

Diferencias de género en salto de altura según categorías de edad

Gender Differences in High Jump According to Age Categories

JAVIER BERMEJO FRUTOS

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

JOSÉ LUIS LÓPEZ ELVIRA

Centro de Investigación del Deporte
Universidad Miguel Hernández de Elche (España)

JOSÉ MANUEL PALAO ANDRÉS

Departamento de Actividad Física y Deporte
Universidad de Murcia (España)

Correspondencia con autor

José Manuel Palao Andrés
jmpalao@gmail.com

Resumen

El objetivo fue determinar los parámetros biomecánicos del salto de altura en los que se producen diferencias entre saltadores y saltadoras en diferentes categorías de edad. La muestra analizada estuvo formada por 69 saltadores de élite, 37 hombres (13-15 años, $n = 11$; 17-18 años, $n = 13$, y 18-34 años, $n = 13$) y 32 mujeres (13-14 años, $n = 11$; 17-18 años, $n = 9$; y 15-33 años, $n = 12$). A través de fotogrametría 3D se analizó el mejor salto del Campeonato de España en pista cubierta 2009. Se calcularon 46 variables durante las fases de ante-salto, batida, y paso del listón. Para determinar diferencias entre géneros se aplicó la prueba *t-test para muestras independientes*. Los resultados de este estudio muestran que al subir de categoría de edad las diferencias entre los valores registrados por los hombres y los registrados por las mujeres aumentan. Esta diferencia se produce en mayor medida en las variables madurativas que en las antropométricas y técnicas.

Palabras clave: biomecánica, atletismo, cinemática, técnica

Abstract

Gender Differences in High Jump According to Age Categories

*The objective was to determine the biomechanical parameters of the high jump where differences occur between female and male jumpers in different age categories. The analysed sample consisted of 69 elite jumpers: 37 men (13-15 years, $n = 11$, 17-18 years, $n = 13$, and 18-34 years, $n = 13$) and 32 women (13-14 years, $n = 11$, 17-18 years, $n = 9$, and 15-33 years, $n = 12$). Through 3D photogrammetry the best jump of the Spanish Indoor Championship 2009 was analysed. 46 variables were calculated during the phases of approach, take-off and flight. In order to determine gender differences a *t-test for independent samples* was applied. The results of this study show that when age goes up, the differences between the values recorded by men and women increase. Such difference is bigger in maturational variables than in anthropometric variables and techniques.*

Keywords: *biomechanics, athletics, cinematic, technique*

Introducción

El salto de altura es una técnica deportiva compleja, cuyo objetivo es la superación de un listón ubicado a una determinada altura que se incrementa con el paso de la competición (Kreighbaun & Brathles, 1988). Durante la realización de un salto de altura es necesario: *a*) generar los niveles óptimos de velocidad horizontal durante la carrera (Dapena, 1992), manteniendo una relación

óptima de los apoyos (Ritzdorf, 1986), y una inclinación corporal adecuada (Tidow, 1993); *b*) transferir la mayor cantidad de velocidad horizontal de carrera a velocidad vertical al final de la batida (Hay, 1993), maximizando la altura a la que se encuentra el centro de masas (Dapena, 1988), y *c*) conseguir un paso del listón eficiente, mediante la coordinación de los movimientos segmentarios (Dyson, 1982).

Estos requerimientos se corresponden con variables biomecánicas que se relacionan con procesos evolutivos antropométricos, físicos, y técnicos (Bermejo, Palao, & Elvira, 2011). En la bibliografía existen evidencias de que estos procesos muestran variaciones entre hombres y mujeres a nivel: *a)* antropométrico (Gustafsson & Lindenfors, 2004; Miranenko, 1995; Xur, Ekimov, & Pogdol, 1993), *b)* físico (Alegre, Lara, Elvira, & Aguado, 2009; Garceau, Petushek, Fauth, & Ebben, 2010; López Chicharro & Fernández Vaquero, 2006; McComas, Sica, & Petite, 1973; Mero, Jaakkola, & Komi, 1990; Miller, MacDougall, Tarnopolsky, & Sale, 1993; Wilmore & Costill, 2000), y *c)* neuromuscular o coordinativo (Castro, Janeira, Mendes, Fernandez, & Ferreira, 2009; Chappell, Yu, Kirkendall, & Garrett, 2002; Eisenmann & Malina, 2003; Komi, Klissouras, & Karvinen, 1973; Paterno, Myer, Ford, & Hewett, 2004; Quatman, Ford, Myer, & Hewett, 2006). Estas diferencias se producen de forma específica en la técnica del salto de altura (Bothmischel, 1990; Bruggemann & Loch, 1992; Conrad & Ritzdorf, 1986; Dapena, 1993; Dapena, 1997; Dapena, Angulo-Kinzler et al., 1993; Dapena, McDonald, & Cappaert, 1990; Mateos, 2003). Estas diferencias se traducen en diferentes rendimientos en la prueba de salto de altura (15 %).

