

## EFEECTO DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE APRENDIZAJE SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA CINEMÁTICA EN EL LANZAMIENTO DEL ARMADO CLÁSICO EN BALONMANO

Caballero, C.<sup>1</sup>; Luis, V.<sup>2</sup>; Sabido, R.<sup>1</sup>

1. Centro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche.
2. Facultad de Ciencias del Deporte. Universidad de Extremadura.

---

### RESUMEN

La práctica en variabilidad ha sido estudiada en comparación con metodologías opuestas tales como la de consistencia, pero no frente a metodologías mixtas que combinen el aprendizaje en consistencia y variabilidad. El objetivo de este trabajo es conocer la influencia de estrategias de aprendizaje basadas en la consistencia, en la variabilidad y mixtas para la mejora del lanzamiento en balonmano. La muestra (n=30) fue dividida en tres grupos experimentales y un grupo control. Se realizó un test previo, un tratamiento de 4 sesiones, un test final y un test de retención. En los tests se registró la precisión y velocidad de los lanzamientos y la cinemática mediante un sensor de posición electromagnético. Los resultados muestran una mejora de la precisión para los grupos de aprendizaje en variabilidad y mixto, aunque sólo este último mantiene la mejora en el test de retención. En cuanto a las variables cinemáticas, el grupo de consistencia muestra mayor rigidez en su patrón, mientras que los grupos de variabilidad y mixto tienden a aumentar el recorrido en X y disminuirlo en Z, presentando mayor flexibilidad del patrón. Estos resultados nos dan a conocer los posibles beneficios que la práctica mixta puede tener frente a las metodologías utilizadas de manera aislada, teniendo en cuenta que se necesitan estudios al respecto en mayor profundidad.

**Palabras clave:** aprendizaje motor, variabilidad, balonmano, lanzamiento

### ABSTRACT

Several works have studied the utility of variability for motor learning. This methodology has been compared with the constant practice methodology, but it not has been compared with mixed methodology. The aim of this study is to know the effects of constant, variability and mixed practice methodology for overarm throw learning. Participants (n=30) were divided in three practice groups, and a control group. A pre-post design was used with a subsequent retention test. Experimental groups participated in a training intervention program over 4 sessions. Ball velocity and the accuracy were measured and the overarm throw kinematics was measured with an electromagnetic motion tracker. Results showed an improvement of accuracy in variability and mixed groups, but only mixed group did not change its performance in retention test. The constant practice group showed a lower displacement in two axes after training. Nevertheless variability and mixed groups increased the movement displacement in X axis, and they decreased the movement displacement in axis Z. The results indicate that mixed practice could be useful in the learning process compared with constant or variability practice, but more studies are necessary.

**Key Words:** motor learning, variability, team-handball, overarm throw

---

### Correspondencia:

Carla Caballero Sánchez

Centro de Investigación del Deporte. Universidad Miguel Hernández de Elche

Avenida de la Universidad s/n, 03202

ccaballero@umh.es

Fecha de recepción: 10/02/2012

Fecha de aceptación: 13/06/2012

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la perspectiva de los sistemas no lineales, el ruido y la capacidad que manifiestan los seres vivos para adaptarse a las condiciones de su entorno ayuda a explicar la funcionalidad de la variabilidad en la práctica, ya no sólo en habilidades de carácter abierto, sino también en habilidades cerradas. Riley y Turvey (2002) indican que el comportamiento humano se compone de variabilidad y determinismo. En su estudio observaron que los sujetos utilizaban la variabilidad del sistema motor utilizando la musculatura para provocar información propioceptiva que les sirviera para regular el equilibrio, lo que nos da un claro ejemplo de la funcionalidad de la variabilidad para el aprendizaje. Este ruido que provoca el propio sistema es observado por algunos autores como la fuente de adaptación y, por tanto, la característica que confiere a los sistemas biológicos la capacidad de aprender (Latash, 1993; Newell y Corcos, 1993).

Esta concepción de la variabilidad está apoyada en estudios donde se ha analizado la variabilidad intra-individual, viéndose mayores resultados en expertos que en novatos (Bauer y Schöllhorn, 1997). Esto lleva a pensar que la utilización de un patrón de movimiento que busca la «técnica ideal» no debe ser el objetivo. Por el contrario, se adquiere una nueva idea de adaptación del patrón a las propias características del individuo e incremento de la variabilidad para explorar el entorno y conseguir una mayor adaptación (Davids, Glazier, Araujo y Bartlett, 2003). El deportista utiliza la variabilidad del movimiento con el objetivo de encontrar la forma en la que mejor se adapta a las condiciones de la tarea a lo largo del tiempo (Moreno, 2006), reconociéndose ese papel funcional de la variabilidad al practicar (Bartlett, Wheat y Robins, 2007; Kudo y Ohtsuki, 2008).

En una habilidad cerrada, la fuente de variabilidad proviene del propio individuo. Si aplicamos una práctica variable en esta situación, el deportista se expone a un nivel incrementado de perturbaciones sobre su ejecución, como la aplicación de una carga de entrenamiento, y tiende a producirse un desequilibrio, disminuyendo su funcionalidad. Ante esta disminución de rendimiento, el sistema sería susceptible de adaptarse y supercompensar, preparándose para afrontar el ruido provocado sobre su movimiento, ajustando más adecuadamente su cuerpo para superar ese grado de variabilidad (Moreno, 2006). De esta forma, son cada vez más los estudios, que apoyan empíricamente esta teoría (Waddington y Adams, 2003; Savelsbergh, Kamper, Rabijs, De Koning y Schöllhorn, 2010; Schöllhorn, Beckmann y Davids, 2010).

Moreno (2006) señala que la aplicación de variabilidad sobre el aprendizaje de habilidades motrices debe encontrarse dentro de un nivel que permita una mejora en el rendimiento y no una perturbación tal que aleje al aprendiz de su objetivo de rendimiento. Según las recomendaciones de Davids y col. (2003), deben aplicarse

de manera intermitente y en niveles intermedios de ruido. Actualmente, tras estudiar los beneficios de la variabilidad en la práctica, recientes estudios van en la línea de identificar qué cantidad de variabilidad es la más beneficiosa.

