



**EFFECTO DE DIFERENTES CARGAS DE
VARIABILIDAD EN EL ENTRENAMIENTO
SEGÚN EL NIVEL INICIAL DE
RENDIMIENTO**

Miguel Ángel Hernández Toledo
Tutor: Francisco Javier Moreno Hernández

Trabajo Fin de Máster

MÁSTER UNIVERSITARIO DE RENDIMIENTO DEPORTIVO Y SALUD
CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL DEPORTE
UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Resumen | 2 |
| Introducción | 3 |
| Método | 9 |
| <i>Muestra</i> | 9 |
| <i>Instrumental</i> | 9 |
| <i>Procedimiento</i> | 9 |
| <i>Tratamiento y análisis de datos</i> | 11 |
| <i>Análisis estadístico</i> | 12 |



Resumen

Se ha visto que la variabilidad que presenta el sistema motor puede tener un rol funcional, dotando al organismo de cierta capacidad de adaptación, mostrándose así como una herramienta útil que proporciona los medios necesarios para facilitar el aprendizaje. Por este motivo se empezó a estudiar los efectos de la práctica variable frente a una práctica en consistencia en diversas tareas. Sin embargo, los resultados encontrados en la literatura no son del todo esclarecedores sobre qué tipo de práctica es más beneficiosa. Esto puede deberse a una falta de ajuste o bien en la carga que supone el practicar en variabilidad para los sujetos o bien a sus características. Por ello, el objetivo de este trabajo fue ver cómo afecta el grado de variabilidad al practicar según el nivel inicial de los sujetos.

Palabras clave: variabilidad; consistencia; nivel de rendimiento.

Introducción

En los últimos años la variabilidad está siendo muy estudiada como algo intrínseco a los sistemas biológicos fácilmente observable (Moreno, 2006). Existen varias teorías que tratan de explicar el rol de la variabilidad, tales como: la Teoría del Programa Motor Generalizado (Generalized Motor Program Theory en inglés, GMPT) (Schmidt, 1975); la UCM (uncontrolled manifold hypothesis) (Schöner, 1995) y la teoría de los sistemas dinámicos (Dynamical Systems Theory, DST).

Bajo la perspectiva de la GMPT la variabilidad es entendida principalmente como resultado del error, el cual está producido por una falta de habilidad para ajustar el programa motor adecuado para una tarea (Summers & Anson, 2009). Schmidt, Zelaznik, Hawkins, Frank & Quinn (1979) explican la variabilidad como un ruido aleatorio existente en el programa motor que impide ejecutar la acción de manera idéntica. Bajo esta perspectiva, dicho ruido imposibilita una activación determinista de los músculos (Turvey & Fonseca, 2009).

Otras aproximaciones definen la variabilidad como una herramienta que facilita la adaptación de un sistema al entorno, dejando de ser un error del mismo. La hipótesis del UCM postula que la variabilidad es consecuencia de una redundancia motora, entendiéndose ésta como la existencia de multitud de elementos diferentes que interactúan entre sí (grados de libertad) dando lugar a diversos comportamientos para solucionar un mismo problema motor. Es decir, es resultado de la existencia de varias formas de resolver una tarea (Stergiou & Decker, 2011). Bajo este punto de vista, la variabilidad existente en un movimiento concreto está influenciada por los grados de libertad que aporten los elementos implicados en el mismo (Latash, Levin, Scholz & Schöner, 2010).