Los estudios revisados muestran que los hombres en relación con las mujeres son: *a)* más altos, *b)* más pesados, *c)* más fuertes, y *d)* presentan una mayor densidad y fortaleza ósea, así como ligamentos y tendones más fuertes. De media, los hombres son 0,15 m más altos que las mujeres y tienen un mayor porcentaje de variación en la estatura durante la edad de crecimiento. En relación con el peso, los hombres son un 15 % más pesados de media que las mujeres. En relación con la fuerza, el porcentaje de esta capacidad en las mujeres supone un 42-63 % la de los hombres, tanto en la extremidad superior (40-50 %) como en la extremidad inferior (30 %).

Debido a que las variables antropométricas no son entrenables (Challis & Yeadon, 1992), el entrenamien-

to de las capacidades físicas y la técnica tiene un papel determinante en el rendimiento final del salto. En atletismo, los grupos de trabajo de entrenamiento se encuentran formados por atletas masculinos y femeninos. Las diferencias antropométricas, físicas, y técnicas entre géneros (Malina & Bouchard, 1991) hacen que, aunque ambos grupos de atletas practiquen la misma especialidad y con el mismo entrenador, la estructuración del entrenamiento deba ser diferente.

En la disciplina atlética de salto de altura, los valores de referencia del trabajo físico y del entrenamiento se encuentran muy estructurados y hacen referencia a cada momento dentro del proceso de formación del saltador (Inkina, 1985; Zotko, 1999, en Vélez, 1999). Sin embargo, no diferencian entre géneros. Esto mismo ocurre con el entrenamiento de la técnica. A la luz de los datos de los estudios revisados, la hipótesis más probable es que la técnica utilizada por los atletas masculinos y femeninos durante la ejecución de un salto de altura experimente variaciones significativas en aquellas variables relacionadas con los procesos de crecimiento, con los procesos de maduración, y con los procesos de aprendizaje técnico. El objetivo de este estudio fue determinar los parámetros cinemáticos relacionados con los procesos evolutivos en los que se producen variaciones estadísticamente significativas entre saltadores masculinos y femeninos de salto de altura.

Material y método

Participantes

La muestra de saltos analizados fue de 69 ejecuciones técnicas. Estas ejecuciones correspondían a atletas de categoría cadete (11 hombres y 11 mujeres), de categoría júnior (13 hombres y nueve mujeres), y de categoría sénior (13 hombres y 12 mujeres) (tabla 1). El criterio de selección fue el mejor salto (última altura superada con éxito) realizado en la final del Campeonato de España en pista cubierta (temporada 2009). Esta competición

Categoría	Edad (años)	Estatura (m)	MMP (m)	Resultado (m)
<i>Hombres</i>				
Cadete (n = 11)	14,18 ± 0,7	1,70 ± 0,04	1,74 ± 0,03	1,70 ± 0,06
Júnior (n = 13)	17,69 ± 0,4	1,80 ± 0,04	1,97 ± 0,09	1,95 ± 0,11
Sénior (n = 13)	25,38 ± 5,6	1,89 ± 0,05	2,13 ± 0,07	2,10 ± 0,09
<i>Mujeres</i>				
Cadete (n = 11)	13,72 ± 0,4	1,63 ± 0,06	1,57 ± 0,04	1,55 ± 0,03
Júnior (n = 9)	17,88 ± 0,6	1,67 ± 0,07	1,61 ± 0,03	1,59 ± 0,05
Sénior (n = 12)	22,50 ± 5,8	1,69 ± 0,10	1,76 ± 0,08	1,73 ± 0,08

MMP: mejor marca personal.



Tabla 1

Características de los saltadores (n = 37) y saltadoras (n = 32) de altura finalistas en el campeonato de España en pista cubierta (temporada 2009) de las categorías cadete (13-15 años), júnior (17-18 años), y sénior (hasta 35 años)

representa la más importante a nivel nacional, por la que para la mayoría de participantes la preparación irá enfocada a la consecución del máximo rendimiento en este momento de la temporada.

Material

La grabación de los saltos a través de fotogrametría 3D requirió la utilización de tres cámaras de vídeo digital (dos cámaras mini dv Sony Handycam DCR-SR30E y una cámara de disco duro JVC Everio CU-VC3U) montadas sobre sus trípodes. Además se requirieron dos postes de 2,92 m de longitud para delimitar el marco de calibración y reconstruirlo posteriormente en el programa de análisis. El análisis de los saltos requirió software informático para: la conversión y visualización de los vídeos (VirtualDub mpeg ver. 2.0, VirtualDub Org.); la edición de los vídeos (Adobe Premiere ver. 6.0, Adobe Systems Inc.); la digitalización, obtención de las coordenadas tridimensionales, y reconstrucción de los saltos (Kwon3D ver. 3.1, Visol Inc.); el procesamiento de las coordenadas y obtención de las variables de estudio (Kinematic Data Analyzer 1.0, creación propia), el análisis estadístico de las medias y desviación típica (Excel 2003, Microsoft Inc.), y para la realización de la prueba t-test para muestras independientes (SPSS ver. 15.0, SPSS Inc.).