Dentro de las habilidades cerradas, nos centramos en estudios que han valorado el efecto de la práctica en variabilidad en habilidades de lanzamiento o golpeo, como es el saque de tenis (Menayo, Fuentes, Moreno, Reina y García, 2010). En este estudio se aplican series con diferentes niveles de variabilidad, buscando observar el efecto que presenta en la eficacia del saque. Los autores no observan diferencias en las modificaciones sobre la eficacia, mientras que sobre las variables predictoras de la eficacia sí parece existir un efecto debido a la variabilidad. Esto puede deberse a que exista un proceso de auto-organización ante las condicionantes de la tarea, presentando diferentes resultados en función de la cantidad y características de la variabilidad aplicada. Por otro lado, en el estudio de Beckmann y Schöllhorn (2003) se estudiaron las diferencias entre la aplicación de entrenamiento diferencial y tradicional en el lanzamiento de peso, observando con el primero, no sólo mayor mejora en el rendimiento, sino mayor retención del aprendizaje.

Si nos centramos en el lanzamiento en balonmano, existen estudios basados en describir la biomecánica del lanzamiento con armado clásico (Yamamoto, Sonoshita y Yamamoto, 1974; Jöris, van Muyen, van Ingen Schenau y Kemper, 1985; van den Tillaar y Ettema, 2003; Fradet y col., 2004). Asimismo, determinados trabajos describen la variabilidad intra-individual como una característica propia de los lanzadores de balonmano, con el fin de engañar al portero y de evitar lesiones (Rojas, Gutiérrez, Ortega, Párraga y Campos, 2011). Sin embargo, pocos estudios en el ámbito del balonmano han tratado los efectos de la variabilidad en la práctica sobre la cinemática del movimiento. Dentro de estos, se encuentra el estudio de Wagner, Pfusterschmied, Klous, von Duvillard y Müller (2011) donde se investigó la diferencia en el rendimiento y la variabilidad en diferentes técnicas de lanzamiento de balonmano, concluyendo que los jugadores de balonmano poseen la capacidad de compensar los incrementos en variabilidad durante la aceleración de los segmentos más distales. Van den Tillaar y Ettema (2004) estudiaron los efectos que balones de distinta masa tenían sobre el lanzamiento de varios jugadores expertos encontrando que no existían modificaciones en el gesto global. Indicar que tanto los estudios de Wagner y col, como el de van den Tillaar y Ettema, investigan el efecto que sobre la técnica tiene el lanzar con diferentes modificaciones, pero se desconoce si un entrenamiento continuo con esas modificaciones provocaría cambios en el patrón de movimiento o en el rendimiento del lanzamiento. Estudios como el de Wagner y Müller (2008), si buscaron describir los efectos en la velocidad y precisión en el lanzamiento de balonmano tras la aplicación de entrenamiento en variabilidad y en-

trenamiento diferencial, obteniendo que el entrenamiento diferencial es beneficioso para aumentar la capacidad de lanzamiento en deportistas de alto rendimiento. En la misma línea se sitúa el estudio de García, Moreno y Cabero (2011), en el que se estudia los efectos de la práctica variable en la precisión del lanzamiento de siete metros en balonmano, observando una mayor mejora en la precisión del lanzamiento con el entrenamiento en variabilidad que con el de especificidad.

Referente al rendimiento de esta habilidad, varios estudios utilizan las variables de precisión y velocidad, puesto que estos dos parámetros son considerados dos de los principales factores que influyen en la eficacia del lanzamiento (Van den Tillaar y Ettema, 2006). En los lanzamientos que se desarrollan dentro de la dinámica de juego, parece bastante claro, pero tal y como indica Antón (2000), el lanzamiento de siete metros en balonmano es una tarea que demanda al sujeto no sólo un compromiso en la precisión sino igualmente, un requerimiento de fuerza para lograr el objetivo. En este sentido, hay estudios que ya han valorado la relación entre velocidad y precisión en el lanzamiento de balonmano en función del tipo de instrucción. El estudio de García, Sabido, Barbado y Moreno (2011) indica que, en sujetos expertos, las diferentes instrucciones afectan en la variable de velocidad, pero no a la precisión. Sin embargo, los participantes noveles disminuyen de manera significativa la variable de velocidad cuando se centran en la instrucción sobre la precisión. Por otro lado, además, Van den Tillaar y Ettema, (2003) muestran en su estudio que en jugadores expertos, el aumento de velocidad en el lanzamiento no afecta negativamente a la precisión, por lo que es conveniente trabajar a una velocidad máxima.

El objetivo de este estudio es valorar los efectos de diferentes tipos de práctica, comparando intervenciones en especificidad y entrenamiento con diferentes niveles de variabilidad en los parámetros cinemáticos y de eficacia, definida como la velocidad y la precisión, en el lanzamiento de siete metros en balonmano.

## MÉTODO

### *Participantes*

La muestra está formada por 30 participantes noveles con una edad media de  $24.23 \pm 4.65$  años, una altura de  $169.22 \pm 7.27$  cm y un peso de  $64.76 \pm 9.11$  Kg. 12 de los participantes eran mujeres (edad media de  $22.16 \pm 1.19$  años, altura de  $164.16 \pm 3.24$  cm y peso de  $58.38 \pm 7.08$  Kg) y 18 hombres (edad media de  $25.61 \pm 5.57$  años, altura de  $173.26 \pm 7.1$  cm y peso de  $69.86 \pm 7.2$  Kg). Todos los participantes habían cursado la asignatura de Iniciación al Balonmano en la titulación de Ciencias del Deporte (60 horas lectivas), por lo que conocían la técnica del armado clásico de balonmano. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado previo al estudio, donde se daban a conocer los objetivos de la investigación. En la

tabla 1, se muestran los estadísticos de la muestra en función de la división realizada para la composición de los cuatro grupos formados en el estudio.

TABLA 1  
Estadísticos descriptivos de la muestra participante

Grupos	Edad (años)	Estatura (cm)	Peso (kg)
Control (n=7)	26.28±7.97	169.33±9.87	68.33±11.97
Consistencia(n=8)	23.50±2.82	169.14±7.81	63.37±10.13
Variabilidad (n=7)	23.42±3.20	167.85±4.81	64.14±5.39
Mixto (n=8)	23.87±3.60	170.57±7.69	63.71±9.56

La distribución de los grupos se realizó basándonos en los resultados obtenidos en la evaluación inicial, de modo que se balancearon las variables de velocidad y precisión para homogeneizar el nivel inicial de todos los grupos. Asimismo, la variable género también se controló mediante el balanceo de la misma, igualando el número de participantes de ambos sexos en cada grupo. De esta forma, se evitó que existieran diferencias iniciales entre grupos.