La teoría de los sistemas dinámicos sigue una línea similar. Ésta propone que los sistemas biológicos tienden a auto-organizarse según las limitaciones o condicionantes que se encuentran para hallar la solución más estable a la hora de realizar un movimiento (Kamm, Thelen & Jensen; 1990). Según esta perspectiva, cuando un comportamiento se vuelve inestable el sistema cambia a otro más estable. Por lo tanto, la variabilidad puede estar ligada en cierto modo a un comportamiento ricamente estable (Scholz, 1990), ya que permite cambiar el comportamiento al que más se ajuste a las limitaciones y condicionantes existentes. Así pues, como indican Latash et al. (2010), un estado altamente estable, rico en variabilidad, permite resistir un mayor número de perturbaciones. El ambiente cambia constantemente y, por ello, tener un comportamiento variable permite explorar diferentes soluciones y ofrece una mayor facilidad para adaptarse. Bajo esta teoría, las fluctuaciones motoras no son completamente azarosas, sino que presentan un estado caótico de variabilidad. Esto es, que lo que anteriormente parecía ser un comportamiento totalmente aleatorio en realidad tiene cierto carácter predecible a lo largo del tiempo, presentando cierto nivel de determinismo. Este tipo de fluctuaciones, consecuencia de la suma de aleatoriedad y determinismo, según algunos autores caracteriza a un comportamiento con capacidad de adaptación y ha sido relacionado con una estructura de la variabilidad denominada ruido rosa (Van Orden, Kloos & Wallot, 2011). Dicho ruido parece tener un carácter funcional, ya que en seres vivos se ha visto que ritmos caóticos están relacionados con estados saludables, como por ejemplo la variabilidad cardíaca (Buteau & Goldberg, 2016; Thayer, Ahs, Fredrikson, Sollers & Wager, 2012; Anaruma, Ferreira, Sponton, Delbin & Zanesco; 2016). Esto puede deberse a que estas variaciones proporcionen a los sistemas biológicos o bien una mezcla de flexibilidad y estabilidad en su comportamiento, o bien de un componente exploratorio que facilite encontrar la solución motriz más adecuada (Turvey & Fonseca, 2009).

Pese a que la visión de variabilidad que presenta cada perspectiva es diferente, hay que destacar que estos tres paradigmas son complementarios (Fung, 2014), de forma que la relación existente entre grado de habilidad motriz y variabilidad puede explicarse según la manera en la que se mida ésta última (Caballero, Barbado & Moreno, 2014; Harbourne & Stergiou; 2009; Moreno, 2006; Turvey & Fonseca, 2009). Se puede considerar que una menor variabilidad implica una menor magnitud de las variaciones del movimiento, la cual está asociada a una reducción del error. Pero al mismo tiempo, un mayor grado de variabilidad supone un comportamiento con más posibilidades de explorar y adaptarse a diferentes situaciones. La diferencia entre ambas cuestiones puede estar más relacionada con la estructura de la variabilidad que con su magnitud. Cuando se utilizan las herramientas lineales se mide la magnitud de la variabilidad, mientras que al evaluar de manera no lineal se analiza la estructura de la variabilidad.

Con respecto al control y aprendizaje motor en seres humanos, también se ha visto la importancia de la variabilidad para adaptarse al entorno de una manera más eficaz, incrementando así el aprendizaje. Dusing & Hasbourne (2010) defienden que los niños menores de un año que muestran un alto grado de complejidad (una estructura poco predecible) de variabilidad en tareas de control postural tienen mayor aprendizaje. Por esto, se puede decir que un alto grado de complejidad dota al organismo de una mayor capacidad para seleccionar las estrategias más adecuadas para realizar determinadas acciones, favoreciendo así el aprendizaje motor. En adultos, Balasubramanian, Clark & Gouelle (2015) analizaron la estructura de la variabilidad en la marcha entre jóvenes y mayores, y hallaron que, a partir de los 50 años, conforme avanzaba la edad, la complejidad de la variabilidad disminuía. Asimismo, vieron que el analizar la complejidad de la variabilidad en adultos mayores permitió distinguir entre aquellos que tenían un leve-medio déficit de movilidad y los que presentaban uno mayor. Respecto a la velocidad de la marcha, Dingwell & Marin (2006) observaron que

cuando los sujetos abandonaban su velocidad de confort, bien por exceso o bien por defecto, la magnitud de la variabilidad era mayor, lo cual era interpretado como error.

Siguiendo en lo referente al aprendizaje, muy relacionado con la capacidad de adaptación, la variabilidad parece mostrarse como una herramienta útil que proporciona los medios necesarios para facilitar el aprendizaje (Adolph, Cole & Vereijken, en prensa). Wu, Miyamoto, González-Castro, Ölveczky & Smith (2014) encontraron que los sujetos con una mayor variabilidad intrínseca aprenden más en tareas de seguimiento manual. Esto quiere decir que la variabilidad que expresa un sujeto está directamente relacionada con su capacidad de aprendizaje (Herzfeld & Shadmehr, 2014; Wu et al., 2014). Estos autores defienden que un comportamiento variable permite una mejor exploración y un aprendizaje más rápido. En la misma línea se encuentra un reciente estudio en el que se observó la relación entre la variabilidad inicial, el nivel de rendimiento inicial y el aprendizaje en tareas de control postural en bipedestación y sedestación (Barbado, Caballero, Moreside, Vera-Garcia & Moreno, 2016). Estos autores observaron que aquellos participantes con una estructura del COP menos autocorrelacionada (menos predecible) presentaron un mayor grado de aprendizaje. Por todo lo anterior, se puede decir que una estructura de la variabilidad más impredecible o menos autocorrelacionada parece estar relacionada con conductas de carácter más exploratorio, otorgando al organismo un mayor margen de mejora al permitirle explorar un mayor número de soluciones posibles. Por ejemplo, hipotetizando un caso en el que dos sujetos tengan la misma experiencia y muestren la misma magnitud de variabilidad, aquel que tenga un comportamiento más impredecible tendrá un mayor rango de aprendizaje.

