

**ESPACIO RESERVADO PARA SU PATROCINIO PERMANENTE DE ESTE
ARTÍCULO****PERMANENT SPACE FOR YOUR SPONSORSHIP****Información / Information: rsanzdelara@hotmail.com****Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte- vol. 11 -número 43 - septiembre 2011 - ISSN: 1577-0354**

Gutiérrez-Davila, M.; Ortega, M.; Párraga, J.; Campos, J. y Rojas, F.J. (2011). Variabilidad de la secuencia temporal de la cadena cinética en el lanzamiento de balonmano. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 11 (43) pp. 455-471.
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista43/artvariabilidad238.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista43/artvariabilidad238.htm)

ORIGINAL**VARIABILIDAD DE LA SECUENCIA TEMPORAL DE LA
CADENA CINÉTICA EN EL LANZAMIENTO DE
BALONMANO****VARIABILITY OF THE TEMPORARY SEQUENCE OF THE
KINETIC CHAIN OF THE HANDBALL THROW****Gutiérrez-Davila¹, M.; Ortega², M.; Párraga³, J.; Campos⁴, J. y Rojas⁵, F.J.**

¹ marcosgd@ugr.es. Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el deporte. Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada

² maob@hotmail.com Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el deporte. Departamento de Didáctica y Expresión Corporal. Universidad de Jaén

³ jparraga@ujaen.es Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el deporte. Departamento de Didáctica y Expresión Corporal. Universidad de Jaén

⁴ Jose.Campos@uv.es Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el deporte. Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Valencia

⁵ fjrojas@ugr.es. Doctor en Ciencias de la Actividad Física y el deporte. Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada

CÓDIGOS UNESCO: 2406.04 Biomecánica**Clasificación del Consejo de Europa: 3. Biomecánica del deporte.****Recibido** 22 de febrero de 2010**Aceptado** 22 de enero de 2011

RESUMEN

Se pretende analizar la variabilidad intraindividual de los lanzamientos en apoyo desde nueve metros y en presencia de un portero. La muestra se compone de cuatro lanzadores y siete porteros de la primera división española. A partir de las fuerzas de reacción se registró el movimiento de los porteros, y los lanzamientos mediante técnicas de vídeo 3D. La variabilidad en los patrones de movimiento engaña al portero y reducen el tiempo de movimiento. La cadena cinética utilizada responde a una secuencia temporal P-D, orientada a reducir el estrés excesivo en la articulación del hombro. La inercia del tronco permite reducir el tiempo de ejecución y elegir el instante de inicio de lanzamiento según las acciones del portero.

PALABRAS CLAVE: Biomecánica, Patrón de movimiento, Secuencia temporal P-D, Lanzamiento en Balonmano.

ABSTRACT

The aim is to analyze the intraindividual variability of the throw in support realized from nine meters and in presence of a goalkeeper. Four throwers and seven goalkeepers from first Spanish division took part. From the forces of reaction proceeding from the platform, was registered the beginning of the movement of the goalkeeper, whereas the model of the throwing was using video 3D. The variability in the movement pattern faked the goalkeepers and reduced the time of movement. The kinetic chain is a temporary sequence P-D orientated to reducing the excessive stress in the joint of the shoulder. The inertia of the trunk reduced the time of execution and choose the instant of throwing depending on the goalkeeper.

KEY WORDS: Biomechanics, movement pattern, proximal-to-distal sequence, handball throw

INTRODUCCIÓN

Los golpes o lanzamientos que tienen como objetivo obtener una alta velocidad del segmento más distal, como sucede en el remate de voleibol, el saque de tenis, el lanzamiento de jabalina o la mayoría de los lanzamientos de balonmano a portería, utilizan un patrón de movimiento basado en las cadenas cinéticas secuenciales, las cuales comienzan con la movilización del segmento más proximal hasta el más distal (secuencia P-D). Para conseguir que el segmento más distal alcance una alta velocidad final, este modelo de cadena cinética aprovecha la transferencia de impulsos angulares de un segmento a otro. La eficiencia de este modelo de cadena cinética depende de tres factores generales: a) la posición adoptada por los segmentos en el espacio, considerando

que, cuando se incrementa su distancia con respecto al eje de giro, también se incrementa la posibilidad de aumentar su velocidad tangencial, *b*) la participación de la musculatura, la cual se ve favorecida por una mayor contribución de los momentos de contracción de la musculatura implicada como consecuencia del pre-estiramiento muscular debido al retroceso de los segmentos más distales al acelerarse los más proximales y *c*) de la secuencia temporal de participación de los segmentos, donde la necesaria transferencia del impulso angular desde el segmento más proximal hasta el más distal, requiere de una secuencia temporal segmentaria (Herring and Chapman, 1992; Putnam, 1993).

