

Diferències de gènere en salt d'alçada segons categories d'edat

Gender Differences in High Jump According to Age Categories

JAVIER BERMEJO FRUTOS

Doctor en Ciències de l'Activitat Física i de l'Esport

JOSÉ LUIS LÓPEZ ELVIRA

Centre d'Investigació de l'Esport

Universidad Miguel Hernández de Elche (Espanya)

JOSÉ MANUEL PALAO ANDRÉS

Departament d'Activitat Física i Esport

Universidad de Murcia (Espanya)

Autor per a la correspondència

José Manuel Palao Andrés

jmpalao@gmail.com

Resum

L'objectiu va ser determinar els paràmetres biomecànics del salt d'alçada en què es produeixen diferències entre saltadors i saltadores en diferents categories d'edat. La mostra analitzada va estar formada per 69 saltadors d'elit, 37 homes (13-15 anys, $n = 11$; 17-18 anys, $n = 13$, i 18-34 anys, $n = 13$) i 32 dones (13-14 anys, $n = 11$; 17-18 anys, $n = 9$; i 15-33 anys, $n = 12$). A través de fotogrametria 3D, es va analitzar el millor salt del Campionat d'Espanya en pista coberta 2009. Es van calcular 46 variables durant les fases d'avantsalt, batuda, i pas del llistó. Per determinar diferències entre gèneres, es va aplicar la prova t-test per a mostres independents. Els resultats d'aquest estudi mostren que en pujar de categoria d'edat les diferències entre els valors registrats pels homes i els registrats per les dones augmenten. Aquesta diferència es produeix en major grau en les variables maduratives que en les antropomètriques i tècniques.

Paraules clau: biomecànica, atletisme, cinemàtica, tècnica

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*

Introducció

El salt d'alçada és una tècnica esportiva complexa, l'objectiu de la qual és la superació d'un llistó ubicat a una determinada altura, que s'incrementa amb el pas de la competició (Kreighbaun & Brathles, 1988). Durant la realització d'un salt d'alçada és necessari: a) generar els nivells òptims de velocitat horitzontal durant la cursa (Dapena, 1992), mantenint una rela-

ció òptima dels suports (Ritzdorf, 1986) i una inclinació corporal adequada (Tidow, 1993); b) transferir la major quantitat de velocitat horitzontal de cursa a velocitat vertical al final de la batuda (Hay, 1993), maximitzant l'altura a què es troba el centre de masses (Dapena, 1988), i c) aconseguir un pas del llistó eficient mitjançant la coordinació dels moviments segmentaris (Dyson, 1982).

Aquests requeriments es corresponen amb variables biomecàniques que es relacionen amb processos evolutius antropomètrics, físics i tècnics (Bermejo, Palao, & Elvira, 2011). En la bibliografia hi ha evidències que aquests processos mostren variacions entre homes i dones en els àmbits: *a*) antropomètric (Gustafsson & Lindenfors, 2004; Miranenko, 1995; Xur, Ekimov, & Pogdol, 1993); *b*) físic (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), i *c*) neuromuscular o coordinatiu (Castro, Janeira, Mendes, Fernandez, & Ferreira, 2009; Chappell, Yu, Kirkendall, & Garrett, 2002; Eisenmann & Malina, 2003; Komi, Klissouras, & Karvinen, 1973; Patern, Myer, Ford, & Hewett, 2004; Quatman, Ford, Myer, & Hewett, 2006). Aquestes diferències es produeixen de manera específica en la tècnica del salt d'alçada (Bothmischel, 1990; Bruggemann & Loch, 1992; Conrad & Ritzdorf, 1986; Dapena, 1993; Dapena, 1997; Dapena, Angulo-Kinzler et al., 1993; Dapena, McDonald, & Cappaert, 1990; Mateos, 2003). Aquestes diferències es tradueixen en diferents rendiments en la prova de salt d'alçada (15 %).