Procedimiento

La ubicación de las cámaras en la pista de atletismo se realizó siguiendo el criterio establecido por Soto (1995) y Wood y Marshall (1986). Una cámara se ubicó de forma central en la colchoneta y las otras dos lateralmente, formando un ángulo próximo a los 90°, y con una separación lateral con la cámara central de 30 m. Se ubicaron en posiciones elevadas, estables, y compactas para evitar la interferencia de objetos entre el eje óptico de la cámara y la zona filmada, así como para evitar vibraciones en la imagen.

La frecuencia de registro de las cámaras fue de 50 Hz (Nolan & Patriitti, 2008), máximo permitido en sistema europeo PAL, y el tiempo de obturación de la lente fue de 1/1000 s, tomando como referencia el estudio realizado por Van Gheluwe, Roosen y Desloovere (2003) para la prueba de salto de altura en condiciones indoor. Se utilizó una planilla de registro de saltos para poder establecer correspondencia entre las imágenes filmadas y el desarrollo de la competición. A través del

programa *Adobe Premiere 6.0* se realizó el desentrelazado de la imagen (separación de imágenes pares e impares), ya que durante la filmación se recogen en instantes temporales diferentes.

Para la calibración de las cámaras se utilizó el método de grabación de una imagen de referencia (Gruen, 1977). Esta secuencia de imágenes, filmada por cada una de las cámaras, contenía la construcción de un objeto 3D de dimensiones conocidas a partir de barras verticales (postes de aluminio). Se trataba de un prisma rectangular con unas medidas de 10 m de ancho, 5 m de profundidad, y 2,92 m de altura. Este marco de calibración se grabó antes y después de cada sesión de competición y permitía establecer la escala entre las imágenes filmadas y las imágenes reales.

El análisis de los saltos se realizó en el programa de análisis de las técnicas deportivas *Kwon3D 3.1* mediante la digitalización (determinación de los marcadores corporales) de un modelo de segmentos rígidos articulados (Soto & Gutiérrez, 1996) formado por 22 puntos que definían 14 segmentos (utilizado por Alcaraz, Palao, Elvira, & Linthorne, 2008) y representaban la figura del saltador. El procedimiento de digitalización siguió las indicaciones de Bahamonde y Stevens (2006).

Previo a este procedimiento, se realizó la digitalización y reconstrucción del marco de calibración. Se utilizaron un total de 28 puntos de control ubicados de forma perimetral a la superficie de análisis. Se estableció el valor de los parámetros corporales (masa, vector posición del centro de masas, y momentos inercia) a partir de los valores aportados por DeLeva (1996) adaptados de los de Zatsiorsky y Seluyanov (1985), y se sincronizaron las secuencias de imágenes utilizando cinco eventos temporales (contacto antepenúltimo apoyo, contacto penúltimo apoyo, contacto batida, despegue batida, y contacto colchoneta).

Para la determinación de las coordenadas y la reconstrucción tridimensional del movimiento se utilizó el algoritmo de Transformación Lineal Directa descrito por Abdel-Aziz y Karara (1971). Previamente, se realizó un proceso de interpolación de datos a 100 Hz usando Splines de 5º orden (desarrolladas por Wood & Jennings, 1979) para introducir una medida temporal entre instantes separados 0.02 s de intervalo. Para eliminar las frecuencias altas que producen el “ruido” en la imagen se utilizó un filtro *Low-pass Butterworth de 2º orden* con una frecuencia de corte óptima fijada en 6 Hz (Winter, Sidwall, & Hobson, 1974).

Los 46 parámetros biomecánicos analizados se exponen a continuación en la *tabla 2*.