#### *Instrumentos*

Para los tests de evaluación se utilizaron tres fuentes de registro de datos. Para el registro de la precisión del lanzamiento, se filmaron éstos mediante una cámara de video CanonMV901, con una frecuencia de registro de 50 fotogramas por segundo. La velocidad de los lanzamientos fue registrada mediante el radar Sports Radar SR3600. Para la descripción del recorrido espacial seguido por la mano ejecutora del lanzamiento se utilizó el sensor de posición tridimensional Polhemus Fastrak, con una frecuencia de registro de 120 Hz.

Tanto para el protocolo de medición como para el tratamiento, se utilizó una diana marcada con una cruz de 1x1 m, situada en una colchoneta sobre la pared a 1.80 m del suelo. Dicha diana se encontraba a 7 m respecto a la zona de lanzamiento. Los balones utilizados fueron balones oficiales IHF2.

Para el proceso de intervención, en dos de los tres tipos de práctica (variabilidad y mixta) se realizaron lanzamientos desde una plataforma de inestabilidad de 40 cm de diámetro y una altura de 5 cm. Esta plataforma producía inestabilidad en el apoyo de los participantes de manera combinada en los tres ejes. En la figura 1 se detallan de manera esquemática cada uno de los instrumentos comentados anteriormente.

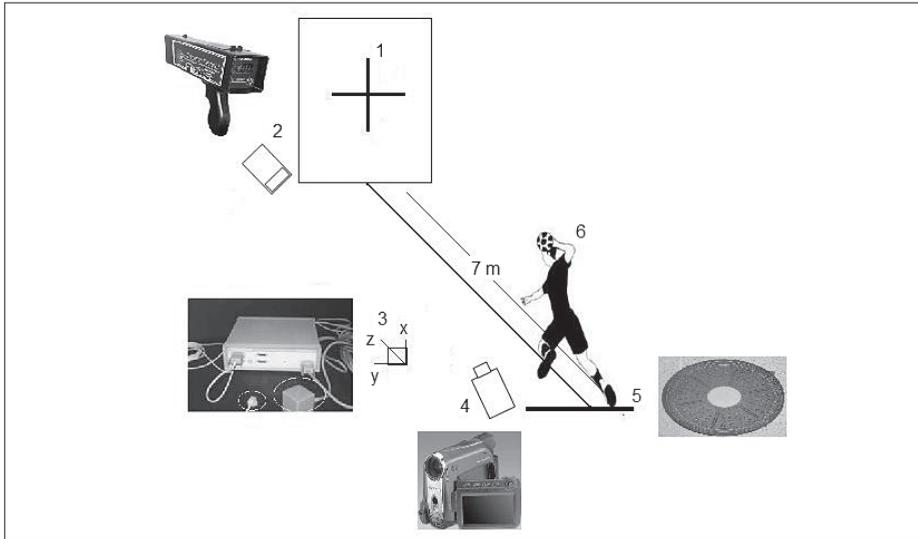


FIGURA 1: Situación experimental y distribución del instrumental durante el protocolo.

(<sup>1</sup> Punto criterio para la precisión; <sup>2</sup> Radar; <sup>3</sup> Emisor de señal del sistema Polhemus Fastrack; <sup>4</sup> Cámara de video; <sup>5</sup> Plataforma de inestabilidad (sólo utilizada durante el período de intervención en los grupos pertinentes); <sup>6</sup> Participante con el balón en la manos no dominante).

*Procedimiento*

Se llevó a cabo un estudio con diseño cuasi-experimental mixto, puesto que la distribución de las variables nos permitió realizar análisis tanto de medidas independientes, comparaciones entre-grupos, como de medidas repetidas para la variable tipo de aprendizaje, comprobando su efecto intra-grupo.

El tipo de práctica, variable independiente del estudio, fue manipulada en 4 niveles, aplicándose cada uno de ellos a diferentes grupos de participantes (Tabla 2), de modo que pudiésemos valorar su efecto en las diferentes variables dependientes (Tabla 3).

TABLA 2  
Descripción de los diferentes niveles de la variable independiente

V.I.	Tipo de práctica
Grupo control	Ausencia de práctica.
Práctica en consistencia	Práctica basada en la repetición del patrón de lanzamiento.
Práctica en variabilidad	Práctica del patrón de lanzamiento sobre una plataforma de inestabilidad.
Práctica mixta	Práctica combinada (ensayos en consistencia + ensayos en variabilidad).

TABLA 3  
Variables dependientes del estudio

V.D.	
Variables de rendimiento	Variables cinemáticas
Precisión del lanzamiento	Parámetros de la posición
Velocidad del lanzamiento	Parámetros temporales
Variabilidad del resultado	Variabilidad de ejecución

El estudio estuvo compuesto por las siguientes fases:

*Test inicial.* Los participantes debían realizar una serie de 10 lanzamientos en apoyo desde 7 metros, con una posición inicial de pies separados a la anchura de los hombros y balón situado delante del cuerpo, a media altura y sostenido con ambas manos. La ejecución se realizaba bajo la premisa «Lanza lo más fuerte y preciso que puedas» (van den Tillar y Ettema, 2003).

*Intervención.* Todos los grupos, a excepción del grupo control, llevaron a cabo un período de aprendizaje del lanzamiento durante cuatro sesiones en días consecutivos. Cada sesión consistía en la realización de 30 lanzamientos a la misma diana y desde la misma distancia que en las evaluaciones. Los lanzamientos se realizaron en tres series de 10 repeticiones, con 10 segundos de descanso entre los lanzamientos de la misma serie, y dos minutos de descanso entre series. La intervención de un grupo u otro se diferenció en función del nivel de la variable independiente asignado (consistencia, variabilidad o mixto). El grupo mixto alternaba bloques de cinco ensayos de cada una de las metodologías dentro de cada serie.

*Test final.* Se realizó el mismo protocolo que en el test inicial, realizado el día siguiente de terminar el proceso de intervención.

*Test de retención.* Se realizó una última evaluación pasados 3 días desde el test final, realizando el mismo protocolo que en los anteriores test.

Indicar que previo a todos los registros y las sesiones prácticas realizaban un calentamiento articular de las extremidades superiores y tres lanzamientos.