Habitualmente se ha considerado que la necesidad de utilizar una secuencia temporal de participación segmentaria condiciona una cierta estabilidad individual en el patrón de los lanzamientos que utilizan estas cadenas cinéticas P-D, lo que ha podido ser utilizado por las teorías cognitivas del control motor para considerar este patrón de movimiento como un invariante del esquema motor (Schmidt, 1985). Esta teoría, apoyada por la idea de que los patrones de movimiento son más estables cuando se incrementa la práctica (Müller and Sternad, 2004; Newel, Deutsch, Sosnoff and Mayer-Kress, 2006; Chow, Davids, Button and Koh, 2008), ha sido utilizada por la biomecánica deportiva para justificar que, para los lanzadores de élite, el análisis de un sólo ensayo puede representar su técnica individual. Así, habitualmente, la técnica individual de los lanzadores de élite ha sido descrita a partir del análisis del mejor intento realizado durante competiciones de especial relevancia. Un aspecto que está siendo cuestionado al comprobarse que, hasta los lanzadores muy experimentados, son incapaces de reproducir el mismo patrón de movimiento durante varias sesiones consecutivas (Morriss, Bartlett and Fowler, 1997; Bartlett, Wheat and Robins, 2007; Kudo and Ohtsuki, 2008). Incluso para el lanzamiento de jabalina de alto nivel, donde el único objetivo es obtener la máxima distancia, se ha descrito una cierta variabilidad intraindividual que les permite adaptarse a los cambios ambientales o solucionar ciertos problemas relacionados con la prevención de lesiones (Bartlett, Müller, Lindinger, Brunner and Morriss, 1996; Bartlett, Wheat and Robins, 2007).

En los lanzamientos a portería de balonmano, las aportaciones de Hong, Cheung and Roberts (2001) y especialmente los resultados obtenidos por Fradet, Botcazou, Durocher, Cretual, Multon, Prioux and Delamarche (2004), profundizan en las corrientes críticas sobre la estabilidad de los patrones de lanzamiento basados en las cadenas cinéticas secuenciales, al poner de manifiesto que el patrón de movimiento utilizado por jugadores de balonmano muy experimentados, no se comporta como una estructura típica de secuencia temporal segmentaria P-D, a pesar de tener como uno de sus objetivos el conseguir una alta velocidad tangencial del móvil. Aunque las razones expuestas para dar una explicación a este hallazgo son poco claras, estos autores consideran probable que se deba a un intento de engañar al portero y/o proteger el hombro de ciertas lesiones. Estas conclusiones pueden fundamentarse al considerar que la mayoría de los lanzamientos de balonmano se producen ante

oposición, donde la velocidad de despegue del balón no debe ser el único criterio de eficacia. Así, ante estas situaciones, un jugador de balonmano experto y eficaz, además de conseguir una alta velocidad de despegue del balón, debería ser capaz de lanzar con rapidez y precisión, mientras engaña al oponente.

En este sentido, Ilmane and LaRue (2008) han puesto de manifiesto que la presión temporal a la que se ven sometidos los jugadores de balonmano podría alterar su patrón de lanzamiento. En general, los patrones de lanzamiento sujetos a una oposición directa, como ocurre en el balonmano, además de la precisión y la velocidad tangencial de salida del balón, el tiempo de ejecución constituye un factor de eficacia de especial relevancia. El análisis teórico de estos modelos secuenciales de lanzamiento, nos permite establecer un compromiso entre el tiempo de ejecución y la velocidad tangencial de salida del balón. Así, cuando se reduce el número de segmentos implicados en la transferencia de impulsos angulares de la cadena cinética secuencial P-D, el tiempo de ejecución del lanzamiento se reduce y la velocidad tangencial de salida del balón tiende a ser menor. van den Tillaar and Ettema (2004; 2007), incorporando el factor tiempo en la ejecución del lanzamiento de siete metros, han puesto de manifiesto que el 73% de la contribución a la velocidad tangencial del balón se debe a la rotación interna del hombro y la extensión del codo, mientras que el 27% restante se puede atribuir al las acciones combinadas de otros segmentos, aunque no han encontrado correlaciones positivas determinantes con ninguno de ellos.

Estas investigaciones, junto a las anteriores, ya comentadas, de Fradet, Botcazou, Durocher, Cretual, Multon, Prioux and Delamarche (2004), nos permiten considerar la posibilidad de que los jugadores expertos de balonmano son capaces de reducir el número de segmentos de la cadena cinética sin que se vea afectada la velocidad tangencial de salida del balón. Con este modelo, los jugadores pueden acelerar el balón utilizando básicamente la rotación interna del hombro y la extensión del codo, además de controlar el tiempo en el que se produce dicha aceleración y modificar la dirección de lanzamiento durante el patrón de movimiento.

A pesar de la incertidumbre que proporciona el oponente y/o la presencia del portero durante la realización de los lanzamientos en balonmano, la mayoría de las investigaciones se han realizado sin considerar dicha interacción. En un intento de profundizar en el efecto que produce la presencia del portero sobre la variabilidad del patrón de movimiento, en este trabajo se ha utilizado una estrategia de investigación próxima a la situación real de juego, sin perder el necesario control experimental de la investigación. En general, se pretende analizar la variabilidad intraindividual de la secuencia temporal de participación segmentaria utilizada durante los lanzamientos en apoyo realizados desde nueve metros y en presencia de un portero. De forma paralela, se pretende comprobar el efecto que produce la dirección de lanzamiento sobre la secuencia temporal de la cadena cinética P-D. Según los antecedentes expuestos, se espera encontrar una

importante variabilidad intraindividual de la secuencia temporal de la cadena cinética P-D, además de una reducción de los segmentos implicados en la transferencia de los impulsos.

MÉTODO

Sujetos

En esta investigación han participado cuatro jugadores de la primera división española de balonmano, con una experiencia mínima de trece años como jugadores de balonmano (edad= 24 ± 1 años; talla= 1.86 ± 0.05 m; masa= 86.36 ± 6.13 Kg). Para su elección se ha tenido en cuenta que sus características físicas y antropométricas fuesen similares, así como que su lado dominante fuese el derecho. También han participado siete porteros de balonmano pertenecientes a equipos de la primera división de la liga española con una experiencia de más de ocho años (edad= 28 ± 5 años; talla= 1.86 ± 0.03 m; masa= 89.79 ± 9.93 Kg). A todos ellos se les informó y solicitó su consentimiento para participar en este estudio siguiendo las directrices de la Comisión Ética de la Universidad de Granada.