Carácter	Nombre	Abreviatura (unidad)
Madurativa-entrenamiento	Duración del antepenúltimo apoyo	TCAPA (s)
	Duración de la penúltima fase aérea de carrera	TVPP (s)
	Duración del penúltimo apoyo	TCPA (s)
	Duración de la última fase aérea de carrera	TVUP (s)
	Duración de la batida	TB (s)
	Altura de vuelo	H2 (m)
	Máxima altura del CM	Hmax (m)
	Altura del CM sobre el listón	HCML (m)
	Frecuencia del penúltimo paso	FPP (p/s)
	Frecuencia del último paso	FUP (p/s)
	Velocidad horizontal del CM en el penúltimo paso	VhPP (m/s)
	Velocidad horizontal del CM en el último paso	VhUP (m/s)
	Velocidad horizontal del CM al inicio de la batida	VhTD (m/s)
	Velocidad vertical del CM al inicio de la batida	VvTD (m/s)
	Velocidad horizontal del CM al final de la batida	VhTO (m/s)
	Velocidad vertical del CM al final de la batida	VvTO (m/s)
Velocidad resultante de batida	VR (m/s)	
Crecimiento-antropometría	Longitud del penúltimo paso	LPP (m)
	Longitud del último paso	LUP (m)
	Distancia frontal de batida	DF (m)
	Distancia entre el CM y el apoyo en la batida	CM-AP (m)
	Recorrido vertical del CM durante la batida	ΔH (m)
	Altura del CM al inicio de la batida	H0 (m)
Altura del CM al final de la batida	H1 (m)	
Técnica	Eficacia de franqueo	H3 (m)
	Velocidad angular del brazo de la pierna libre	VBPL ($^{\circ}$ /s)
	Velocidad angular del brazo de la pierna de batida	VBPB ($^{\circ}$ /s)
	Velocidad angular de la pierna libre	VPL ($^{\circ}$ /s)
	Inclinación lateral en el antepenúltimo apoyo	ILCAP ($^{\circ}$)
	Inclinación lateral en el penúltimo apoyo	ILCPA ($^{\circ}$)
	Ángulo del penúltimo paso	t2 ($^{\circ}$)
	Ángulo del último paso	t1 ($^{\circ}$)
	Orientación del apoyo en la batida	e1 ($^{\circ}$)
	Ángulo del CM en la fase aérea del penúltimo paso	P2 ($^{\circ}$)
	Ángulo del CM en la fase aérea del último paso	P1 ($^{\circ}$)
	Ángulo de entrada a la batida	P0 ($^{\circ}$)
	Ángulo de la rodilla al inicio de la batida	KTD ($^{\circ}$)
	Ángulo de la rodilla en el sostén	KL ($^{\circ}$)
	Ángulo de la rodilla al final de la batida	KTO ($^{\circ}$)
	Ángulo del apoyo al inicio de la batida	ATD ($^{\circ}$)
	Inclinación lateral al inicio de la batida	ILTD ($^{\circ}$)
	Inclinación antero-posterior al inicio de la batida	IATD ($^{\circ}$)
	Inclinación lateral al final de la batida	ILTO ($^{\circ}$)
	Inclinación antero-posterior al final de la batida	IATO ($^{\circ}$)
Ángulo de proyección en la batida	α ($^{\circ}$)	

Tabla 2

Variables cinemáticas analizadas en la prueba de salto de altura durante la final del Campeonato de España de pista cubierta (temporada 2009) en las categorías atléticas cadete (13-15 años), júnior (17-18 años), y sénior (hasta 35 años) en hombres y mujeres

Análisis estadístico

Para la estadística descriptiva, se utilizó una hoja de cálculo en la que se determinó la media aritmética y la desviación estándar. Para la estadística inferencial, se utilizó un programa en el que se realizó el tratamiento estadístico de las medias aritméticas. La distribución

Gaussiana de los datos se contrastó mediante el test no paramétrico de *Kolmogorov-Smirnov*. Para el cálculo de la variación de los parámetros entre sexos se aplicó la prueba *t-test* para muestras independientes. Se utilizó un valor de $p < 0,05$ para indicar diferencias estadísticamente significativas.

Resultados

En la *tabla 3* se exponen las variables que han mostrado variaciones estadísticamente significativas al comparar a los hombres con las mujeres en las categorías de edad cadete, júnior, y sénior tras aplicar la prueba *T-test para muestras independientes*. El signo negativo indica las variables en las que las mujeres tienen un valor significativamente mayor que los hombres.

En categoría cadete, diez variables presentan diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres: una variable relacionada con los procesos de crecimiento (ΔH), cinco variables relacionadas con los procesos de maduración (VhPP, VvTO, H2, Hmax, y HCML), y cuatro variables relacionadas con los procesos de aprendizaje técnico (ILCAP, t2, IATO, y α). Los

saltadores masculinos cadetes presentan un significativamente mayor valor en todas las variables, excepto para el ángulo del penúltimo paso, que es significativamente mayor en las mujeres.

En categoría júnior, 21 variables presentan diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres: cinco variables relacionadas con los procesos de crecimiento (LPP, LUP, DF, ΔH , y H1), nueve variables relacionadas con los procesos de maduración (VhPP, VhUP, VhTD, VvTD, VvTO, VR, H2, Hmax, y HCML), y siete variables relacionadas con los procesos de aprendizaje técnico (ILCAP, ILCPA, P2, IATD, ILTO, IATO, y α). En todas las variables, los saltadores masculinos júnior presentan un significativamente mayor valor que las mujeres.

En categoría sénior, 23 variables presentan diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres: cinco variables relacionadas con los procesos de crecimiento (LPP, DF, CM-AP, ΔH , y H1), 11 variables relacionadas con los procesos de maduración (VhPP, FUP, VhUP, VhTD, VvTO, BPB, VR, TB, H2, Hmax, y HCML), y siete variables relacionadas con los procesos de aprendizaje técnico (t2, t1, P2, KTO, ATD, ILTD, y α). En todas las variables, los saltadores masculinos sénior presentan un significativamente mayor valor que las mujeres.