Els estudis revisats mostren que els homes en relació amb les dones: *a*) són més alts, *b*) són més pesats, *c*) són més forts, i *d*) presenten una major densitat i fortalesa òssia, així com lligaments i tendons més forts. De mitjana, els homes són 0,15 metres més alts que les dones i tenen un major percentatge de variació en l'estatura durant l'edat de creixement. En relació amb el pes, els homes són un 15 % de mitjana més pesats que les dones. En relació amb la força, el percentatge d'aquesta capacitat en les dones suposa un 42-63 % de la dels homes, tant en l'extremitat superior (40-50) com en l'extremitat inferior (30 %).

Pel fet que les variables antropomètriques no són entrenables (Challis & Yeadon, 1992), l'entrenament

de les capacitats físiques i la tècnica té un paper determinant en el rendiment final del salt. En atletisme, els grups de treball d'entrenament es troben formats per atletes masculins i femenins. Les diferències antropomètriques, físiques i tècniques entre gèneres (Malina & Bouchard, 1991) fan que, encara que ambdós grups d'atletes practiquin la mateixa especialitat i amb el mateix entrenador, l'estructuració de l'entrenament hagi de ser diferent.

En la disciplina atlètica de salt d'alçada, els valors de referència del treball físic i de l'entrenament es troben molt estructurats i fan referència a cada moment dins el procés de formació del saltador (Inkina, 1985; Zotko, 1999, en Vélez, 1999). No obstant això, no diferencien entre gèneres. Això mateix ocorre amb l'entrenament de la tècnica. A la llum de les dades dels estudis revisats, la hipòtesi més probable és que la tècnica utilitzada pels atletes masculins i femenins durant l'execució d'un salt d'alçada experimenta variacions significatives en aquelles variables relacionades amb els processos de creixement, amb els processos de maduració i amb els processos d'aprenentatge tècnic. L'objectiu d'aquest estudi va ser determinar els paràmetres cinemàtics relacionats amb els processos evolutius en què es produeixen variacions estadísticament significatives entre saltadors masculins i femenins de salt d'alçada.

Material i mètode

Participants

La mostra de salts analitzats va ser de 69 execucions tècniques. Aquestes execucions corresponien a atletes de categoria cadet (11 homes i 11 dones), de categoria júnior (13 homes i 9 dones) i de categoria sènior (13 homes i 12 dones) (taula 1). El criteri de selecció va ser el millor salt (última altura superada amb èxit) fet en el final del Campionat d'Espanya en pista coberta (temporada 2009). Aquesta competició representa la més important d'àmbit nacional, i per això per

Categoria	Edat (anys)	Estatuta (m)	MMP (m)	Resultat (m)
<i>Homes</i>				
Cadet (<i>n</i> = 11)	14,18 ± 0,7	1,70 ± 0,04	1,74 ± 0,03	1,70 ± 0,06
Júnior (<i>n</i> = 13)	17,69 ± 0,4	1,80 ± 0,04	1,97 ± 0,09	1,95 ± 0,11
Sènior (<i>n</i> = 13)	25,38 ± 5,6	1,89 ± 0,05	2,13 ± 0,07	2,10 ± 0,09
<i>Dones</i>				
Cadet (<i>n</i> = 11)	13,72 ± 0,4	1,63 ± 0,06	1,57 ± 0,04	1,55 ± 0,03
Júnior (<i>n</i> = 9)	17,88 ± 0,6	1,67 ± 0,07	1,61 ± 0,03	1,59 ± 0,05
Sènior (<i>n</i> = 12)	22,50 ± 5,8	1,69 ± 0,10	1,76 ± 0,08	1,73 ± 0,08
MMP: millor marca personal.				

Taula 1
Característiques dels saltadors (*n* = 37) i saltadores (*n* = 32) d'alçada finalistes en el Campionat d'Espanya en pista coberta (temporada 2009) de les categories cadet (13-15 anys), júnior (17-18 anys) i sènior (fins a 35 anys)

a la majoria de participants la preparació anirà enfocada a la consecució del màxim rendiment en aquest moment de la temporada.