Puesto que la variabilidad motriz parece presentarse como una herramienta que favorece el aprendizaje aumentando la exploración del medio, parece lógico introducir cierta variabilidad en las tareas con el fin de mejorar estos procesos exploratorios. Dicha variabilidad

al practicar puede aplicarse bien modificando los condicionantes de la propia tarea, o bien combinando varias tareas. No obstante, los resultados encontrados en la literatura no son totalmente concluyentes sobre el rol de la variabilidad como favorecedor del aprendizaje.

Por un lado, varios estudios parecen demostrar la eficacia del entrenamiento en variabilidad para incrementar el rendimiento. En esta línea, Ranganathan, Krishnan, Dhaher & Rymer (2016) modificaron el patrón motor de la marcha de los sujetos incrementando su oscilación promedio de cadera y rodilla 20°, observando que mientras se realizaba la práctica con el patrón alterado, tanto el error como la magnitud de la variabilidad presentada aumentaron. Sin embargo, tras acabar la fase de entrenamiento y volver a caminar sin ningún impedimento, el error y la variabilidad disminuyeron respecto a los valores iniciales.

Puesto que hay estudios en los que se ve que una práctica/entrenamiento en variabilidad supone algunas mejoras (García, Moreno, Cabero; 2011; Wagner, Pfusterschmied, Klous, Serge & Müller; 2012), algunos autores comparan la práctica en consistencia con la práctica variable, con el objetivo de ver cuál es más beneficioso. Se ha visto que la práctica en variabilidad produce mayores mejoras en tareas de atención (Huet et al., 2011). A nivel cognitivo, un trabajo basado en la variabilidad implica una mayor actividad encefálica que la provocada en una práctica consistente (Lage et al.; 2015). Lin et al. (2011, 2012) vieron que durante la preparación del movimiento, al finalizar la fase de adquisición, los sujetos que practicaron en variabilidad tuvieron una mayor activación del córtex dorsolateral prefrontal, del córtex premotor y del área motora suplementaria. De igual modo, durante la ejecución del movimiento mostraron una mayor activación de la corteza motora primaria y del córtex premotor. Caballero, Luis & Sabido (2012) vieron que, en el lanzamiento en balonmano, una metodología mixta (combinación de variabilidad y consistencia) produjo mejoras en la precisión y la velocidad. Existen otros estudios en los cuales se ve una mejora significativa de

los grupos que practicaron en variabilidad (Coves, Urbán, Morós & Moreno, 2014; Kantak, Sullivan, Fisher, Knowlton & Winstein, 2010; Song, Sharma, Buch & Cohen, 2012; Lin et al., 2012; Lin et al., 2009; Zetou et al., 2014).

Por otro lado, hay autores que no observaron una mejora significativa al practicar de forma variable en comparación con el entrenamiento en consistencia (Van den Tillaar & Marques, 2013; Yao, Cordova, de Sola, Hart & Yan, 2012). Lai & Shea (1998) observaron que, en una tarea de reacción ante un estímulo, el grupo que practicó en consistencia mostró mejores resultados en el test de transferencia que el que lo hizo en variabilidad. Sin embargo, hay que destacar que el test de transferencia se hizo cinco minutos después del test de retención, por lo que puede ser que el efecto sea solo a corto plazo y quizás sería necesaria otra evaluación con un mayor margen de tiempo para ver en realidad qué grupo tiene un mayor aprendizaje a medio-largo plazo. García, Menayo & Sánchez (2015) estudiaron la práctica variable y consistente en el tiro en fútbol y fue el grupo que entrenó en consistencia el que obtuvo mejores resultados tras periodos de inactividad.