A medida que se sube de categoría de edad, se incrementa el número de variables cuyo valor difiere de manera estadísticamente significativa entre hombres y mujeres. En categoría cadete ($x = 10$), las variables que presentan diferencias entre géneros coinciden con las categorías de edad júnior y sénior. Este aspecto se cumple en todas las variables, excepto para tres relacionadas con la técnica: inclinación lateral en el antepenúltimo apoyo, ángulo del penúltimo paso, e inclinación antero-posterior al final de la batida. Estas variables sólo coinciden con la categoría de edad júnior, excepto el ángulo del penúltimo paso, que únicamente produce diferencias entre sexos en la categoría cadete. Al subir de categoría de edad, categoría júnior, el número de variables se incrementa ($x = 21$). De todas las variables, 14 coinciden con la categoría sénior. Estas variables son: antropométricas (LPP, DF, ΔH , H1), madurativas (H2, Hmax, HCML, VhPP, VhUP, VhTD, VvTO, y VR), y técnicas (t2 y α). Cinco variables muestran diferencias únicamente en esta categoría de edad (LUP, VvTD, ILCPA, IATD, e ILTO). Al subir a la categoría sénior, el número de variables que muestran diferencias entre géneros es mayor ($x = 23$). En esta categoría de edad, las variables son cuatro antropométricas, 11 madurativas, y ocho técnicas.

Variable	13-15 años		17-18 años		18-35 años	
	t-test	p	t-test	p	t-test	p
TB					2,586	0,017
LPP			2,243	0,036	3,456	0,002
LUP			2,774	0,012		
DF			2,157	0,043	2,047	0,052
CM-AP					2,129	0,044
ΔH	3,216	0,000	3,294	0,004	9,107	0,000
H1			3,464	0,002	7,671	0,000
H2	4,314	0,000	6,938	0,000	6,791	0,000
Hmax	5,621	0,000	8,772	0,000	9,945	0,000
HCML	5,460	0,000	7,100	0,000	9,902	0,000
FUP					2,304	0,031
VhPP	2,790	0,011	3,968	0,001	8,207	0,000
VhUP			6,102	0,000	5,307	0,000
BPB					2,215	0,037
VhTD			5,241	0,000	6,745	0,000
VvTD			2,414	0,025		
VvTO	4,417	0,000	9,405	0,000	6,385	0,000
VR			5,696	0,000	4,774	0,000
ILCAP	-3,586	0,002	-2,552	0,019		
ILCPA			-3,230	0,004		
t2	-2,992	0,007			2,188	0,039
t1					2,024	0,055
P2			2,564	0,018	2,026	0,054
KTO					2,694	0,013
ATD					3,716	0,001
ILTD					-3,066	0,005
IATD			-4,022	0,001		
ILTO			-2,055	0,053		
IATO	-2,774	0,012	-2,787	0,011		
α	3,096	0,006	4,700	0,000	3,986	0,001

t-test: diferencia estadística; p: nivel de significación estadística.

Tabla 3

Comparación de las variables biomecánicas relevantes analizadas en la final del Campeonato de España de pista cubierta masculino y femenino (temporada 2009) en las categorías cadete, júnior y sénior (t-test)

Discusión

El objetivo del presente trabajo es determinar los aspectos de la técnica del salto de altura que tienen una variación significativa entre hombres y mujeres en diferentes momentos del proceso de formación deportiva. La finalidad es que los aspectos de la técnica que presentan diferencias en hombres y mujeres puedan servir como referencia para establecer la distribución y estructuración de los contenidos del entrenamiento físico-técnico cuando se trabaja con grupos de atletas mixtos. Los resultados aportan información sobre los procesos evolutivos en los que se evidencian las diferencias entre sexos en función de la categoría de edad en el proceso de formación deportiva en la prueba de salto de altura.

A nivel general, los hombres obtienen un mayor rendimiento en comparación con las mujeres. Este mayor rendimiento de los hombres en comparación con las mujeres se incrementa al subir de categoría de edad (0,15 m en la categoría cadete, 0,36 m en la categoría júnior, y 0,37 m en la categoría sénior). Además, las diferencias en el rendimiento entre las categorías cadete y sénior son mayores en los hombres (0,40 m en hombres, frente a 0,18 m en mujeres). Las diferencias entre los rendimientos de los hombres y las mujeres en las categorías de edad júnior y sénior son similares a los resultados encontrados por Gärderud, Särndal y Söderlind (2007).

El menor rendimiento de las mujeres podría estar asociado a los aspectos limitantes relacionados con el proceso evolutivo en este género (Malina & Bouchard, 1991). En relación con las características antropométricas de estatura, los saltadores analizados en este estudio son más altos que las mujeres. Estas diferencias en la estatura se incrementan con el paso de la edad (0,07 m en categoría cadete, 0,13 m en categoría júnior, y 0,20 m en categoría sénior). Además, el incremento de la estatura al progresar desde la categoría cadete a la categoría sénior es mayor en los hombres (0,29 m, frente a 0,06 m). Las diferencias de estatura en la categoría sénior son mayores en relación con los valores encontrados por Wilmore y Costil (2000) (0,07 m) y por Gustafsson y Lindenfors (2004) (0,05 m).