Diseño

Se ha utilizado un diseño intrasujeto de medidas repetidas a través de los sujetos, donde cada jugador debería realizar 35 lanzamientos a portería en cuatro direcciones diferentes y en presencia de un portero que tenía como objetivo interceptar el balón. Considerando el lado dominante del lanzador, las direcciones de lanzamiento propuestas fueron: los ángulos superiores e inferiores correspondientes a l poste del lado dominante (DS y DI, respectivamente) y los asociados al poste del lado no dominante del lanzador (NS y NI, respectivamente). La medida de la secuencia temporal se realizó a partir del tiempo donde se produce la máxima velocidad tangencial registrada por los segmentos implicados. El hecho de usar una metodología basada en las repeticiones realizadas por cada jugador, en lugar de hacerlo mediante el número de sujetos analizados, ha sido plenamente justificada para el análisis de la variabilidad de los patrones de movimiento (Button, Davids and Schöllhorn, 2006; Bartlett, Wheat and Robins, 2007).

Aparatos y/o material de registro

Los jugadores de campo realizaron sus lanzamientos ajustando sus últimos apoyos a una zona situada a 10 m de la portería que previamente había sido delimitada por un sistema de referencias, donde el eje horizontal (x) estaba asociado al suelo y era perpendicular del plano determinado por la portería; el eje transversal (y) estaba asociado al suelo y era perpendicular al anterior y el eje vertical (z) era perpendicular a los otros dos. Los lanzamientos se filmaron

utilizando dos cámaras de video digital de alta velocidad, Redlake MotionScope PCI 1000S (Redlake Corporation, San Diego, CA), a una frecuencia de 500 Hz, situadas en el lado dominante del lanzador a 25 m del centro geométrico de la zona de lanzamientos y 30 m entre ellas. Para la sincronización temporal de las cámaras se utilizó una señal electrónica que activaba su puesta en marcha.

Para cuantificar la precisión del lanzamiento se utilizó una tercera cámara de vídeo digital Canon *mv730 i*, a una frecuencia de 25 Hz, situada a 15 m tras la portería y perpendicular a ella. A partir de la imagen donde el portero interceptaba el balón o éste alcanzaba, aproximadamente, su posición, se determinó la distancia comprendida entre el centro geométrico del balón y el ángulo exterior de la portería o base externa del poste, utilizando para su cálculo un sistema de referencias 2D asociado a la portería. La distancia calculada se relacionó inversamente con la precisión del lanzamiento, siendo ésta mayor cuanto menor era la distancia (*Precisión*).

Para todos los lanzamientos se determinaron las coordenadas espaciales de seis puntos corporales (punta del pie no dominante, las dos caderas, el hombro del lado dominante, el codo del lado dominante y la muñeca del mismo lado) más el punto correspondiente al centro geométrico del balón. Considerando las aportaciones de Bartlett, Bussey and Flyger (2006) sobre el uso de marcadores para determinar la variabilidad del movimiento, se utilizaron marcadores en los cinco puntos corporales, lo que consideramos que podría suponer una ayuda para el operador. Igualmente, para facilitar el proceso de digitalización del operador y considerando las características de resolución de las cámaras utilizadas, optamos por ajustar el campo de visión a las dimensiones del sistema de referencia (2.32x1.58x2.00 m), lo que nos permitió obtener una buena imagen del lanzador, aunque perdiendo cuadros de su desplazamiento previo.

El proceso de cálculo se realizó en tres fases: *a*) se digitalizaron las posiciones de los siete puntos a partir de las imágenes procedentes de las dos cámaras de video de alta velocidad, a una frecuencia de 125 Hz, *b*) se utilizó el método de transformación lineal directa (Abdel-Azir and Karara, 1971) para obtener las coordenadas tridimensionales y *c*) a las coordenadas espaciales obtenidas en la fase anterior, se les aplicaron las funciones Quintic splines (Wood and Jennings, 1979) para suavizar e interpolar las coordenadas espaciales a la misma frecuencia que fueron filmadas (500 Hz).

Para el tratamiento estadístico de los datos se ha utilizado el software Statgraphics 5.1 de Statistical Graphics Corporation (STCS, Inc. 2115 East Jefferson Street, Rockville, Maryland, 20852. USA).

Procedimiento

Tras un calentamiento previo personalizado para cada lanzador, recibieron las instrucciones de realizar los lanzamientos en apoyo, intentando conseguir la máxima velocidad de salida del balón y ajustando la dirección del lanzamiento a los ángulos superiores o inferiores de la portería. A pesar de las restricciones expuestas, se pretendía reproducir una situación real. Así, se les informó que podían realizar su desplazamiento previo habitual y eran libres de elegir la dirección de lanzamiento que creían más adecuada en cada caso, así como cambiar de dirección durante el lanzamiento si lo consideraban oportuno. Se consideraron como ensayos válidos todos aquellos en los que la dirección del balón se orientaba hacia la portería, incluidas las maderas y el suelo que la delimita. Los ensayos se realizaron en bloques de cinco, utilizando un portero diferente para cada bloque y siendo el mismo orden para todos los lanzadores. Así, el número de ensayos válidos realizados por cada lanzador fue de treinta y cinco.