Como se ha expuesto anteriormente, existen varios estudios en los que se corrobora que una práctica variable implica un mayor beneficio para el aprendizaje que una consistente, mientras que otros trabajos afirman que es una práctica consistente la que muestra mejores resultados. Esta controversia en la literatura en cuanto al efecto de la práctica en variabilidad puede deberse a que la carga que supone dicha práctica no se ha ajustado al nivel y/o a las características de los sujetos; es decir, que cada sujeto no ha practicado en variabilidad o en consistencia en función a su nivel previo en la tarea o que el diseño de las tareas de variabilidad no era adecuado. Por ello, el objetivo de este trabajo es ver cómo afecta el grado de variabilidad en la práctica y ver cuál produce mayores mejoras según el rendimiento previo en una tarea de control postural. Se plantean dos hipótesis de trabajo: i) los sujetos que practiquen en

variabilidad mejoraran más que aquellos que lo hagan en consistencia; ii) los sujetos con un bajo nivel de rendimiento inicial mostraran mayor margen de mejora con una práctica en consistencia, mientras que aquellos que posean un alto nivel de rendimiento inicial conseguirán un mayor aprendizaje practicando de manera variable.

Método

Muestra

La muestra estuvo compuesta por 44 varones (edad media: 24.08 ± 5.36 años, peso medio: 76.56 ± 15.13 kg, estatura media: 178.59 ± 25.28 cm) y por 22 mujeres (edad media: 25.1 ± 8.46 años, peso medio: 60.56 ± 19.51 kg, estatura media: 164 ± 48.62 cm).

Todos los sujetos firmaron un consentimiento informado aprobado por el comité ético de la Universidad Miguel Hernández de Elche antes de someterse al estudio.

Instrumental

Para evaluar la estabilidad de los sujetos, se utilizó una plataforma de fuerzas (Kistler 9286AA, Zurich, Switzerland). La frecuencia de registro del centro de presiones (COP) utilizada fue de 1000 Hz.

Procedimiento

Los participantes se ubicaron en un asiento inestable de madera con un soporte para los pies (Figura 1). La altura del soporte se ajustó para que los sujetos tuvieran una flexión de rodilla de 90° y sus fosas poplíteas coincidieran con el borde del asiento. Se ajustaron las piernas y la cadera mediante correas con velcro para evitar que el sujeto variase la posición. Bajo el asiento había una hemisfera de resina de poliéster con un radio de 35 cm y una altura

de 12 cm. El asiento estaba colocado encima de una plataforma de fuerza (situada a 90 cm del suelo, sobre una superficie rígida, nivelada y estable) y frente una pared blanca en la cual se proyectaba feedback en tiempo real sobre la tarea (a una distancia de 336 cm). El feedback constaba de una diana dinámica y de la posición del COP del sujeto evaluado (Figura 1). El objetivo de la tarea era hacer coincidir la posición del COP con la diana, cuyo desplazamiento se realizaba únicamente en el eje antero-posterior. La amplitud del desplazamiento de la diana correspondió a 2° con respecto al centro de masas del miembro superior del cuerpo, HAT (calculado según Winter, 1990). El ciclo de cada serie tenía una duración de 20 s (0.05 Hz). Cada serie tenía una duración de 70 s con un descanso de 60 s entre cada una. Mientras se ejecutaba cada serie, los sujetos mantenían los brazos cruzados sobre el pecho. Antes de cada serie se ajustaba el COP de cada sujeto en la posición de realización de la tarea. Para la evaluación de la tarea se realizaron tres series.