#### *Adquisición de datos*

La *precisión del lanzamiento* fue calculada a través de la distancia de separación en metros, entre el lugar de llegada del balón a portería y el valor criterio, localizado en el centro de la cruz, y denominado como error radial (García y col, 2011a).

$$M = \sqrt{Xi^2 + Yi^2}$$

La *velocidad del lanzamiento* se calculó de forma directa mediante un radar y fue medida en km/h.

El análisis de los *parámetros de posición* se realizó mediante software escrito por los autores en LabView (National Instruments, Austin, TX). Se analizó la cinemática del movimiento en los 3 ejes espaciales: antero-posterior (eje X), medio-lateral (eje Y) y longitudinal (eje Z). Se calcularon las distancias recorridas en las fases del lanzamiento (Figura 2). Estas fases están identificadas en función del recorrido en el eje Z:

- *Fase 1.* Inicio del movimiento y punto mínimo del recorrido (punto A al B).
- *Fase 2.* Punto mínimo del recorrido y punto máximo del recorrido, como indicador de la suelta del balón, puesto que según van den Tillaar y Ettema (2004) desde el punto máximo del recorrido (extensión máxima del hombro) hasta el momento de la suelta del balón transcurren menos de 10 ms (punto B al C).
- *Movimiento completo.*



FIGURA 2: Instantes del lanzamiento que delimitan las fases del lanzamiento en el armado clásico de balonmano

Todos los parámetros de posición fueron registrados en metros.

No hubo un patrón común para todos los participantes (Figura 3) y en la descripción cinemática aparecieron dos gestos diferenciados: armado por delante y armado por detrás (Falkowski y Enríquez, 1982). Esto puede ser debido a la falta de automatización del patrón motriz a realizar.

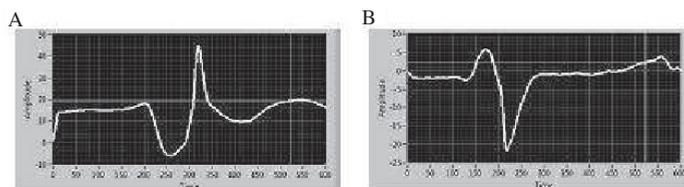


FIGURA 3: Ejemplo del recorrido espacial del brazo en el eje Z durante el lanzamiento realizando el patrón de armado por detrás (A); Ejemplo del recorrido espacial durante el lanzamiento realizando el patrón de armado por delante (B).

- *Parámetros temporales del movimiento.* Calculados en función del tiempo medio (expresado en milisegundos) empleado entre ensayos en la ejecución completa del lanzamiento de balonmano, y en cada una de sus fases definidas anteriormente.
- *Variabilidad del rendimiento.* Fue valorada a través del cálculo de la desviación típica (DT), entre ensayos, de la precisión y la velocidad.
- *Variabilidad de ejecución.* Se encuentra definida en función de los parámetros cinemáticos y temporales del movimiento. Fue calculada mediante la DT entre ensayos, tanto del espacio recorrido por la mano ejecutora durante el lanzamiento, como del tiempo empleado en la realización del gesto global y de las fases anteriormente definidas.

### *Análisis de datos*

Los valores obtenidos fueron introducidos en una base de datos y tratados mediante el paquete estadístico SPSS 15.0. Se evaluó la normalidad de las variables a través del test de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors y el t-test para muestras no apareadas de Levene, y se obtuvo una distribución normal para todas las variables estudiadas. La prueba estadística utilizada para evaluar las diferencias entre los dos grupos en cada una de las valoraciones fue un ANOVA de medidas repetidas con el ajuste de Bonferroni. Se utilizó un factor inter-grupo de cuatro niveles, referidos al tipo de práctica y un factor intra-grupo de tres niveles, referentes a los momentos de registro, para ver si existían diferencias entre grupos en cada una de las valoraciones y diferencias dentro de un mismo grupo entre valoraciones. En los análisis donde no se cumplía el supuesto de esfericidad, se aplicó la corrección estadística de Greenhouse-Geisser. En todos los análisis se estableció el nivel de significación en  $p < .05$ .

## RESULTADOS

Lo primero que se muestran son los resultados obtenidos a cerca de las variables de *rendimiento*.

Dentro de los resultados referidos a la *velocidad* del lanzamiento (Figura 4), no existen diferencias significativas entre grupos, ni entre valoraciones dentro de un mismo grupo. Lo que sí aparece es una clara tendencia por parte de todos los grupos, excepto el de práctica mixta a reducir la velocidad del lanzamiento tras el tratamiento. Respecto al grupo mixto, decir que presenta una evolución en dirección contraria, siendo el único grupo que aumenta la velocidad de lanzamiento tras los días de prácticas y manteniendo el nivel adquirido tras los días de descanso.

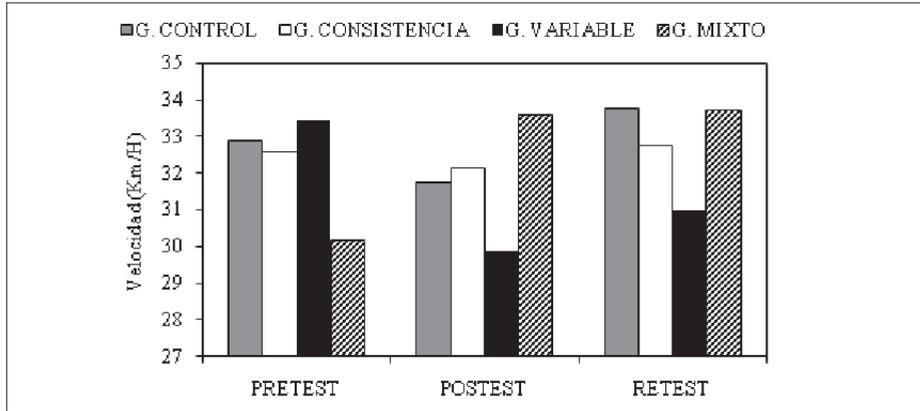
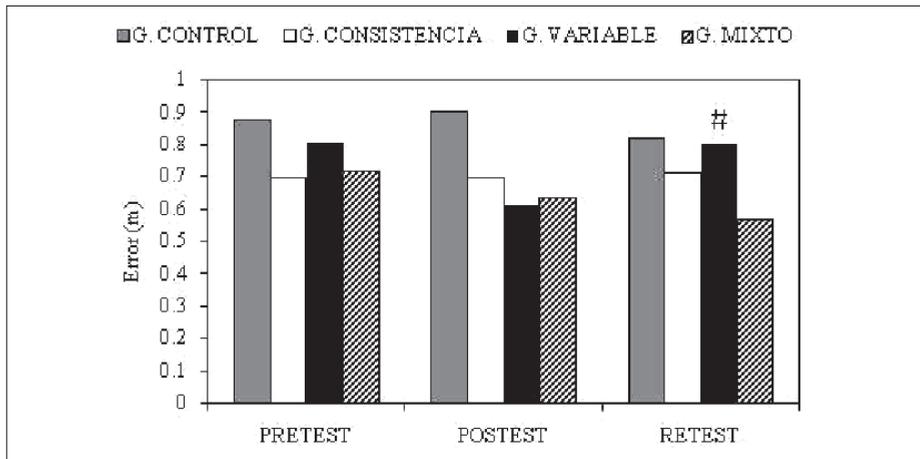