Material

La gravació dels salts a través de fotogrametria 3D va requerir la utilització de tres càmeres de vídeo digital (dues càmeres mini DV Sony Handycam DCR-SR30E i una càmera de disc dur JVC Everio CU-VC3U), muntades sobre els seus trípodes. A més a més, es van requerir dos pals de 2,92 metres de longitud per delimitar el marc de calibratge i reconstruir-lo posteriorment en el programa d'anàlisi. L'anàlisi dels salts va requerir programari informàtic per a: la conversió i visualització dels vídeos (VirtualDub MPEG v. 2.0, VirtualDub Org.); l'edició dels vídeos (Adobe Premiere v. 6.0, Adobe Systems Inc.); la digitalització, obtenció de les coordenades tridimensionals i reconstrucció dels salts (Kwon 3D v. 3.1, Visol Inc.); el processament de les coordenades i obtenció de les variables d'estudi (Kinematic Data Analyzer 1.0, creació pròpia); l'anàlisi estadística de les mitjanes i desviació típica (Excel 2003, Microsoft Inc.), i la realització de la prova t-test per a mostres independents (SPSS v. 15.0, SPSS Inc.).

Procediment

La ubicació de les càmeres a la pista d'atletisme es va fer seguint el criteri establert per Soto (1995) i Wood i Marshall (1986). Una càmera es va ubicar de manera central en el matalàs i les altres dues lateralment, formant un angle pròxim a 90° i amb una separació lateral de 30 metres respecte a la càmera central. Es van ubicar en posicions elevades i estables i eren compactes per evitar la interferència d'objectes entre l'eix òptic de la càmera i la zona filmada, així com per evitar vibracions en la imatge.

La freqüència de registre de les càmeres era de 50 Hz (Nolan & Patrilli, 2008), màxim permès en sistema europeu PAL, i el temps d'obturació de la lent era d'1/1.000 segons, prenent com a referència l'estudi fet per Van Gheluwe, Roosen i Desloovere (2003) per a la prova de salt d'alçada en condicions de pista coberta. Es va utilitzar un full d'anotacions de registre de salts per poder establir correspondència entre les imatges filmades i el desenvolupament de la competició. A través del programa Adobe Premiere 6.0, es va fer el desen-

trellaçat de la imatge (separació d'imatges parells i imparells), ja que durant la filmació es recullen en instants temporals diferents.

Per al calibratge de les càmeres, es va utilitzar el mètode de gravació d'una imatge de referència (Gruen, 1977). Aquesta seqüència d'imatges, filmada per cadascuna de les càmeres, contenia la construcció d'un objecte 3D de dimensions conegudes a partir de barres verticals (pals d'alumini). Es tractava d'un prisma rectangular amb unes mesures de 10 metres d'ample, 5 metres de profunditat i 2,92 metres d'altura. Aquest marc de calibratge es va registrar abans i després de cada sessió de competició i permetia establir l'escala entre les imatges filmades i les imatges reals.

L'anàlisi dels salts es va fer en el programa d'anàlisi de les tècniques esportives Kwon3D 3.1 mitjançant la digitalització (determinació dels marcadors corporals) d'un model de segments rígids articulats (Soto & Gutiérrez, 1996) format per 22 punts que definien 14 segments (utilitzat per Alcaraz, Palao, Elvira, & Linthorne, 2008) i representaven la figura del saltador. El procediment de digitalització va seguir les indicacions de Bahamonde i Stevens (2006).

Abans d'aquest procediment, es va fer la digitalització i reconstrucció del marc de calibratge. Es van utilitzar un total de 28 punts de control ubicats de manera perimetral a la superfície d'anàlisi. Es va establir el valor dels paràmetres corporals (massa, vector posició del centre de masses, i moments inèrcia) a partir dels valors aportats per DeLeva (1996), adaptats dels de Zatsiorsky i Seluyanov (1985), i es van sincronitzar les seqüències d'imatges utilitzant cinc esdeveniments temporals (contacte antepenúltim suport, contacte penúltim suport, contacte batuda, enlairament batuda, i contacte matalàs).