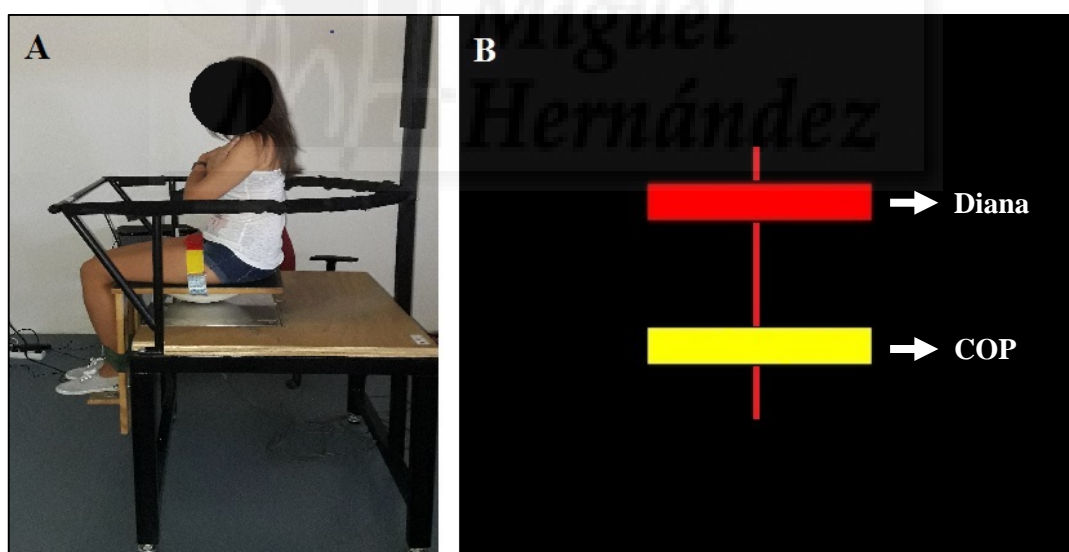


Figura 1. A) Asiento inestable y colocación del sujeto durante la realización de la tarea. B) Feedback dado a los sujetos. La línea roja se muestra para aclarar la trayectoria del objetivo, pero no se mostró en las series.

Las mediciones se realizaron en cinco sesiones repartidas en cinco días diferentes con la estructura que se muestra en la Figura 2.

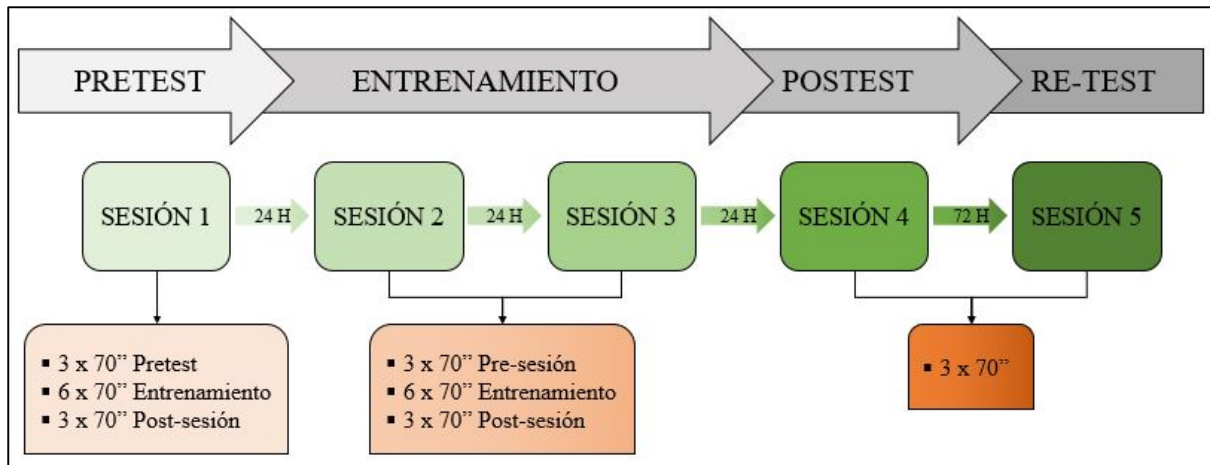


Figura 2. Organización de las sesiones.

Se crearon tres grupos de práctica: consistencia, variabilidad baja y variabilidad alta. El grupo de consistencia entrenó la misma tarea que la evaluada, a los grupos de variabilidad baja y alta se les añadió, respectivamente, un ruido de 1º y 2º adicionales a los 2º iniciales respecto al HAT. La trayectoria que seguía el objetivo de cada grupo está reflejada en la Figura 3.