FIGURA 4: Valores medios de las velocidades registradas en cada uno de las valoraciones, agrupados por grupos

Respecto a los valores de *precisión* (Figura 5), todos los grupos muestran una tendencia a mejorar tras el tratamiento y una vuelta al nivel inicial tras los días de descanso, sin mostrar diferencias ( $F_{4,976, .222} = 1.423$ ). Sin embargo, cuando realizamos una comparación por pares sí se obtienen diferencias dentro del grupo de práctica en variabilidad entre el retest y el posttest ( $p < .05$ ), empeorando su precisión tras los días de descanso respecto a la mejora obtenida tras el tratamiento. Algo a destacar, aunque no aparezcan diferencias significativas, es que en el grupo mixto, es el único grupo donde se observa una retención del aprendizaje, puesto que es el único que, tras el tiempo de descanso, mejora sus resultados.



#  $p \leq 0.05$ . Diferencias intra-grupo posttest-retest

FIGURA 5: Valores medios del módulo de la precisión por grupos

Respecto a la variabilidad de resultado no existen diferencias significativas en ninguno de los grupos.

En cuanto a las *variables cinemáticas*, decidimos mostrar los ejes X y Z, puesto que son los que muestran información más relevante.

Lo primero que debemos destacar es el cambio de patrón de movimiento producido por siete de los participantes a lo largo del estudio. En las evaluaciones del postest se ha observado que todos los sujetos que inicialmente mostraban el armado por delante cambian al otro patrón descrito, independientemente del grupo al que pertenecían.

De este modo, los siguientes análisis que realizamos que corresponden a las fases 1 y 2 del movimiento, sólo se realizan comparando el postest y retest, puesto que estas fases no existen en el patrón de armado por delante y no podemos comparar participantes que presenten diferente patrón.

Comenzando por el *recorrido en el eje X* (Figura 6), definido como el eje antero-posterior, respecto a la fase 1, no existen diferencias significativas en ninguno de los grupos. La tendencia, a excepción del de consistencia, es que presentan mayor recorrido espacial en el retest que en el postest.

En la fase 2 del movimiento, tampoco existen diferencias significativas. La tendencia es que los grupos de control y consistencia disminuyen el espacio recorrido tras los días de descanso, mientras que los grupos variable y mixto lo aumentan.

En el movimiento completo del lanzamiento, desde el inicio del movimiento hasta el punto máximo del recorrido, tampoco existen diferencias. La tendencia nos indica que todos los grupos aumentan el recorrido en este eje tras el tratamiento, pero en el retest vuelven a los niveles iniciales, incluso por debajo, a excepción del grupo variable y el mixto.

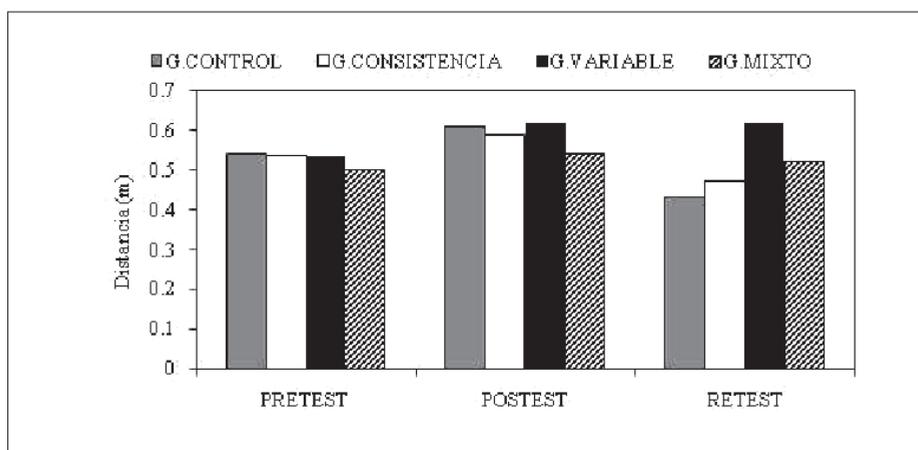
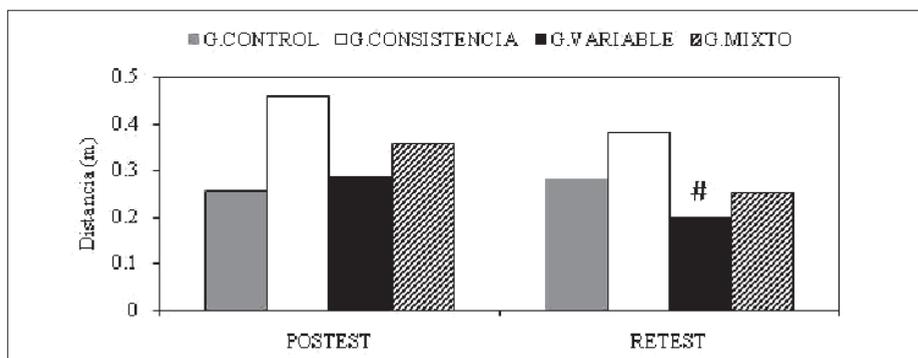


FIGURA 6: Valores medios del espacio recorrido por la mano ejecutora en el eje X a lo largo del movimiento completo, por grupos

En cuanto a la variabilidad de ejecución, en este eje no existen diferencias significativas tras el aprendizaje realizado en ninguna de las fases definidas.