Per a la determinació de les coordenades i la reconstrucció tridimensional del moviment, es va utilitzar l'algorisme de Transformació Lineal Directa descrit per Abdel-Aziz i Karara (1971). Prèviament, es va fer un procés d'interpolació de dades a 100 Hz usant Splines de cinquè ordre (desenvolupades per Wood & Jennings, 1979) per introduir una mesura temporal entre instants separats 0,02 segons d'interval. Per eliminar les freqüències altes que produeixen el "soroll" en la imatge, es va utilitzar un filtre Low-pass Butterworth de segon ordre amb una freqüència d'estil òptima fixada en 6 Hz (Winter, Sidwall, & Hobson, 1974).

Els 46 paràmetres biomecànics analitzats s'exposen a continuació en la *taula 2*.

Caràcter	Nom	Abreviatura (unitat)
Madurativa-entrenament	Durada de l'antepenúltim suport	TCAPA (s)
	Durada de la penúltima fase aèria de cursa	TVPP (s)
	Durada del penúltim suport	TCPA (s)
	Durada de l'última fase aèria de cursa	TVUP (s)
	Durada de la batuda	TB (s)
	Altura de vol	H2 (m)
	Màxima altura del CM	Hmax (m)
	Altura del CM sobre el llistó	HCML (m)
	Freqüència del penúltim pas	FPP (p/s)
	Freqüència de l'últim pas	FUP (p/s)
	Velocitat horitzontal del CM en el penúltim pas	VhPP (m/s)
	Velocitat horitzontal del CM en l'últim pas	VhUP (m/s)
	Velocitat horitzontal del CM a l'inici de la batuda	VhTD (m/s)
	Velocitat vertical del CM a l'inici de la batuda	VvTD (m/s)
	Velocitat horitzontal del CM al final de la batuda	VhTO (m/s)
	Velocitat vertical del CM al final de la batuda	VvTO (m/s)
Velocitat resultant de batuda	VR (m/s)	
Creixement-antropometria	Longitud del penúltim pas	LPP (m)
	Longitud de l'últim pas	LUP (m)
	Distància frontal de batuda	DF (m)
	Distància entre el CM i el suport en la batuda	CM-AP (m)
	Recorregut vertical del CM durant la batuda	ΔH (m)
	Altura del CM a l'inici de la batuda	H0 (m)
Altura del CM al final de la batuda	H1 (m)	
Tècnica	Eficàcia de franqueig	H3 (m)
	Velocitat angular del braç de la cama lliure	VBPL ($^{\circ}$ /s)
	Velocitat angular del braç de la cama de batuda	VBPB ($^{\circ}$ /s)
	Velocitat angular de la cama lliure	VPL ($^{\circ}$ /s)
	Inclinació lateral en l'antepenúltim suport	ILCAP ($^{\circ}$)
	Inclinació lateral en el penúltim suport	ILCPA ($^{\circ}$)
	Angle del penúltim pas	t2 ($^{\circ}$)
	Angle de l'últim pas	t1 ($^{\circ}$)
	Orientació del suport en la batuda	e1 ($^{\circ}$)
	Angle del CM en la fase aèria del penúltim pas	P2 ($^{\circ}$)
	Angle del CM en la fase aèria de l'últim pas	P1 ($^{\circ}$)
	Angle d'entrada a la batuda	PO ($^{\circ}$)
	Angle del genoll a l'inici de la batuda	KTD ($^{\circ}$)
	Angle del genoll en el sosteniment	KL ($^{\circ}$)
	Angle del genoll al final de la batuda	KTO ($^{\circ}$)
	Angle del suport a l'inici de la batuda	ATD ($^{\circ}$)
	Inclinació lateral a l'inici de la batuda	ILTD ($^{\circ}$)
	Inclinació anteroposterior a l'inici de la batuda	IATD ($^{\circ}$)
	Inclinació lateral al final de la batuda	ILTO ($^{\circ}$)
	Inclinació anteroposterior al final de la batuda	IATO ($^{\circ}$)
Angle de projecció en la batuda	α ($^{\circ}$)	