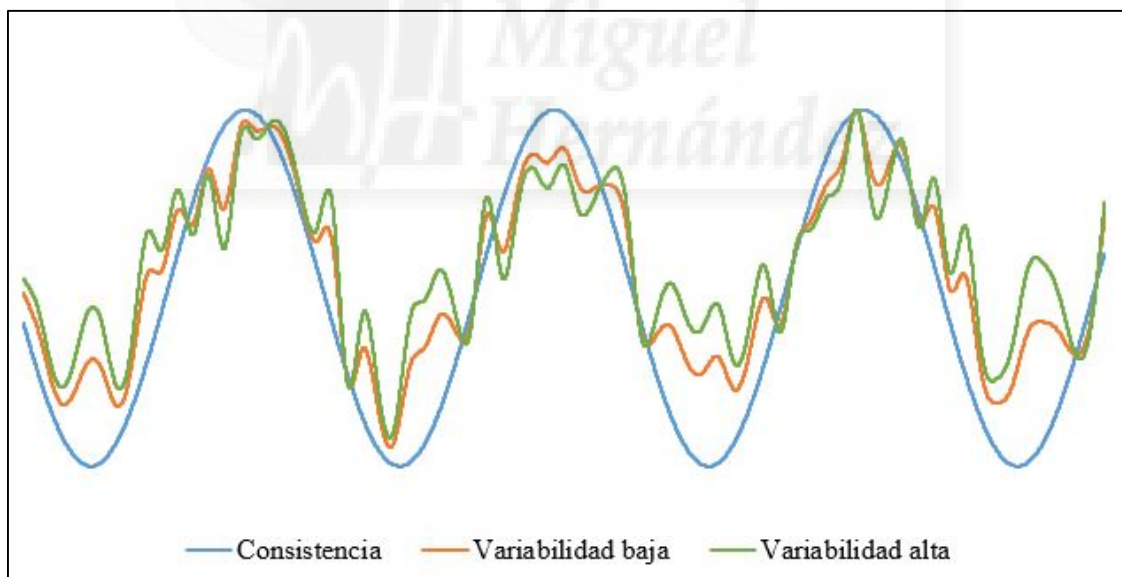


Figura 3. Trayectoria del objetivo según el grupo de estudio.

Tratamiento y análisis de datos

La recogida de datos registrados a 1000 Hz se subsampleó a 20 Hz, puesto que las variaciones del COP suelen encontrarse en señales en torno a los 10 Hz (Borg & Laxaback,

2010). Los 5 primeros y últimos segundos de cada serie se eliminaron para realizar el análisis de datos, evitando así la no estacionalidad de la señal al comienzo y al final de la serie (van Dieen, Koppes & Twisk, 2010). Se aplicó un filtro de paso bajo de 4º orden Butterworth.

Se utilizó el error absoluto (EA) para cuantificar el rendimiento de los sujetos durante las series. El EA se calculó como la media de la magnitud del vector resultante (mm) entre el COP y la diana. El índice de aprendizaje absoluto (IAA) se calculó como la diferencia del EA entre el pretest (EA_{pre}) y el posttest (EA_{post}). Además, se calculó el índice de aprendizaje relativo (IAR) como la diferencia del EA al inicio de la sesión (EA_{ix}) y al final (EA_{fx}); siendo la x el número de la sesión. Para el análisis de la estructura de la variabilidad se utilizó el DFA (Detrended Fluctuation Analysis) (Peng et al., 1994), cuyo valor se indica como α .

Análisis estadístico

Se calcularon los estadísticos descriptivos. Posteriormente se realizó la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors. Para calcular el rendimiento inicial y el efecto de la variabilidad sobre el aprendizaje se calculó la correlación de Pearson entre EA_{pre} , α_{pre} y IAA. Para definir los grupos se ha utilizado el EA de las dos mejores series de las tres mediciones del pretest, realizando así un contrabalanceo para evitar que el nivel previo de rendimiento afectase al aprendizaje. Posteriormente se hizo una regresión lineal entre EA_{pre} y α_{pre} en cada grupo de estudio para dividir a los sujetos en expertos y noveles, pudiendo ver así como afecta el entrenamiento según el nivel de rendimiento. Se utilizó un ANOVA mixto de doble vía con dos factores inter-grupo, que son el tipo de práctica (consistente, variabilidad baja y variabilidad alta) y el nivel inicial (bajo rendimiento - $EA > 5.5$ mm-, medio rendimiento -EA entre 4 mm y 5.5 mm- y alto rendimiento - $EA < 4$ mm-), y un factor intra-grupo, el momento de la medición (pretest, posttest y re-test). Para el análisis de los datos se usó el programa SPSS statistics 23.0.