Los resultados basados en el *recorrido del eje Z* (Figura 7) hacen referencia al eje longitudinal del lanzamiento. Respecto a la fase 1, no existen diferencias ( $F_{3,990, 535.203} = 1.117$ ), aunque, realizando una comparación por pares sí se obtienen diferencias en el grupo de práctica en variabilidad ( $p < .05$ ), el cual disminuye la amplitud media del movimiento en el retest respecto al postest.



# $p \leq 0.05$ . Diferencias intra-grupo postest-retest.

FIGURA 7: Valores medios del espacio recorrido por la mano ejecutora en el eje Z a lo largo de la fase 1 del movimiento por grupos

En los resultados referentes a la fase 2 del movimiento ninguno de los grupos presentan diferencias significativas, aunque todos, a excepción del grupo control, muestran la misma tendencia, disminuyen la distancia recorrida en el retest respecto al postest.

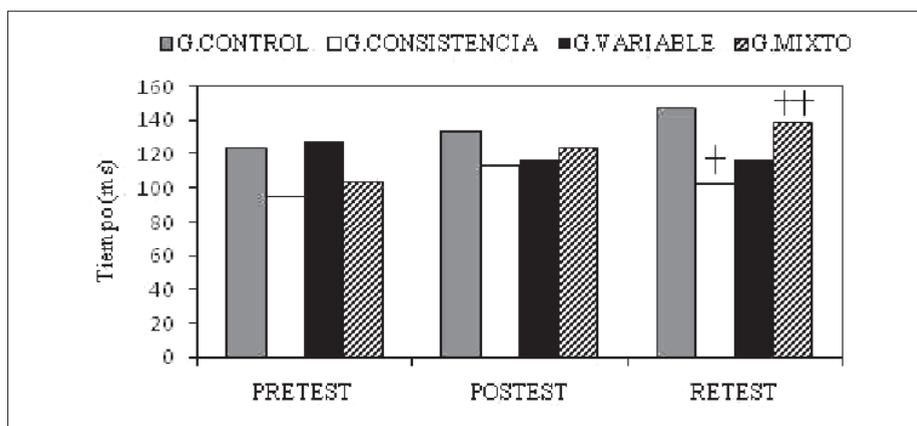
En la globalidad del gesto tampoco existen diferencias significativas en el eje longitudinal, aunque sí parece existir una tendencia por parte de todos los grupos a aumentar el espacio recorrido tras el tratamiento y, tras los días de descanso, retornar a los niveles iniciales.

Respecto a la variabilidad del movimiento, en la fase 1, todos, a excepción del grupo control finalizan el estudio con menor nivel de variabilidad que el presentado inicialmente, aunque sin ser esta diferencia significativa.

En el resto de fases, no existen diferencias significativas en cuanto a la variabilidad del espacio recorrido.

Por último, se muestran los resultados referentes al *tiempo de ejecución* (Figura 8), donde existen diferencias entre las situaciones de pretest y retest en los grupos de consistencia y mixto ( $F_{3,763, 7986.888} = 4.617$ ), presentando en ambos casos mayor

tiempo de ejecución en el retest. Todos los grupos, excepto el grupo variable presentan un aumento del tiempo de ejecución en el postest respecto a los niveles iniciales. Por otro lado, en los valores del retest respecto al postest, el grupo control y el mixto siguen aumentando el tiempo de movimiento, mientras que el grupo de consistencia lo disminuyen y el variable mantiene valores similares.



+  $p \leq 0.05$ . Diferencias intra-grupo pretest-retest.

++  $p \leq 0.01$ . Diferencias intra-grupo pretest-retest.

FIGURA 8: Valores medios del tiempo transcurrido a largo del movimiento por grupos

## DISCUSIÓN

Respecto a los resultados obtenidos en el *rendimiento*, se confirma la idea de autores como Davids y col. (2003) quienes exponen que las perturbaciones durante el aprendizaje o entrenamiento de una habilidad, pueden permitir optimizar los procesos de adquisición de una habilidad. De esta forma, la perturbación que ha supuesto la práctica en la plataforma de inestabilidad en el grupo de entrenamiento mixto parece haber beneficiado su rendimiento, aunque no haya sido de manera significativa. Estudios como los de Wagner y Müller (2008) y García y col. (2011a) encontraron beneficios en el rendimiento al aplicar tareas en condiciones de variabilidad, respecto a metodologías basadas en el trabajo de consistencia para la mejora del lanzamiento de balonmano, pero ninguno de estos estudios han planteado los beneficios respecto una metodología mixta, tal y como proponemos en nuestro trabajo. En este sentido es necesario profundizar en mayor medida, aumentando el número de participantes y las sesiones de prácticas, para obtener unas conclusiones más definitivas acerca de la utilidad de la metodología mixta.

Debemos indicar que aunque todos los grupos parecen mejorar su rendimiento, pues disminuyen su error, la tendencia a disminuir la velocidad media en el lanzamiento respecto al test inicial es un aspecto que perjudica el rendimiento de la prueba. Parece observarse una adaptación de los participantes que les permite ser más precisos, pero a costa de una menor velocidad de lanzamiento. Estos resultados se contradicen con los encontrados en otros estudios, como el de Wagner y Müller (2008), en el que se produce tanto una mejora de la precisión como de la velocidad del lanzamiento, aunque hay que indicar que en este estudio, el entrenamiento en variabilidad se aplica a un único jugador, por lo que dichos resultados deberían tomarse con cautela. Un posible motivo de la disminución de la velocidad puede ser que, tanto en las valoraciones como en las sesiones de entrenamiento, los participantes tenían feedback sobre la precisión de sus lanzamientos, puesto que podían observar cuánto se alejaban de la diana. Sin embargo, esto no ocurría con los resultados de velocidad, de los cuales no obtenían ningún tipo de información. De este modo, a pesar de que la premisa que se dio en nuestro estudio fue «lanza lo más fuerte y preciso que puedas», puede haberse visto perjudicada la velocidad a favor de la precisión. Siguiendo con esta idea, en el estudio de García y col. (2011b), donde se valora la precisión y velocidad en el lanzamiento de siete metros en función de la instrucción, los resultados indican que los participantes presentan una disminución de la velocidad al centrarse en la precisión del lanzamiento. Destacar que esta tendencia de disminuir la velocidad del lanzamiento no es común a todas las estrategias de aprendizaje, puesto que el grupo mixto presenta una tendencia a aumentar la velocidad del lanzamiento.