Además de la validez de los ensayos, el registro sólo se consideró válido cuando el portero realizaba el movimiento hacia la dirección correcta para interceptar el balón, anotándose como error cuando el portero se desplazaba en sentido opuesto o se quedaba quieto. En este caso se repetía el ensayo. Tras el registro de los treinta y cinco lanzamientos de cada lanzador, se seleccionaron para su estudio los correspondientes a los lanzamientos cuya trayectoria no se desviaba más de 0.4 m. de los cuatro ángulos exteriores de la portería.

El instante de la suelta se ha considerado el tiempo de origen ($t=0$), lo que se produce entre dos imágenes consecutivas (un intervalo de tiempo de 0.002 s). Así, los registros temporales sobre lo que ocurre antes de la suelta, se expresan en negativo. El tiempo de lanzamiento ($t_{\text{(LANZAMIENTO)}}$), se ha definido como el periodo comprendido entre el final del desplazamiento previo, considerado como el instante en que el pie más adelantado del lanzador toma contacto plenamente con el suelo, y el instante de la suelta. La velocidad tangencial de los centros articulares del hombro, el codo y la muñeca del lado dominante, más el centro geométrico del balón, se calcularon con respecto al punto medio de las dos caderas, utilizando para ello la primera derivada con respecto al tiempo de las funciones Quintic splines. Para determinar las respectivas funciones de las velocidades tangenciales medias, con respecto al tiempo, se realizó una interpolación de los datos en función del porcentaje del tiempo total de lanzamiento, utilizando para ello Quintic splines. De esta forma se obtenían los mismos datos para todos los ensayos, expresándose el tiempo en porcentajes con respecto al tiempo total de lanzamiento. Finalmente, se determinó el tiempo con respecto al instante de despegue, en el que se produce la máxima velocidad tangencial de los centros articulares del hombro, codo y muñeca del lado dominante y del centro geométrico del balón.

RESULTADOS

Con el propósito de comparar los niveles de rendimiento de los cuatro lanzadores analizados, en la tabla 1 se presenta la estadística descriptiva e inferencial de los datos correspondientes a la velocidad tangencial del balón en el instante de la suelta ($V_{t(DESPEGUE)}$), la precisión (*Precisión*) y el tiempo de lanzamiento ($T_{LANZAMIENTO}$). Los datos ponen de manifiesto que existen claras diferencias entre las medias ($p < 0.001$) para $V_{t(DESPEGUE)}$, siendo el jugador S3 el que consigue una mayor velocidad media del balón en el instante de la suelta ($25.55 \pm 1.15 \text{ ms}^{-1}$) y el jugador S2 el que obtiene una velocidad tangencial menor ($23.76 \pm 1.28 \text{ ms}^{-1}$). Con respecto al tiempo de lanzamiento ($T_{LANZAMIENTO}$), en general se puede afirmar que existen claras diferencias entre las medias para los cuatro jugadores ($p < 0.001$), siendo el jugador S3 es el que utiliza más tiempo para realizar sus lanzamientos ($241 \pm 14 \text{ ms}$) y el jugador S2 es el que utiliza menos tiempo ($193 \pm 14 \text{ ms}$). Los datos referidos a la precisión (*Precisión*), ponen de manifiesto que no existen diferencias entre las medias de los lanzadores, lo que era de esperar al haber sido un criterio para la selección de los registros (inferiores a 0.40 m de cualquiera de los ángulos externos de la portería).

Tabla 1.- Estadística descriptiva de la velocidad tangencial media del balón en el instante del despegue ($V_{t(DESPEGUE)}$), la precisión (*Precisión*) y el tiempo de lanzamiento ($T_{LANZAMIENTO}$), para todos los ensayos realizados por los cuatro lanzadores analizados.

	S1 (N=27)	S2 (N=29)	S3 (N=24)	S4 (N=25)	p
$V_{t(DESPEGUE)}$ (ms^{-1})	24.07 ± 1.2 9	23.73 ± 1.28	25.55 ± 1.15	24.50 ± 1.74	***
<i>Precisión</i> (m)	0.21 ± 0.08	0.20 ± 0.09	0.21 ± 0.09	0.18 ± 0.09	
$T_{(LANZAMIENTO)}$ (ms)	225 ± 14	193 ± 14	241 ± 14	194 ± 17	***

(media \pm SD de los ensayos)

*** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

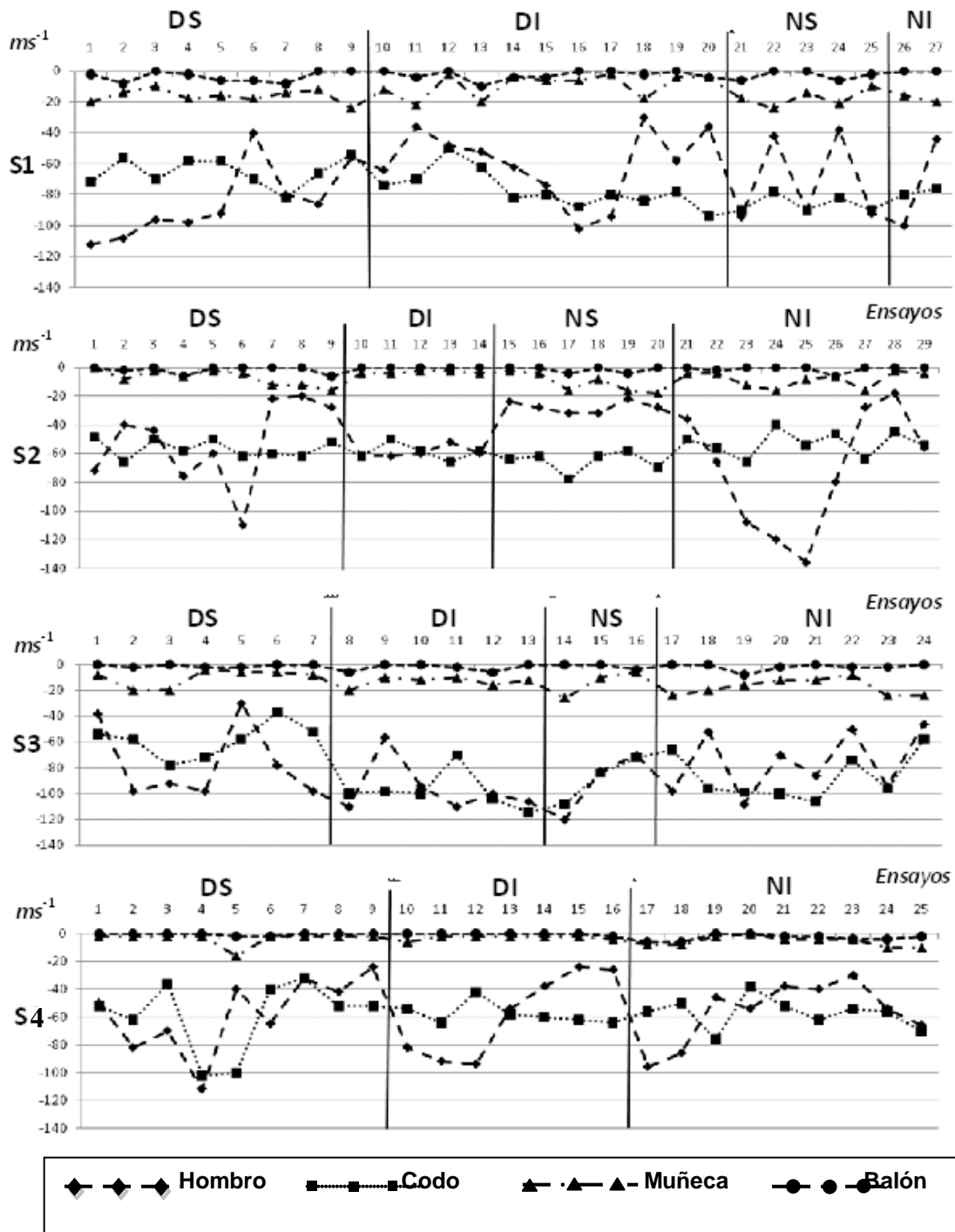
En la figura 1 se presentan los registros de la máxima velocidad tangencial de los centros articulares del hombro, codo y muñeca del lado dominante y del centro geométrico del balón, para cada ensayo para las diferentes direcciones de lanzamiento. Como era de esperar, las velocidades tangenciales de los centros articulares más proximales obtienen registros inferiores a los obtenidos por los puntos más distales, siendo el centro geométrico del balón (el más distal), el punto donde se obtienen las mayores velocidades tangenciales en todos los ensayos. En general, no se aprecian diferencias con respecto a las diferentes direcciones de lanzamiento. Todos los sujetos obtienen las máximas velocidades tangenciales del hombro próximas a 5 ms^{-1} , observándose una buena estabilidad en los cuatro sujetos y en todas las direcciones de lanzamiento. La mayor variabilidad se observa en los registros correspondientes al centro geométrico del balón, siendo además donde se consiguen las mayores diferencias con respecto a los registros del punto contiguo más proximal (muñeca), siendo especialmente

correspondientes a la máxima velocidad tangencial de los centros articulares del hombro, codo y muñeca del lado dominante, así como del centro geométrico del balón, para cada ensayo y las diferentes direcciones de lanzamiento.

En general, para todos los sujetos, se observa que los registros temporales correspondientes al centro articular del hombro poseen una variabilidad relativamente alta, llegando, en algunos ensayos, a estar su máxima velocidad tangencial más cercana a la suelta que el centro articular del codo, lo que supondría romper el modelo esperado de la secuencia temporal de la cadena cinética P-D.

En este sentido, con respecto al lanzador S1, sólo en nueve ensayos de los 27 registrados se ha obtenido una anticipación temporal de la articulación del hombro con respecto al codo (secuencia temporal P-D). En seis de ellos se realiza el lanzamiento hacia el lado dominante superior, mientras que, cuando el lanzamiento se realiza hacia el lado no dominante superior, en ningún caso se produce la esperada secuencia temporal de participación segmentaria. Con respecto al lanzador S2, ocurre algo parecido, sólo en nueve ensayos de los 29 registrados, se obtiene la secuencia temporal P-D, mientras que cuando los lanzamientos se realizan hacia el lado no dominante superior, el tiempo en que se produce la máxima velocidad tangencial del codo se anticipa al tiempo registrado por el hombro. Como ocurría con el lanzador S1, en ningún caso se produce la esperada secuencia temporal de participación segmentaria cuando se lanza al lado no dominante superior. Con respecto al lanzador S3, el comportamiento secuencial del hombro y el codo mantiene la misma tendencia que S1 y S2. En este caso, sólo en diez ensayos de los 24 registrados se ha registrado una secuencia temporal P-D y sólo en una ocasión se ha producido cuando el lanzamiento se realiza hacia el lado no dominante superior, aunque la diferencia entre tiempos (registro 14) están muy próximos en el tiempo. El lanzador S4, mantiene una tendencia similar, sólo en nueve ensayos de los 25 analizados se observa la secuencia temporal esperada para la cadena cinética P-D, siendo el lanzador que registra la mayor variabilidad en el registro temporal de la articulación del hombro.