Taula 2

Variables cinemàtiques analitzades en la prova de salt d'alçada durant la final del Campionat d'Espanya en pista coberta (temporada 2009) en les categories atlètiques cadet (13-15 anys), júnior (17-18 anys) i sènior (fins a 35 anys) en homes i dones

Anàlisi estadística

Per a l'estadística descriptiva, es va utilitzar un full de càlcul en què es va determinar la mitjana aritmètica i la desviació estàndard. Per a l'estadística inferencial, es va utilitzar un programa en què es va fer el tractament estadístic de les mitjanes aritmètiques. La distribució

Gaussiana de les dades es va contrastar mitjançant el test no paramètric de Kolmogorov-Smirnov. Per al càlcul de la variació dels paràmetres entre sexes, es va aplicar la prova t-test per a mostres independents. Es va utilitzar un valor de $p < 0,05$ per indicar diferències estadísticament significatives.

Resultats

En la *taula 3* s'exposen les variables que han mostrat variacions estadísticament significatives en comparar els homes amb les dones en les categories d'edat cadet, júnior i sènior després d'aplicar la prova t-test per a mostres independents. El signe negatiu indica les variables en què les dones tenen un valor significativament major que els homes.

En categoria cadet, deu variables presenten diferències estadísticament significatives entre homes i dones: una variable relacionada amb els processos de creixement (DH), cinc variables relacionades amb els processos de maduració (VhPP, VvTO, H2, Hmax i HCML) i quatre variables relacionades amb els processos d'aprenentatge tècnic (ILCAP, t2, IATO i a). Els saltadors

masculins cadets presenten un valor significativament major en totes les variables excepte per a l'angle del penúltim pas, que és significativament major en les dones.

En categoria júnior, 21 variables presenten diferències estadísticament significatives entre homes i dones: cinc variables relacionades amb els processos de creixement (LPP, LUP, DF, DH i H1), nou variables relacionades amb els processos de maduració (VhPP, VhUP, VhTD, VvTD, VvTO, VR, H2, Hmax i HCML) i set variables relacionades amb els processos d'aprenentatge tècnic (ILCAP, ILCPA, P2, IATD, ILTO, IATO i a). En totes les variables, els saltadors masculins júnior presenten un significativament major valor que les dones.

En categoria sènior, 23 variables presenten diferències estadísticament significatives entre homes i dones: cinc variables relacionades amb els processos de creixement (LPP, DF, CM-AP, DH i H1), 11 variables relacionades amb els processos de maduració (VhPP, FUP, VhUP, VhTD, VvTO, BPB, VR, TB, H2, Hmax i HCML) i set variables relacionades amb els processos d'aprenentatge tècnic (t2, t1, P2, KTO, ATD, ILTD i a). En totes les variables, els saltadors masculins sènior presenten un valor significativament major que les dones.

A mesura que es puja de categoria d'edat, s'incrementa el nombre de variables, el valor del qual difereix de manera estadísticament significativa entre homes i dones. En categoria cadet ($x = 10$), les variables que presenten diferències entre gèneres coincideixen amb les categories d'edat júnior i sènior. Aquest aspecte es compleix en totes les variables excepte per a tres relacionades amb la tècnica: inclinació lateral en l'antepenúltim suport, angle del penúltim pas i inclinació anteroposterior al final de la batuda. Aquestes variables només coincideixen amb la categoria d'edat júnior, excepte l'angle del penúltim pas, que únicament produeix diferències entre sexes en la categoria cadet. En pujar de categoria d'edat, categoria júnior, el nombre de variables s'incrementa ($x = 21$). De totes les variables, 14 coincideixen amb la categoria sènior. Aquestes variables són: antropomètriques (LPP, DF, DH, H1), maduratives (H2, Hmax, HCML, VhPP, VhUP, VhTD, VvTO i VR), i tècniques (t2 i a). Cinc variables mostren diferències únicament en aquesta categoria d'edat (LUP, VvTD, ICLPA, IATD i ILTO). En pujar a la categoria sènior, el nombre de variables que mostren diferències entre gèneres és major ($x = 23$). En aquesta categoria d'edat, les variables són quatre antropomètriques, 11 maduratives, i vuit tècniques.