Estos resultados nos llevan a pensar que la combinación de las estrategias de aprendizaje puede tener una importante utilidad. El entrenamiento de consistencia y de variabilidad aplicados de manera conjunta conlleva una mejora tanto en la precisión como en la velocidad, aunque no de manera significativa, por lo que hace falta aplicar un mayor período de tratamiento y mayor muestra para confirmar esta idea. Esto podría estar relacionado con la idea de algunos autores (Davids y col., 2003; Moreno, 2006) que consideran que la aplicación de variabilidad sobre el aprendizaje de habilidades motrices debe encontrarse en niveles intermedios de ruido, dentro de un nivel que permita una mejora en el rendimiento y no una perturbación tal que aleje al aprendiz de su objetivo de rendimiento. En este sentido, la estrategia de aprendizaje del grupo mixto puede relacionarse con la aplicación de un menor nivel de variabilidad que el aprendizaje realizado por el grupo de variabilidad. Uno de los motivos por los que la práctica en variabilidad pueda ser excesiva es la inexperiencia de la muestra en la habilidad estudiada, lo que nos lleva a que los participantes presentan inicialmente un alto nivel de variabilidad intrínseca que au-

tores como Schorer, Baker, Fath y Jaitner (2007) caracterizan como variabilidad aleatoria. Dicha variabilidad sumada a la aplicada con el entrenamiento, puede sobrepasar los niveles aconsejados de perturbación (Schöllhorn, Mayer-Kress y Michelbrink, 2009).

Los resultados del grupo de aprendizaje en consistencia muestran que la mera repetición del gesto no es un estímulo significativo que provoque la adaptación (Davids, Button y Bennett, 2008). De forma complementaria se realizó un análisis visual de las curvas de aprendizaje de cada sujeto. Del grupo de aprendizaje en consistencia, 5 de los 8 participantes redujeron su error, y 3 lo aumentaron. Estos 3 participantes que lo aumentaron lo hicieron de manera notable, de ahí que los datos del grupo de consistencia no reflejen siquiera una tendencia a la mejora. Estos datos nos llevan a compartir la idea de Beckmann y Schöllhorn (2003) quienes comentan que en los estudios de aprendizaje es muy importante conocer la evolución de cada sujeto para conocer la adaptación que una metodología supone para el conjunto. Es decir la práctica constante sin más, es una estrategia que no sirve con todos los sujetos que intentan aprender una tarea de precisión y velocidad.

Nuestros resultados respecto al grupo mixto parecen no estar del todo de acuerdo con la idea de Smith, Gregory y Davies (2003) de que el aprendizaje en variabilidad no presenta mejoras en participantes con poca experiencia. Sin embargo, estudios como el de Shahrzad, Bahram y Shafizadeh (2010) coinciden con nuestros resultados, mostrando la utilidad de la práctica en variabilidad en edades tempranas. Nuestra tarea era nueva para la muestra y, sin embargo, el entrenamiento mixto, el cual presenta un nivel de práctica en variabilidad y un nivel de práctica en consistencia, ha tenido una tendencia a mejorar entre el test inicial y final, tanto en precisión como en velocidad, y esta mejora, aunque no se ha dado de manera significativa, se ha mantenido en el test de retención.

En cuanto a las variables cinemáticas, destacamos el cambio esperado que transcurre en el patrón de lanzamiento en todos los participantes que presentaban el armado por delante al inicio del estudio. Los participantes que presentaban inicialmente el armado por detrás lo han mantenido durante el estudio. Este cambio no puede asociarse al tratamiento aplicado ya que también ocurre con un participante del grupo control, por lo que parece que los lanzamientos de las evaluaciones son suficientes para provocar el cambio de dicho patrón.

Acerca de los datos cinemáticos obtenidos en este estudio, destacar que cada una de las estrategias de aprendizaje ha influenciado de diferente modo sobre cada uno de los ejes analizados. En este sentido, el grupo de entrenamiento en consistencia presenta una tendencia a reducir el recorrido en ambos ejes, con el fin de reducir el patrón de movimiento, dotándolo de menor flexibilidad. Esta rigidez en

el movimiento, se asocia con un comportamiento menos preciso, menos estable, lo que puede relacionarse con una disminución del rendimiento (Scholz, Schöner y Latash, 2000).

Por otra parte, los grupos de entrenamiento variable y entrenamiento mixto presentan una tendencia a aumentar el espacio recorrido por la mano en X y reducir en Z, aumentando la flexibilidad del movimiento en el eje X. Esta flexibilidad del patrón, puede estar relacionada con una mejora a corto plazo en el rendimiento, en cuanto a precisión, ya que el grupo de variabilidad mejora de forma significativa tras el tratamiento, a pesar de empeorar en el retest.

Respecto al tiempo de ejecución, los resultados indican que tanto con el entrenamiento en consistencia, como con el de variabilidad, el lanzamiento presenta mayor duración. Esto puede deberse a que los participantes se centraron más en el objetivo de precisión y no en el de velocidad, por lo que pasaron a realizar un mayor control del movimiento. Esto concuerda con los valores de rendimiento sobre la velocidad comentados anteriormente. Este parámetro, cuando no conlleva una mayor aplicación de velocidad al balón, indica una menor efectividad en el lanzamiento, pero hay que destacar que el grupo de variabilidad, a pesar de lanzar más lento, aumenta el espacio recorrido en X, como ya hemos comentado, con lo cual no significa que se ralentice el lanzamiento, sino que al realizar un movimiento con mayor amplitud se emplea mayor tiempo. Dado que estudios sobre cinemática en el lanzamiento en balonmano (Jöris y col., 1985; Wagner y col., 2011), se han centrado en variables como angulaciones y velocidades de los segmentos, creemos que son necesarios más trabajos que al igual que en nuestro caso analizan recorridos y tiempos empleados durante dicha acción técnica.

Como principal conclusión de nuestro trabajo podemos comentar que en etapas iniciales del aprendizaje, de una tarea de precisión y velocidad, la práctica intercalada de movimientos con y sin variabilidad puede permitir mejoras en el rendimiento frente a metodologías exclusivamente basadas en la repetición del gesto o en variabilidad. Finalmente, indicar que en este sentido, es necesario profundizar en mayor medida para consolidar estas conclusiones, aumentando el número de participantes y el tiempo de aplicación del tratamiento planteado en nuestro estudio.