Figura 2.- Registros del instante en que se produce la máxima velocidad tangencial de los centros articulares del hombro, codo y muñeca del lado dominante y del centro geométrico del balón, para cada ensayo y las diferentes direcciones de lanzamiento, con respecto al instante de salida del balón, donde **DS** corresponde al lado dominante superior; **DI**, al lado dominante inferior; **NS**, al lado no dominante superior y **NI**, al lado no dominante inferior.



Para todos los sujetos y ensayos registrados, el tiempo en que se produce

la máxima velocidad tangencial del centro articular de la muñeca, se producen después del registrado para el codo. En ciertos ensayos, el tiempo en el que se produce la máxima velocidad del hombro, llega a estar próximo al registrado por la articulación de la muñeca, lo que se produce especialmente en los lanzadores S1 (ensayos 11, 18, 22, 24 y 27) y S2 (ensayos 7, 8, 9, 19, 20, 27 y 28). Aunque con registros muy próximos, en la figura 2 también se aprecia que, para todos los lanzadores, el tiempo en que se produce la máxima velocidad tangencial del centro geométrico del balón, se produce después del registrado por el centro articular de la muñeca. Para el lanzador S4, estos dos registros, se producen en el instante del despegue del balón de la mano del lanzador (tiempo=0).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las claras diferencias registradas entre las medias de la velocidad tangencial de salida del balón y el tiempo de movimiento, para los cuatro sujetos analizados, responden a la utilización de diferentes modelos de ejecución, confirmando así el uso de una técnica individual. Por el contrario, las diferencias entre los ensayos para estas dos variables han sido escasas (tabla 1), lo que nos permitiría constatar aparentemente una cierta estabilidad del patrón intraindividual de movimiento, sin que la dirección de lanzamiento parezca condicionar la velocidad tangencial de salida del balón (figura 1). Tampoco se ha evidenciado que la dirección de lanzamiento condicione el patrón de movimiento (figura 2).

En todos los casos se pone de manifiesto que el incremento de la máxima velocidad tangencial se produce desde el punto más proximal hasta el más distal (figura 2). Así, los segmentos más distales alcanzan velocidades tangenciales máximas más altas que las registradas por las articulaciones más proximales. El mayor incremento se produce entre los registros de la articulación de la muñeca y el centro geométrico del balón (figura 1). Se podría asociar este incremento a la transferencia de impulsos angulares característica de las cadenas cinéticas secuenciales P-D (Putnam, 1993), aunque, observando los tiempos en que se producen sus máximas velocidades tangenciales, se podrían considerar coincidentes, especialmente cuando observamos los registros temporales obtenidos por el lanzador S4. Estos datos coinciden con las aportaciones de van den Tillaar and Ettema (2004), los cuales ponen de manifiesto que la flexión de la muñeca contribuye muy poco en el incremento de la velocidad del balón, estando su función más orientada hacia la precisión del lanzamiento.

El incremento de la velocidad tangencial registrado entre la articulación de la muñeca y el centro geométrico del balón se explica por la importante contribución de la rotación interna del hombro sobre el incremento de la velocidad del balón (van den Tillaar and Ettema (2004; 2007; 2009). Considerando la existencia de una cierta flexión del codo, cuando se produce la rotación interna del hombro, la velocidad tangencial de la articulación de la muñeca y del centro geométrico del balón, estarían relacionadas directamente con la velocidad

angular y la distancia al eje de giro. Así, el incremento de la velocidad tangencial del balón sería la consecuencia de una mayor distancia con respecto al eje de giro.