Variable	13-15 anys		17-18 anys		18-35 anys	
	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: diferència estadística; p: nivell de significació estadística.

Taula 3

Comparació de les variables biomecàniques rellevants analitzades en la final del Campionat d'Espanya en pista coberta masculí i femení (temporada 2009) en les categories cadet, júnior i sènior (t-test)

Discussió

L'objectiu del present treball és determinar els aspectes de la tècnica del salt d'alçada que tenen una variació significativa entre homes i dones en diferents moments del procés de formació esportiva. La finalitat és que els aspectes de la tècnica que presenten diferències en homes i dones puguin servir com a referència per establir la distribució i estructuració dels continguts de l'entrenament fisicotècnic quan es treballa amb grups d'atletes mixtos. Els resultats aporten informació sobre els processos evolutius en què s'evidencien les diferències entre sexes en funció de la categoria d'edat en el procés de formació esportiva en la prova de salt d'alçada.

En general, els homes obtenen un major rendiment en comparació amb les dones. Aquest major rendiment dels homes en comparació amb les dones s'incrementa en pujar de categoria d'edat (0,15 m en la categoria cadet, 0,36 m en la categoria júnior, i 0,37 m en la categoria sènior). A més a més, les diferències en el rendiment entre les categories cadet i sènior són majors en els homes (0,40 m en homes, enfront de 0,18 m en dones). Les diferències entre els rendiments dels homes i les dones en les categories d'edat júnior i sènior són similars als resultats obtinguts per Gärderud, Särndal i Söderlind (2007).

El menor rendiment de les dones podria estar associat als aspectes limitants relacionats amb el procés evolutiu en aquest gènere (Malina & Bouchard, 1991). En relació amb les característiques antropomètriques d'estatura, els saltadors analitzats en aquest estudi són més alts que les dones. Aquestes diferències en l'estatura s'incrementen amb el pas de l'edat (0,07 m en categoria cadet, 0,13 m en categoria júnior, i 0,20 m en categoria sènior). A més a més, l'increment de l'estatura en progressar des de la categoria cadet fins a la categoria sènior és major en els homes (0,29 m, enfront de 0,06 m). Les diferències d'estatura en la categoria sènior són majors en relació amb els valors obtinguts per Wilmore i Costil (2000) (0,07 m) i per Gustafsson i Lindenfors (2004) (0,05 m).

La menor estatura en les dones comporta un menor braç d'alçaprem per aplicar força contra el sòl i una posició menys eficient a l'hora de projectar el CM del saltador al final de la batuda (López Chicharro & Fernández Vaquero, 2006). Aquesta característica, sumada al menor desenvolupament de les capacitats físiques (Miller et al., 1993), és possible que sigui la causa de les diferències obtingudes.

Només s'han obtingut set variables biomecàniques, la variació de les quals entre homes i dones representa un nivell de significació estadística en les tres categories d'edat analitzades. Aquestes variables corresponen a la fase d'avantsalt (VhPP), a la fase de batuda (ΔH , VvTO i a), i a la fase de vol (H2, Hmax i HCML). Si es relacionen amb els processos evolutius, es poden agrupar en variables relacionades amb els processos de creixement (DH), amb els processos de maduració (VhPP, VvTO, H2, Hmax i HCML) i amb els processos d'aprenentatge tècnic (a). Aquesta classificació ja es fa en un estudi previ (Bermejo et al., 2011).

En totes les categories d'edat analitzades, les variables relacionades amb els processos de maduració evidencien les majors diferències en comparar homes i dones. Aquests resultats obtinguts semblen mostrar que a mesura que es puja de categoria d'edat la major capacitat física determina la major diferència entre el rendiment dels homes i les dones.