#### REFERENCIAS

- Antón, J. L. (2000) *Análisis táctico individual del lanzamiento de siete metros (1.ª parte) en Balonmano*. Perfeccionamiento e investigación (51-69). Barcelona, INDE.
- Bartlett, R.M., Wheat, J.S. y Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanics? *Sports Biomechanics*, 6, 224-243.
- Bauer, H. U. y Schöllhorn, W. (1997). Self-Organizing Maps for the Analysis of Complex Movement Patterns. *Neural Processing Letters*, 5, 193-199.

- Beckman, H. y Schöllhorn, W. (2003). Differential learning in shot put. En W. I. Schöllhorn, C. Bohn, J.M. Jäger, H. Schaper y M. Alichmann (eds.), *Mechanics, Physiology, Psychology, Actas del «Ist European Workshop on Movement Science* (pp. 68-69). Köln: Sport and Buch Strauß
- Davids, K., Glazier, P., Araujo, D., y Bartlett, R. (2003) Movement systems as dynamical systems: the role of functional variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, 33, 245–60.
- Falkowski, M. M. y Enríquez, E. y (1982) *Estudio monográfico de los jugadores de campo*. Volumen I. Aspectos técnicos. Madrid: Esteban Sanz Martínez.
- Fradet, L., Botcazou, M., Durocher, C., Cretual, A., Multon, F., Prioux, J., and Delamarche, P. (2004). Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence? *Journal of Sports Sciences*, 22, 439-447.
- García, J.A., Moreno, F.J. y Cabero, M.T. (2011a). Efectos del entrenamiento en variabilidad sobre la precisión del lanzamiento de siete metros en balonmano. *E-Balonmano*, 7 (2), 67-77.
- García, J.A., Sabido, R., Barbado, D. y Moreno, F.J. (2011b). Analysis of the relation between throwing speed and throwing accuracy in team-handball according to instruction. *European Journal of Sport Science*, DOI:10.1080/17461391.2011.606835.
- Jöris, H. J. J., Edwards van Muyen, A. J., van Ingen Schenau, G. J., y Kemper, H. C. G. (1985). Force, velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *Journal of Biomechanics*, 18, 409–414.
- Kudo, K. y Ohtsuki, T. (2008). Adaptive variability in skilled human movements. *Information and Media Technologies*, 3(2), 409-420.
- Latash, M.L. (1993). *Control of Human Movement*. Champaign. Illinois: Human Kinetics.
- Menayo, R., Fuentes, J.P., Moreno, F.J., Reina, R. y García, J.A. (2010). Relación entre variabilidad de la práctica y variabilidad en la ejecución del servicio plano en tenis. *Motricidad. European Journal of Human Movement*, 25, 75-92.
- Moreno, F.J. (2006). Variabilidad, adaptación y aprendizaje de habilidades cerradas. Actas del *Primer Congreso de la Sociedad Española de Control Motor*. Melilla: Universidad de Granada.
- Newell, K.M. y Corcos, D.M. (1993). Issues in variability and motor control. En K.M. Newell, and D.M. Corcos (eds.), *Variability and Motor Control* pp. 1-12. Champaign IL: Human Kinetics.
- Riley, M.A. y Turvey, M. (2002). Variability and determinism in motor behaviour. *Journal of Motor Behaviour*, 64, 99-125.
- Rojas, J., Ortega, M., Gutiérrez-Dávila, M., Campos, J. y Párraga, J. (2011). Intraindividual variability of the movement patterns of the experts handball throwers. En libro de actas del *XIX Symposium of the International Society Biomechanics of Sports*, Vilas\_Boas, Machado, Kim y Veloso (Eds.). Oporto (Portugal).
- Savelsbergh, G., Kamper, W.J., Rabijs, J., De Koning, J.J. y Schöllhorn, W. (2010). A new method to learn to start in speed skating: A differential learning approach. *International Journal Sport Psychology*, 41, 415-427.

- Schöllhorn, W. Beckmann, H. y Davids, K. (2010). Exploiting system fluctuations. Differential training in physical prevention and rehabilitation programs for health and exercise. *Medicina (Kaunas)*, *46*, 365-73.
- Schöllhorn, W.I., Mayer-Kress, G., Newell, KM y Michelbrink, M. (2009). Time scales of adaptive behavior and motor learning in the presence of stochastic perturbations. *Human Movement Science*, *28*, 319-333.
- Scholz, J.P. Schöner, G. & Latash, M.L. (2000). Identifying the control structures of multijoint coordination during pistol shooting. *Experimental Brain Research*, *135*, 382-404
- Schorer, J., Baker, J., Fath, F. and, Jaitner, T. (2007). Identification of interindividual and intraindividual movement patterns in handball players of varying expertise levels. *Journal of Motor Behavior*, *39*, 5, 409-421.
- Shahzad, Bahram y Shafizadeh (2009). The Effect of Variability of Practice and Age on Retention and Transfer of the Overarm Throwing Accuracy in Children. *Development and motor learning (Harakat)*, (1), 115-133.
- Smith, P.J., Gregory, S.K. y Davies, M. (2003). Alternating versus blocked practice in learning a cartwheel. *Perceptual and Motor Skills*, *96*, 1255-1264.
- Van den Tillaar, R. y Ettema, G. (2003). Instructions emphasizing velocity, accuracy, or both in performance and kinematics of overarm throwing by experienced team handball players. *Perceptual Motor Skills*, *97*, 731-42.
- Van den Tillaar, R. y Ettema, G. (2004). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *Journal of Sports Science and Medicine*, *3*, 211-219.
- Van den Tillaar, R. y Ettema, G. (2006). A comparison between novices and experts of the velocity-accuracy trade-off in overarm throwing. *Perceptual Motor Skills*, *103*, 503-14.
- Waddington, G. y Adams, R. (2003). Football boot insoles and sensitivity to extent of ankle inversion movement. *British Journal Sports Medicine*, *37*, 170-175.
- Wagner, H. y Müller, E. (2008). The effects of differential and variable training on the quality parameters of a handball throw. *Sport Biomechanics*, *7* (1), 54-71.
- Wagner, H., Pfusterschmied, J., Klous, M., Serge, D. y Müller, E. (2011). Movement variability and skill level of various throwing techniques. *Human Movement Science*, *31*, 78-90. doi:10.1016/j.humov.2011.05.005
- Yamamoto, S., Sonoshita, A., y Yamamoto, H. (1974). Biomechanical analysis on shooting capability of an elite Japanese junior female team handball athlete. En R. C. Nelson, C. A. Morehouse (Eds.) *Biomechanics IV* pp. 237-242. London: Macmillan.