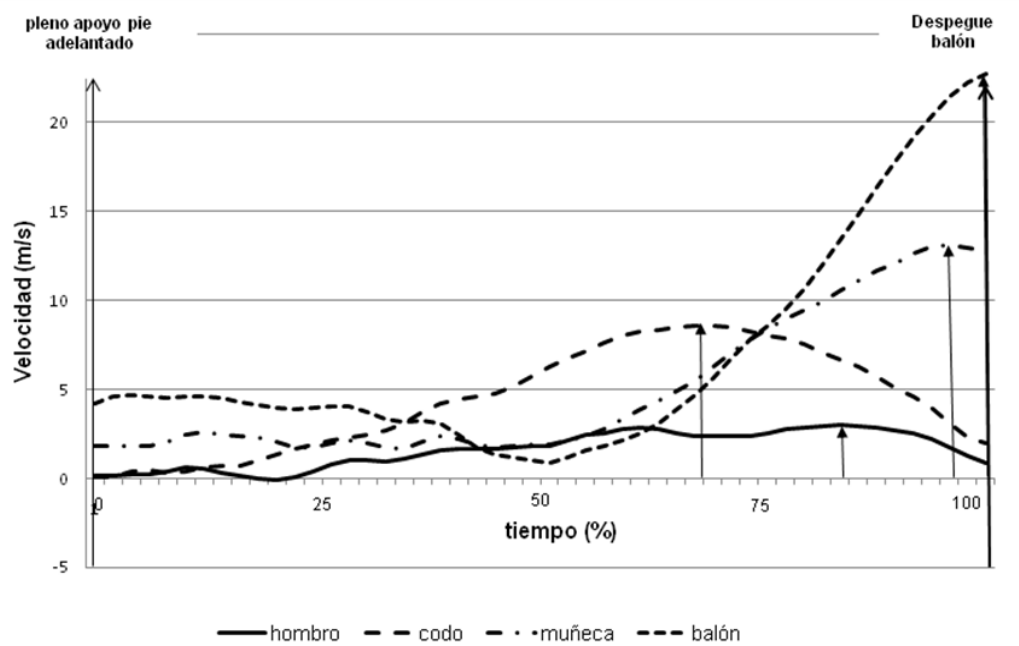
Los resultados generales expuestos en este trabajo confirman aparentemente la aportaciones de Bartlett, Müller, Lindinger, Brunner and Morriss(1996); Morriss, Bartlett and Fowler,(1997); Bartlett, Wheat and Robins (2007); Kudo and Ohtsuki (2008), entre otros, cuestionando la estabilidad de los patrones de movimiento que incorporan las cadenas cinéticas secuenciales P-D. Concretamente, para los lanzamientos de balonmano, estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Hong, Cheung and Roberts (2001), Fradet, Botcazou, Durocher, Cretual, Multon, Prioux and Delamarche (2004) y van den Tillaar, and Ettema (2004), al poner de manifiesto que el patrón de movimiento utilizado por los jugadores de balonmano muy experimentados, no se comporta como una estructura típica de secuencia temporal segmentaria P-D. Concretamente, van den Tillaar and Ettema (2009) han puesto de manifiesto que, aunque el inicio del movimiento de los segmentos implicados en la cadena cinética utilizada en el lanzamiento de balonmano mantiene una secuencia temporal P-D, cuando se registran los tiempos en que se producen las máximas velocidades tangenciales, se ha constatado que la articulación del codo se anticipa a la articulación del hombro, interrumpiendo la transferencia de impulsos angulares basada en las aceleraciones y desaceleraciones segmentarias (Hong, Cheung and Roberts, 2001).

Atendiendo a la contribución segmentaria, característica de las cadenas cinéticas secuenciales P-D en el lanzamiento de balonmano, las aceleraciones angulares producidas por el tronco, tendría como objeto producir un cierto impulso angular y el consecuente retroceso de los segmentos contiguos, lo que se traduciría, junto a una ligera abducción horizontal del hombro, la rotación externa del hombro y flexión del codo, con el consiguiente estiramiento de la musculatura implicada. A continuación se produciría de forma simultánea la rotación interna del hombro y la extensión del codo, junto a una cierta aducción transversal del hombro. A consecuencia de ello, las fuerzas de reacción producirían en los segmentos más proximales (tronco) una reducción de su velocidad tangencial (Jöris, van Muijen, Schenau and Kemper, 1985).

Para verificar la existencia de esta secuencia, en la figura 3 se presentan las gráficas de las velocidades medias de los cuatro puntos analizados, con respecto al porcentaje del tiempo que dura la fase de lanzamiento, para el lanzador S1. En ella se puede observar como la velocidad tangencial media del hombro mantiene un registro casi constante entre el 50% y el 90% del tiempo total y la máxima velocidad tangencial del hombro se produciría después de la registrada para el codo, lo que coincidiría con los resultados expuestos por Van den Tillaar, and Ettema, (2004; 2009) y Fradet, Botcazou, Durocher, Cretual, Multon, Prioux and Delamarche (2004) al poner de manifiesto que este hecho

interrumpe la secuencia temporal de la cadena cinética P-D.

Figura 3.- Representación gráfica de la velocidad media con respecto al tiempo expresado en porcentajes del tiempo de lanzamiento, de los puntos del hombro, el codo, la muñeca y el centro geométrico del balón. Para los 27 ensayos realizados por el jugador S1.



Pero existe otra posible interpretación a este hecho que confirmaría la idea clásica de que el lanzamiento de balonmano se produce mediante una secuencia temporal P-D. Las aportaciones de van den Tillaar, and Ettema (2009) han puesto de manifiesto que el inicio del movimiento de los segmentos mantiene una secuencia temporal P-D, lo que también ha sido confirmado con nuestros datos. Este hecho implica que el hombro inicia una aceleración hacia delante antes de que se produzca la aceleración del codo. Aunque esta aceleración puede ser reducida, consideramos que debido a la elevada inercia del tronco, se producirá una cantidad de impulso angular suficiente como para provocar la rotación externa del hombro y la flexión del codo. Además, es necesario considerar que la rotación externa y el consiguiente estiramiento de los rotadores internos del hombro, está favorecida por el movimiento hacia atrás del balón durante el “armado del brazo”. Cuando, a continuación, se produce la rotación interna del hombro más la extensión del codo, el hombro sigue su movimiento hacia delante y, por causa de la elevada inercia del tronco, las fuerzas de reacción que producen contra él los segmentos más distales al acelerarse, no son suficientes para reducir su velocidad o la reducen escasamente (en la figura 3 se observa una ligera reducción de la velocidad tangencial media del hombro cuando el codo alcanza su máxima velocidad tangencial media). Por lo tanto, el hombro sigue su

movimiento hacia delante debido a la inercia y ayudado por a la flexión del tronco. De esta forma, es posible obtener los máximos registros de la velocidad tangencial del hombro muy cercanos al despegue del balón.