La menor estatura en las mujeres supone un menor brazo de palanca para aplicar fuerza contra el suelo y una posición menos eficiente a la hora de proyectar el CM del saltador al final de la batida (López Chicharro & Fernández Vaquero, 2006). Esta característica sumada al menor desarrollo de las capacidades físicas (Miller et al., 1993) es posible que sea la causa de las diferencias encontradas.

Solo se han encontrado siete variables biomecánicas cuya variación entre hombres y mujeres representa un nivel de significación estadístico en las tres categorías de edad analizadas. Estas variables corresponden a la fase de ante-salto (VhPP), a la fase de batida (ΔH , VvTO, y α), y a la fase de vuelo (H2, Hmax, y HCML). Si se relacionan con los procesos evolutivos, se pueden agrupar en variables relacionadas con los procesos de crecimiento (ΔH), con los procesos de maduración (VhPP, VvTO, H2, Hmax, y HCML), y con los procesos de aprendizaje técnico (α). Esta clasificación ya se realiza en un estudio previo (Bermejo et al., 2011).

En todas las categorías de edad analizadas, las variables relacionadas con los procesos de maduración evidencian las mayores diferencias al comparar hombres y mujeres. Estos resultados encontrados parecen mostrar que a medida que se sube de categoría de edad la mayor capacidad física determina la mayor diferencia entre el rendimiento de los hombres y las mujeres.

En relación con la forma de ejecutar el salto de altura, las diferencias encontradas (antropométricas, físicas, y técnicas) entre los saltadores de género masculino de diferente categoría de edad y el género femenino se corresponden, tomando como referencia el modelo de ejecución masculino, con: *a*) ejecución del ante-salto con una mayor longitud del paso, mayor velocidad, mayor frecuencia, y mayor nivel de inclinación lateral hacia el centro de la curva; *b*) menor ángulo en el penúltimo paso, mayor ángulo del último paso, y mayor ángulo del CM en la fase aérea del penúltimo paso; *c*) mejores condiciones biomecánicas para afrontar la batida (mayor distancia entre el CM y el apoyo y mayor ángulo de la pierna con la vertical); *d*) mayor separación entre el punto de batida y la proyección vertical del listón; *e*) mayor velocidad horizontal y vertical del CM al llegar a la batida; *f*) mayor inclinación anterior y lateral al inicio de la batida; *g*) mayor tiempo de batida para aplicar fuerza; *h*) mayor recorrido vertical del CM durante la batida; *i*) posicionamiento del CM más elevado al final de la batida; *j*) mayor contribución de los segmentos libres; *k*) mayor cantidad de velocidad vertical y velocidad resultante del CM al final de la batida; *l*) posición menos vertical al final de la batida; *m*) mayor extensión de la rodilla al final de la batida; *n*) mayor ángulo de proyección vertical del CM al final de la batida; *o*) mayor altura de vuelo y mayor altura máxima del CM.

Conclusiones

Las diferencias entre hombres y mujeres se incrementan con el paso de la edad. Este aspecto indica que las diferencias en los aspectos evolutivos que existen entre hombres y mujeres tienen una mayor presencia durante el entrenamiento de las categorías de edad mayores.

Los resultados de este estudio muestran que es en las variables cinemáticas relacionadas con los procesos de maduración donde se produce una mayor variación en relación con la técnica de salto de altura utilizada por los hombres y la técnica utilizada por las mujeres. Las variables biomecánicas relacionadas con los procesos de crecimiento son las que menores diferencias reflejan al comparar hombres y mujeres de una misma categoría de edad.

Al tratarse de saltadores y saltadoras de altura de alto rendimiento, los resultados obtenidos únicamente podrán ser extrapolables a grupos de entrenamiento con características antropométricas, físicas, técnicas, y de rendimiento similares. Se debe tener en cuenta que el presente estudio analiza a un número limitado de atletas en una competición puntual. Sería interesante que futuras investigaciones tuvieran una mayor cantidad de participantes con características de rendimiento diferentes.

Existe una serie de limitaciones asociadas a este tipo de estudios en los que se realizan comparaciones de género. Conceptualmente hombres y mujeres son diferentes. Se trata de dos grupos con diferentes características antropométricas, físicas y técnicas. Estas características influirán en los resultados al ejecutar cualquier técnica deportiva. Por ello, es posible que la diferente forma de saltar se deba a las diferencias asociadas a cada sexo. Al analizar las causas que producen las diferencias en los valores de los parámetros no queda claro a qué se deben estas diferencias. Por el contrario, es posible que las diferencias que se producen sea lo normal y lo que se debe resaltar son las no diferencias. No obstante, los criterios de referencia encontrados en la bibliografía especifican que no existen diferencias en la forma de entrenamiento entre hombres y mujeres. El presente trabajo muestra que existen diferencias en la mecánica de salto, por lo que puede ser necesario realizar diferenciaciones en los criterios de entrenamiento técnico de los saltadores y saltadoras de altura.

