismas es la 5 (raqueta de tenis y pelota de goma), resultado explicable por ser la que más se aleja de las condiciones reales de ejecución (debido al empleo de una pelota de goma sobredimensionada). Dicha serie ha generado un incremento en la variabilidad de la duración de los servicios, quizás provocado por el efecto de la diferencia de peso entre la pelota de goma y una pelota normal de tenis, aspecto que repercutiría en un lanzamiento más variable de la misma por parte de los tenistas y en la correspondiente variabilidad del tiempo de vuelo y de la posición hasta el impacto, afectando de manera indirecta a la duración del gesto. Considerando que la duración de los servicios estaba relacionada negativamente con la eficacia, su incremento podría afec-

tar a esta última. Este resultado coincide con las conclusiones establecidas por Robins, Wheat, Irwin y Bartlett (2006), al afirmar que aumentando la variabilidad los jugadores buscarían la adaptación a la incertidumbre y a las perturbaciones introducidas en la tarea, tratando de buscar el equilibrio entre su dinámica intrínseca y la de la tarea.

Asimismo, la serie 5 ha producido una reducción de la variabilidad en la velocidad lineal final de la mano en el eje X, aunque a la vista de las correlaciones analizadas, dicha variable no parece influir sobre el rendimiento en el servicio. En todo caso, al estar asociada al eje X, una mayor variabilidad en este eje podría afectar de manera negativa a la eficacia, pero poseer un carácter exploratorio beneficioso a más largo plazo para generar nuevos patrones motores (Newell y Corcos, 1993).

Continuando con los efectos de la serie 5, cabe señalar los incrementos en la cantidad de variabilidad generada sobre las variables de velocidad lineal final de la mano en los ejes Y y Z. El aumento en las dos primeras, al correlacionar de manera negativa con la eficacia, afectaría al rendimiento en el servicio, produciendo un menor número de golpes enviados al cuadro correspondiente. La segunda, a la vista de las correlaciones analizadas, no parece influir sobre el rendimiento.

La serie 5 ha generado una mayor cantidad de variabilidad en la aceleración lineal final de la mano en los ejes X e Y, aspecto que no afectaría a la eficacia en los servicios considerando la ausencia de correlación. Este incremento también se observa en otras variables relacionadas con la variabilidad en la ejecución, como son el tiempo hasta el pico de aceleración lineal en los ejes Y y Z. Según este incremento, parece ser que el empleo de una pelota de goma con características muy diferentes a la pelota de tenis en cuanto a peso y tamaño produce un retraso en el tiempo transcurrido hasta alcanzar el pico de aceleración, que si aparece en el eje Z, al correlacionar de manera negativa con la eficacia, generaría de forma indirecta un descenso del rendimiento en los servicios.

La carga de variabilidad introducida en la serie 5 parece dirigir de nuevo a los tenistas hacia procesos de exploración de los patrones de movimiento a partir de incrementos en la variabilidad de algunas variables cinemáticas relacionadas con la ejecución. Esta apreciación sigue la línea de las conclusiones aportadas por Pérez y Nussbaum (2006), que observaron la importancia de las características de la tarea sobre la trayectoria del movimiento. En la misma línea, Scholz, Schöner y Latash (2000) determinaron la importancia de la tarea en cuanto a sus efectos sobre la variabilidad en la ejecución en una habilidad de tiro con pistola. Considerando los resultados presentados, esto supone que la alteración de las tareas de aprendizaje provocará efectos diferentes sobre la variabilidad generada en la ejecución de habilidades motrices. Esto nos lleva a considerar la especificidad que presenta la variabili-

dad presente en cada tipo de habilidad motora, dependiente de sus propia cantidad y estructura, de las características de los individuos y de las variantes del entorno en el cuál se analiza (Menayo, 2010).

Además de la serie 5, otras series de práctica variable han afectado a diferentes variables cinemáticas relacionadas con la mano que sujeta la raqueta. Las series 7 y 8 (práctica variable con aleatorización de instrumentos) han reducido la cantidad de variabilidad en la posición inicial de la mano en el eje X. Este resultado concuerda con los hallados en otros trabajos (Davids *et al.* 2005), en los cuales los individuos con niveles más bajos de rendimiento presentan comportamientos más predecibles y menos aleatorios.