Según lo expuesto, el jugador de balonmano no requiere una excesiva aceleración del hombro para iniciar la cadena cinética (desde el hombro hasta el balón). De esta forma se reduce el tiempo de ejecución y le permite elegir el inicio de la secuencia de lanzamiento en función de la posición o el movimiento del portero. Así, podría esperar manteniendo una ligera rotación del tronco o provocar, durante esa rotación, aceleraciones falsas para engañar al portero. Además de las ventajas tácticas comentadas, el hecho de que el retroceso de los segmentos más distales (especialmente la rotación externa del hombro) se produzca a partir de una aceleración del hombro relativamente pequeña, podría estar relacionado con el hecho de prevenir lesiones en el hombro debidas a la tensión que tienen que soportar los rotadores internos al frenar la rotación externa debida a una aceleración excesiva del tronco hacia delante.

La metodología utilizada en este trabajo nos ha permitido profundizar aún más en este análisis, distinguiendo entre la secuencia temporal de los segmentos y la variabilidad del patrón de movimiento. Con respecto a la variabilidad intraindividual, en la figura 2 se puede observar que no en todos los ensayos registrados se produce la anticipación temporal de la máxima velocidad tangencial del codo con respecto a la registrada por el hombro, lo que nos permite constatar la existencia de una variabilidad intraindividual en el patrón de movimiento del lanzamiento de balonmano. Esta variabilidad no debería relacionarse con la secuencia temporal de la cadena cinética P-D, más bien debería asociarse a una capacidad adaptativa que adquieren los jugadores muy expertos con el propósito de engañar al portero, reducir el tempo de ejecución o evitar lesiones, como han puesto de manifiesto Bartlett, Wheat and Robins (2007) y Schorer, Baker, Fath and Jaitner (2007).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Aziz, Y. I., and Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. *ASP Symposium on Close-Range photogrammetry* (pp. 1–18), Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry.
- Bartlett, R., Bussey, M. and Flyger, N. (2006). Movement variability cannot be determined reliably from no-marker conditions. *Journal of Biomechanics*, 39, 3076-3079.
- Bartlett, R., Müller, E., Lindinger, S. Brunner F. and Morriss, C. (1996). Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *J. of Applied Biomechanics*, 12, 58-71.
- Barlett, R., Wheat, J. and Robins, M. (2007). Is movement variability important for

- sports biomechanics?. *Sports Biomechanics*, 6(2), 224-243.
- Button, C., Davids, K., and Schöllhorn, W.I. (2006). Coordination profiling of movement system. In K. Davis, S. Bennett & K.M. Nevell (eds), *Movements system variability*. Champaign, I. L: Human Kinetics.
- Chow, J. Y., Davids, K., Button, C. and Koh, M. (2008). Coordination changes in a discrete multi-articular action as a function of practice. *Acta Psychologica*, 127, 163-176.
- Fradet, L., Botcazou, M., Durochel, 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.
- Herring, R.M. and Chapman, A.E. (1992). Effects of changes in segmental values and timing of both torque and torque reversal in simulated throws. *Journal of Biomechanics*, 25, 1173-1184.
- Hong, D., Cheung, T.K. and Roberts, E.M. (2001) A three-dimensional, six-segment chain analysis of forceful overarm throwing. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 11, 95-112.
- Ilmane, N. and LaRue, J. (2008). Modulation of anticipatory postural adjustments in a complex task under different temporal constraints. *Motor Control*, 12, 330-347.
- Jöris, H. J., van Muijen, A.J., van Ingen Schenau, G. J. and Kemper (1985). Force velocity and energy flow during the overarm throw in female handball players. *Journal of Biomechanics*, 18, 409-414.
- Kudo, K. and Ohtsuki, T. (2008). Adaptive variability in skilled human movements. *Information and Media Technologies*, 3 (2) 409-420.
- Morriss, C., Bartlett, R.M. and Fowler, N. (1997). Biomechanical analysis of the men's javelin throw at the 1995. World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 12, 31-45.
- Müller, H & Sternad, D. (2004). Decomposition of variability in the execution of goal-oriented tasks-Three components in skill improvement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 212-233.
- Newell, K.M., Deutsch, K.M., Sosnoff, J.J. and Mayer-Kress, G. (2006). Variability in motor output as noise: A default and erroneous proposition? In K. Davids, S. Bennett and K.M. Newell (Eds.), *Movements system variability*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Putnam, C. (1993). Sequential motion of body segments in striking and throwing skills: description and explanation. *Journal of Biomechanics*, 26, 125-135.
- Schmidt, R.A. (1985) The search for invariance in skilled movement behavior. *Research Quarterly for exercise and sport*, 56, 188-200.
- 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.
- Van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2004). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *Journal of Sports Sciences and*

Medicine, 3, 211-219.

Van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2007). A three-dimensional analysis of overarm throwing in experienced handball players. *Journal of Applied Biomechanics*, 23, 12-19.

Van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2009). Is there a proximal-to-distal sequence in overarm throwing in team handball?. *Journal of Sports Sciences*, 27(9), 949-955.

Wood, J. A. and Jennings, L.S. (1979). On the use of spline functions for data smoothing. *Journal of Biomechanics*, 12: 477-479.

Referencias totales	22	(100%)
Referencias propias de la revista	0	(0%)