Referencias

Abdel-Aziz, Y. I., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates

- in close-range photogrammetry. *Proceedings ASP/VI Symp on close-range photogrammetry*. American Society of Photogrammetry.
- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L., & Linthorne, N. P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(3), 890-897. doi:10.1519/JSC.0b013e31816611ea
- Alegre, L. M., Lara, A. J., Elvira, J. L., & Aguado, X. (2009). Muscle morphology and jump performance: gender and intermuscular variability. *The Journal of Sport Medicine and Physical Fitness*, 49(3), 320-326.
- Bahamonde, R., & Stevens, R. (2006). Comparison of two methods of manual digitization on accuracy and time of completion. *XXIV International Symposium of Biomechanics in Sport* (pp. 680-684). Salzburg: Austria.
- Bermejo, J., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2011). Effect of age on high jump take-off biomechanics. *Portuguese Journal of Sport Sciences*, 11(2), 155-158. *Proceedings of XXIX Symposium of the International Society of Biomechanics in Sport*. Oporto: Portugal.
- Bothmischel, V. E. (1990). Model characteristics of the high jump approach. *Modern Athlete and Coach*, 28(4), 3-6.
- Bruggemann, G., & Loch, M. (1992). The scientific research project at the III world championships in athletics: High jump. *New Studies in Athletics*, 7(1), 67-74.
- Castro, M. A., Janeira, M. A., Mendes, R., Fernandez, O., & Ferreira, N. (2009). Gender differences on lower limb coordination during elite players jump. *XXVII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports*. Limerick: Ireland.
- Challis, S., & Yeadon, F. (1992). A biomechanical analysis of the women's high jump. *Athletics Coach*, 26(2), 20-25.
- Chappell, J. D., Yu, B., Kirkendall, D. T., & Garrett, W. E. (2002). A Comparison of Knee Kinetics between Male and Female Recreational Athletes in Stop-Jump Tasks. *American Journal of Sports Medicine*, 30(2), 261-267.
- Conrad, A., & Ritzdorf, W. (1986). High jump. *New Studies in Athletics*, 1(4), 33-51.
- Dapena, J. (1988). Biomechanical analysis of the Fosbury-flop. *Track Technique*, 105, 3343-3350.
- Dapena, J. (1992). Biomechanical studies in the high jump and the implications to coaching. *Track and Field Quarterly Review*, 92(4), 34-38.
- Dapena, J. (1993). Biomechanics of elite high jumpers. *Track and Field Quarterly Review*, 93(4), 25-30.
- Dapena, J. (1997). A closer look at the shape of the high jump run-up. *Track Coach*, 138, 4406-4411.
- Dapena, J., Angulo-Kinzler, R. M., Caubet, J. M., Turro, C., Balius, X., Kinzler, S. B., ... & Prat, J. A. (1993). *Track and Field: High Jump*. Medical Commission / Biomechanics Subcommission, International Olympic Committee, Lausanne. [Informe encargado por el Comité Olímpico Internacional, a propósito de los Juegos Olímpicos de 1992].
- Dapena, J., McDonald, C., & Cappaert, J. (1990). A regression analysis of high jumping technique. *Journal of Applied Biomechanics*, 6(3), 246-261.
- DeLeva, P. (1996). Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameter. *Journal of Biomechanics*, 29(9), 1223-1230. doi:10.1016/0021-9290(95)00178-6
- Dyson, G. (1982). *Mecánica del atletismo*. Buenos Aires: Stadium.
- Eisenmann, J. C., & Malina, R. M. (2003). Age- and sex-associated variation in neuromuscular capacities of adolescent distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 551-557. doi:10.1080/0264041031000101845
- Garceau, L. R., Petushek, E. J., Fauth, M. L., & Ebben, W. P. (2010). Gender differences in knee extensor and flexor performance.