Aproximándonos a situaciones de aprendizaje en tenis, aunque este resultado no influiría sobre las variables de rendimiento en el servicio, sí podría considerarse en el caso de que el tenista necesite lograr una mayor consistencia al inicio del movimiento, por ejemplo, en las primeras etapas de adquisición del servicio. En esta línea, Delignières, Nourrit, Sioud, Leroyer, Zattara y Micaleff (1998) ya propusieron la idea de que el técnico debería provocar desestabilizaciones de la técnica para explorar las posibilidades del movimiento en busca de las soluciones más eficaces. Así, las modificaciones instrumentales aplicadas en estas dos series serían beneficiosas para lograr este propósito, coincidiendo con los efectos positivos de la práctica variable para el aprendizaje de los golpes del tenis (Crespo, 2009) y de otras habilidades motrices como la técnica de carrera (Schöhlhorn *et al.* 2001; Rein y Simon, 2003), el salto o el lanzamiento de balón (Jaitner y Pfeifer, 2003), el paso de vallas (Jaitner *et al.*, 2003), el tiro a canasta en baloncesto (Schönherr y Schöhlhorn, 2003), el lanzamiento de peso (Beckman y Schöhlhorn, 2003) o el lanzamiento a portería en balonmano (Wagner *et al.*, 2003).

Del mismo modo, las series 2 (pala de pádel y pelota de tenis), 6 y 8 (práctica variable en bloques y aleatoria con modificación de instrumentos, respectivamente) también reducen la variabilidad al inicio del movimiento de la mano en el eje Y. Este es un resultado posiblemente relacionado con una variabilidad de carácter funcional (Riley y Turvey, 2002; Bartlett *et al.*, 2007; Kudo y Ohtsuki, 2008; Bartlett, 2008), ya que cuando se produce una mayor cantidad de variación en la posición de la mano la eficacia en los servicios no se vería alterada.

Continuando con el resto de variables modificadas por las diferentes condiciones o series de práctica, se observa que en la serie 8 (práctica variable aleatoria con modificación de instrumentos) y en la serie 4 (raqueta de tenis y pelota de frontenis) en los ejes X y Z respectivamente, el coeficiente de variación del espacio recorrido por la mano que sujeta la raqueta se incrementa significativamente con respecto a sus valores del test inicial. Aunque estos resultados no afectarían a la eficacia en los

servicios, se aprecia que tanto los valores iniciales como los de las series 4 y 8 son muy elevados, aspecto que puede estar determinado por las diferencias técnicas existentes entre los jugadores al ejecutar el servicio. En este sentido, la trayectoria de la mano desde el inicio del movimiento hasta el impacto puede ser bastante variable en cuanto a su recorrido, hecho que explicaría los elevados valores encontrados en estas variables. En este caso, las cargas de variabilidad en cuanto al trabajo sobre el espacio recorrido por la mano irían dirigidas a la exploración de diferentes amplitudes de movimiento (Scholz y Schöner, 1986; Zanone y Kelso, 1992; Kelso y Ding, 1993; Newell y Corcos, 1993; van Emmerik y van Wegen, 2000), sin perjuicio del rendimiento en términos de eficacia.

También se observa un incremento importante en el coeficiente de variación de la velocidad lineal final de la mano en el eje X en la serie 4 (raqueta de tenis y pelota de frontenis). El empleo de la pelota de frontenis en dicha serie, más liviana que la de tenis, ha provocado un incremento en la cantidad de variabilidad de la velocidad de la mano en el eje X. Sin embargo, este aumento no afecta a la eficacia. En este caso, la práctica variable no produciría descensos del rendimiento en la variable indicada, que bien entendida como carga de práctica, de nuevo podría ser beneficiosa para incrementar a largo plazo la eficacia del gesto a partir de procesos de exploración de las posibilidades de acción.