En relació amb la forma d'executar el salt d'alçada, les diferències obtingudes (antropomètriques, físiques i tècniques) entre els saltadors de gènere masculí de diferent categoria d'edat i de gènere femení es corresponen, prenent com a referència el model d'execució masculí, amb: *a*) execució de l'avantsalt amb una major longitud del pas, major velocitat, major freqüència i major nivell d'inclinació lateral cap al centre del revolt; *b*) menor angle del penúltim pas, major angle de l'últim pas i major angle del CM en la fase aèria del penúltim pas; *c*) millors condicions biomecàniques per afrontar la batuda (major distància entre el CM i el suport i major angle de la cama amb la vertical); *d*) major separació entre el punt de batuda i la projecció vertical del llistó; *e*) major velocitat horitzontal i vertical del CM en arribar a la batuda; *f*) major inclinació anterior i lateral a l'inici de la batuda; *g*) major temps de batuda per aplicar força; *h*) major recorregut vertical del CM durant la batuda; *i*) posicionament del CM més elevat al final de la batuda; *j*) major contribució dels segments lliures; *k*) major quantitat de velocitat vertical i velocitat resultant del CM al final de la batuda; *l*) posició menys vertical al final de la batuda; *m*) major extensió del genoll al final de la batuda; *n*) major angle de projecció vertical del CM al final de la batuda; *o*) major altura de vol i major altura màxima del CM.

Conclusions

Les diferències entre homes i dones s'incrementen amb el pas de l'edat. Això indica que les diferències en

els aspectes evolutius que existeixen entre homes i dones tenen una major presència durant l'entrenament de les categories d'edat majors.

Els resultats d'aquest estudi mostren que les variables cinemàtiques relacionades amb els processos de maduració són aquelles en les quals es produeix una major variació en relació amb la tècnica de salt d'alçada utilitzada pels homes i la tècnica utilitzada per les dones. Les variables biomecàniques relacionades amb els processos de creixement són les que menors diferències reflecteixen en comparar homes i dones d'una mateixa categoria d'edat.

En tractar-se de saltadors i saltadores d'alçada d'alt rendiment, els resultats obtinguts únicament podran ser extrapolables a grups d'entrenament amb característiques antropomètriques, físiques, tècniques i de rendiment similars. S'ha de tenir en compte que el present estudi analitza un nombre limitat d'atletes en una competició puntual. Seria interessant que futures investigacions tinguessin una major quantitat de participants amb característiques de rendiment diferents.

Hi ha una sèrie de limitacions associades a aquest tipus d'estudis en què es fan comparacions de gènere. Conceptualment, homes i dones són diferents. Es tracta de dos grups amb diferents característiques antropomètriques, físiques i tècniques. Aquestes característiques influiran en els resultats en executar qualsevol tècnica esportiva. Per això, és possible que la diferent forma de saltar es degui a les diferències associades a cada sexe. En analitzar les causes que produeixen les diferències en els valors dels paràmetres no queda clar a què es deuran aquestes diferències. Al contrari, és possible que les diferències que es produeixen sigui allò normal i el que s'hagi de ressaltar siguin les no-diferències. No obstant això, els criteris de referència trobats en la bibliografia especifiquen que no hi ha diferències en la manera d'entrenar-se homes i dones. El present treball mostra que hi ha diferències en la mecànica de salt, per la qual cosa pot ser necessari fer diferenciacions en els criteris d'entrenament tècnic dels saltadors i saltadores d'altura.

Referències

- 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. 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* (pàg. 680-684). Salzburg: Àustria.
- 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 Subcommittee, International Olympic Committee, Lausanne. [Informe encarregat pel Comitè Olímpic Internacional, a propòsit dels Jocs Olímpics 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). *Mecànica 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. Recuperat 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* (3a 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* (Tesi doctoral), Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport, Universitat 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 selecció de atletas jóvenes con aptitudes para el atletismo. *Atletismo iniciación II* (pàg. 11-20). Centro de Documentación de la Escuela Nacional de Entrenadores. Real Federación Española de Atletismo.
- Nolan, L., & Patritti, B. L. (2008). The take-off phase in transtibial amputee high jump. *Prosthetic 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* (Tesi doctoral). Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport, 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* (pàg. 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* (3a 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* (pàg. 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. A D. Winter (Ed.), *Biomechanics IX-B* (pàg. 233-239). Champaign, Illinois: Human Kinetics Publishers.