- XXVIII Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports. Marquette, MI, USA.
- Gärderud, S., Särndal, C. E., & Söderlind, I. (2007). Measuring the gender differences in athletics. Recuperado de www.evaa.ch/files/academy/gender_differences.
- Gruen, A. (1997). Fundamentals of videogrammetry – A review. *Human Movement Science*, 16(2), 155-187. doi:10.1016/S0167-9457(96)00048-6
- Gustafsson, A., & Lindenfors, P. (2004). Human size evolution: No allometric relationship between male and female stature. *Journal of Human Evolution*, 47(4), 253-266. doi:10.1016/j.jhevol.2004.07.004
- Hay, J. G. (1993). *The Biomechanics of Sports Techniques*. New Jersey: Prentice Hall. doi:10.1016/0021-9290(93)90076-Q
- Inkina, I. (1985). The high jump: A review of scientific studies. *Soviet Sports Review*, 20(4), 182-186.
- Komi, P. V., Klissouras, V., & Karvinen, E. (1973). Genetic Variation in Neuromuscular Performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 31(4), 289-304. doi:10.1007/BF00693714
- Kreighbaum, E., & Brathels, K. M. (1988). *Biomechanics: a qualitative approach for studying human movement*. Minnesota: Burgess Publishing Company.
- López Chicharro, J., & Fernández Vaquero, A. (2006). *Fisiología del ejercicio* (3.ª ed.). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Malina, R. M., & Bouchard, C. (1991). *Growth, maturation, and physical activity*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Mateos, C. (2003). *Descripción y análisis de la carrera de impulso y de la batida en el salto de altura estilo Fosbury-flop. Estudio de una muestra de saltadores/as españoles/as de máximo nivel* (Tesis doctoral), Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria.
- McComas, A. J., Sica, R. E. P., & Petito, F. (1973). Muscle strength in boys of different ages. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 36(2), 171-173. doi:10.1136/jnnp.36.2.171
- Mero, A., Jaakkola, L., & Komi, P. V. (1990). Serum hormones and physical performance capacity in young boy athletes along 1 year training period. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 60(1), 32-37. doi:10.1007/BF00572182
- Miller, A. E., MacDougall, J. D., Tarnopolsky, M. A., & Sale, D. G. (1993). Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(3), 254-62. doi:10.1007/BF00235103
- Mironenko, I. (1995). La selección de atletas jóvenes con aptitudes para el atletismo. *Atletismo iniciación II* (pp. 11-20). Centro de Documentación de la Escuela Nacional de Entrenadores. Real Federación Española de Atletismo.
- Nolan, L., & Patrilli, B. L. (2008). The take-off phase in transtibial amputee high jump. *Prosthetics and Orthotics International*, 32(2), 160-171. doi:10.1080/03093640802016266
- Paterno, M. V., Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2004). Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 34(6), 305-316.
- Quatman, C. E., Ford, K. R., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2006). Maturation leads to gender differences in landing force and vertical jump performance: A longitudinal study. *American Journal of Sports Medicine*, 34(5), 806-813. doi:10.1177/0363546505281916
- Ritzdorf, W. (1986). High jump: Results of a biomechanic study. Extract from the scientific report of the IAAF biomechanic research on the first World Junior Championships. *New Studies in Athletics*, 1(4), 33-51.
- Soto, V. M. (1995). *Desarrollo de un sistema para el análisis biomecánico tridimensional del deporte y la representación gráfica realista del cuerpo humano* (Tesis doctoral). Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Granada, Granada.
- Soto, V. M., & Gutiérrez, M. (1996). Parámetros inerciales para el modelado biomecánico del cuerpo humano. *Revista Motricidad* (2), 169-189.
- Tidow, G. (1993). Model technique analysis-part VIII: The flop high jump. *New Studies in Athletics*, 8(1), 31-44.
- Van Gheluwe, B., Roosen, P., & Desloovere, K. (2003). Rearfoot kinematics during initial takeoff of elite high jumpers: Estimation of spatial position and orientation of subtalar axis. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(1), 13-27.
- Vélez, M. (1999). Planificación del entrenamiento de los jóvenes hacia el alto rendimiento. *Atletismo iniciación IV* (pp. 65-93). Centro de Documentación de la Escuela Nacional de Entrenadores. Real Federación Española de Atletismo.
- Wilmore, J., & Costill, D. (2000). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (3.ª ed.). Barcelona: Paidotribo.
- Winter, D. A., Sidwall, H. G., & Hobson, D. A. (1974). Measurement and reduction of noise in kinematics of locomotion. *Journal of Biomechanics*, 7(2), 157-159. doi:10.1016/0021-9290(74)90056-6
- Wood, G. A., & Jennings, L. S. (1979). On the use of spline functions for data smoothing. *Journal of Biomechanics*, 12(6), 477-479. doi:10.1016/0021-9290(79)90033-2
- Wood, G. A., & Marshall, R. N. (1986). The accuracy of DLT extrapolation in three dimensional film analysis. *Journal of Biomechanics*, 19(9), 781-785. doi:10.1016/0021-9290(86)90201-0
- Xur, M. M., Ekimov, V. Y., & Pogdol, V. M. (1993). Modelo de cargas de entrenamiento, en relación a la edad y la cualificación. *Salto de altura* (pp. 15-20). Centro de Documentación de la Escuela Nacional de Entrenadores. Real Federación Española de Atletismo.
- Zatsiorsky, V. M., & Seluyanov, V. (1985). Estimation of the mass and inertia characteristics of the human body by means of the best predictive regressions equations. En D. Winter (Ed.), *Biomechanics IX-B* (pp. 233-239). Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.