Por el contrario, la cantidad de variabilidad del pico de velocidad lineal de la mano en el eje X se reduce en la serie 2, en la cual los tenistas ejecutaban los servicios con la pala de pádel y la pelota de tenis. En este caso, tampoco la alteración de esta variable supondría un efecto perjudicial sobre la eficacia en los servicios al no presentar ninguna relación con dicha variable. Del mismo modo, se observa un incremento en el coeficiente de variación de la aceleración lineal total de la mano en el eje X en la serie 5 (paleta y pelota de tenis), que no afecta a la eficacia en los servicios. Así, el empleo de implementos con características muy diferentes a la raqueta de tenis produce descensos y aumentos en la cantidad de variabilidad en variables relacionadas con la velocidad y con aceleración lineal de la mano en el eje X que no afectan al rendimiento en el servicio. En este caso, la carga de variabilidad introducida facilitaría de nuevo la exploración de diferentes amplitudes de movimiento, dirigiendo a los tenistas al control de los grados de libertad implicados en la ejecución del servicio, así como a la búsqueda de una relación óptima entre su dinámica intrínseca y la dinámica de la tarea.

Como conclusión, cabe indicar que los resultados presentados aportan una visión interesante acerca de la variabilidad como característica inherente al movimiento, explicando cómo éste puede caracterizarse a partir de incrementos y descensos de la variabilidad en función de la carga de práctica variable. En este sentido, sería inte-

resante estudiar no sólo la cantidad de variabilidad, sino también su estructura, con el fin de identificar claramente la influencia de esta característica para el control del movimiento. Finalmente, señalamos la conveniencia de continuar indagando acerca de los efectos de las cargas de variabilidad, no sólo para el logro de un mayor rendimiento en el servicio en tenis, sino también en otras habilidades motrices características de éste y otros deportes.

REFERENCIAS

- Balagué, N. y Torrents, C. (2004). Adaptación al entrenamiento: de los mecanismos de regulación y control a la auto-organización. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 20(3), 11-18.
- Bartlett, R. M. (2008). Movement variability and its implications for sports scientists and practitioners: an overview. *International Journal of Sports Science & Coaching* 1(3), 113-124.
- Bartlett, R.M., Wheat, J.S. y Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanics?. *Sports Biomechanics*, 6, 224-243.
- Beckman, H. y Schöllhorn, W. (2003). Differential learning in shot put. In W. Schöllhorn, C. Bohn, J.M. Jäger, H. Schaper y M. Alichmann (eds.), *European workshop on movement science Mechanics and Physiology*, Münster (alemania), 22-24 de mayo (libro de actas).
- Bernstein, N. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Nueva York: Pergamon Press.
- Crespo, M. (2009). Tennis coaching in the Era of Dynamic Systems. *Journal of Medicine and Science in Tennis*, 14 (2), 20-25.
- Davids, K., Button, C. y Bennett, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints-led Approach*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- Davids, K., Chow, J.Y. y Shuttleworth, R. (2005). A constraints-based framework for nonlinear pedagogy in physical education. *Journal of Physical Education New Zealand*, 38, 17-29.
- Delignières, D., Nourrit, D., Sioud, R., Leroyer, P., Zattara, M. y Micallef, J.P. (1998). Preferred coordination modes in the first steps of the learning of a complex gymnastics skill. *Human Movement Science*, 17, 221-241.
- Glass, L. y Mackey, M.C. (1988). *From clocks to chaos: The rhythms of life*. Princeton, New York: Princeton University Press.
- Jaitner, T., Kretzschmar, D. y Hellstern, W. (2003). Changes of movement patterns and hurdle performance following traditional and differential hurdle training. In E. Müller, H. Schwameder, G. Zallinger, and V. Fastenbauer, (eds.), 8th Annual Congress of ECSS, Salzburg, 9-12 julio (libro de actas).
- Jaitner, T. y Pfeiffer, M. (2003). Developing jumping strength based on systems dynamics principles. In W. Schöllhorn, C. Bohn, J.M. Jäger, H. Schaper, and M. Alichmann, (eds.), *European workshop on movement science Mechanics and Physiology*, Colonia, 31 mayo-2 junio (libro de actas).

- Kelso, J.A.S. y Ding, M. (1993). Fluctuations, intermittency, and controllable chaos in biological coordination. In K.M. Newell, and D.M. Corcos (eds.), *Variability and Motor Control* (291-316). Champaign IL: Human Kinetics.
- Kudo, K. y Ohtsuki, T. (2008). Adaptive variability in skilled human movements. *Information and Media Technologies*, 3(2), 409-420.
- Menayo, R. (2010). *Análisis de la relación entre la consistencia en la ejecución del patrón motor del servicio en tenis, la precisión y su aprendizaje en condiciones de variabilidad. Tesis Doctoral*. Cáceres: Servicio de Publicaciones. Universidad de Extremadura.
- Miller, S.A. (2002). Variability in basketball shooting: practical implications. In Y. Hong, *International Research in Sports Biomechanics* (27-34). London: Routledge.
- Nashner, L.M. y Mc Collum, G. (1985). The organization of postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behavioral and Brain Sciences*, 26, 135-172.
- Newell, K.M. y Corcos, D.M. (1993). Issues in variability and motor control. In K.M. Newell, and D.M. Corcos (eds.), *Variability and Motor Control* (1-12). Champaign IL: Human Kinetics.
- Newell, K.M. y Slifkin, A.B. (1998). The nature of movement variability. In J.P. Piek (ed.), *Motor Behaviour and Human Skill* (143-160). Champaign IL: Human Kinetics.
- Pérez, M.A., y Nussbaum, M.A. (2006). Posture and motion variability in non-repetitive manual materials handling tasks. *Human Movement Science*, 25(3), 409-421.
- Rein, R. y Simon, C. (2003). Influence of technique variation training on technique variability in long distance running. In N. Balagué (ed.), *Proceedings of the 1st Meeting of Complex Systems and Sports*, Barcelona, 14-17 de mayo (libro de actas). Schölnhorn, W., Röber, F., Jaitner, T., Hellstern, W. y Käubler, W. (2001). Discrete and continuous effects of traditional and differential sprint training. 6th Annual Congress of the European College of Sport Sciences Colonia, 24-28 de julio (libro de actas).
- Riley, M.A. y Turvey, M. (2002). Variability and determinism in motor behaviour. *Journal of Motor Behaviour*, 64, 99-125.
- Robins, M., Wheat, J., Irwin, G. y Bartlett, R. (2006). The effect of shooting distance on continuous coordination variability in basketball. *Journal of Human Movement Studies*, 20, 218-238.
- Sabido, R., Caballero, C. y Moreno, F.J. (2009). Análisis de la variabilidad entre diferentes situaciones en el lanzamiento de tres puntos en baloncesto. *RICYDE. Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 17(5), 76-87.
- Schölnhorn, W., Röber, F., Jaitner, T., Hellstern, W. y Käubler, W. (2001). Discrete and continuous effects of traditional and differential sprint training. 6th Annual Congress of the European College of Sport Sciences Colonia, 24-28 de julio (libro de actas).
- Scholz, J.P. y Schöner, G. (1999). The uncontrolled manifold concept: Identifying control variables for a functional task. *Experimental Brain Research*, 126, 289-306.
- Scholz, J.P., Schöner, G. y Latash, M.L. (2000). Identifying the control structure of multi-joint coordination during pistol shooting. *Experimental Brain Research*, 135 (3), 382-404.
- Schönherr, T. y Schölnhorn, W. (2003). Differential learning in basketball. In W. Schölnhorn, C. Bohn, J.M. Jäger, H. Schaper, and M. Alichmann (eds.), *European workshop on move-*

- ment science, Mechanics, and Physiology, Münster (Alemania), 22-24 de mayo (libro de actas).
- Van Emmerik, R.E.A. y van Wegen, E.E.H. (2000). On variability and stability in human movement. *Journal of Applied Biomechanics*, 16, 394-406.
- Wagner, H., Müller, E., Kösters, A., Von Tscherner, V. y Brunner, F. (2003). Optimization of complex movement patterns (handball throw) motor development and the variation of kinematic and EMG parameters. In E. Müller, H. Schwameder, G. Zallinger, and V. Fastenbauer (eds.), 8th Annual Congress of the ECSS, Salzburg, 9-12 de Julio (libro de actas).
- Wallace, S. (1997). Dynamic Pattern Perspective of Rhythmic Movement: A Tutorial. In H.N. Zelaznik, (ed.), *Advances in Motor Learning and Control* (155-193). Illinois: Human Kinetics.
- Zanone, P.G. y Kelso, J.A.S. (1992). Learning and transfer as dynamical paradigms for behavioral change. In G.E. Stelmach, and J. Requin (eds.), *Tutorials in Motor Behaviour*, II (563-582). Amsterdam: North-Holland.