

# *Punts crítics de l'estirada d'arrencada en halterofília*

## **Philippe Campillo**

*Doctor en Educació Física i Esportes  
Université de Montpellier I. Faculté des Sports*

## **Claude Hertogh**

*Subdirector de la Faculté des Sports  
Université Antilles-Guyane*

## **Jean Paul Micallef**

*Director d'investigació en Biomecànica  
Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale  
Montpellier*

## **Paraules clau**

**halterofília, biomecànica, força-velocitat, punts crítics**

## **Abstract**

*The aim of this study is to analyse technique in weight-lifters at international level, following the curves of vertical forces. This work, with the help of a strength platform, and a system of analysis of two-dimensional video, tracks down the different critical points that contribute to these curves throughout the lift and jerk in weight-lifting. Six international weight-lifters have each taken three lift and jerk tests, using weights at 70%, 80% and 90% of their best lifts. In the course of the lift we noticed three critical points: two maximum ( $T_{z1}$ ,  $F_{z1}$ ) and ( $T_{z3}$ ,  $F_{z3}$ ) separated by a minimum ( $T_{z2}$ ,  $F_{z2}$ ). These points express from a cinematic and dynamic plane, the transitions of the technical phases. In the calculated data, as a whole, two variables of the weight-lifting bar system ( $T_{z3}-T_{z1}$  and  $F_{z1}/F_{z0}$ ) and four variables studied on the cinematic video of the bar (maximum height, maximum height/stature, maximum height/leg length and average speed) show significant differences in the tests throughout the Wilcoxon tests. The use of a matrix of correlations (Spearman test), together with a matrix of probabilities, shows a high correlation between the different points. It is necessary to underline the importance of the critical point ( $T_{z1}$ ,  $F_{z1}$ ) with respect to the other points and their repercussions on the cinematic variables of the bar ( $r=0.83$ ,  $P<0.01$ ) for  $F_{z1}$  and DV maximum at 90% of maximum weight. The first summit of  $F_{z1}$  force is reached more quickly and the force relations lessen (to be exact  $F_{z1}/F_{z0}$ ) respectively the same, to  $1.65\pm 0.10$ , then  $1.54\pm 0.08$  at 70% and 80% of the maximum. The decrease in the force relation  $F_{z1}/F_{z2}$  and the increase of  $F_{z3}/F_{z1}$ , with respect to the cinematic variables of the bar, are significative of weight-lifting possibilities.*

## **Resum**

La finalitat d'aquest estudi és analitzar la tècnica en halterofilistes de nivell internacional, seguint les corbes de les forces verticals. Aquest treball, amb l'ajuda d'una plataforma de forces i d'un sistema d'anàlisi de vídeo en dues dimensions, localitza els diferents punts crítics que intervenen en aquestes corbes al llarg de l'estirada d'arrencada en halterofília. Sis halterofilistes de nivell internacional han fet tres proves d'arrencada cada un, i feren servir càrregues al 70%, 80% i 90% de les seves marques màximes. En el transcurs de l'arrencada es noten tres punts crítics: dues màximes ( $T_{z1}$ ,  $F_{z1}$ ) i ( $T_{z3}$ ,  $F_{z3}$ ) separades per un mínim ( $T_{z2}$ ,  $F_{z2}$ ). Els esmentats punts tradueixen, des d'un pla cinemàtic i dinàmic les transicions de les fases tècniques. En el conjunt de les dades calculades, dues variables del sistema halterofilista-barra ( $T_{z3}-T_{z1}$  i  $F_{z1}/F_{z0}$ ) i quatre variables estudiades sobre la cinemàtica de la barra (altura màx., altura màx./talla, altura màx./longitud cames i velocitat mit.), presenten diferències significatives entre les proves al llarg del test de rang de Wilcoxon. La utilització d'una matriu de correlacions (test d'Spearman), associada a una matriu de probabilitats, demostra correlacions elevades entre els diferents punts. Cal subratllar la importància del punt crític ( $T_{z1}$ ,  $F_{z1}$ ) pel que fa als altres punts i les seves repercussions cinemàtiques de la barra ( $r = 0,83$ ,  $P < 0,01$ ) per a  $F_{z1}$  i DV màx. a 90% de la càrrega màxima). El primer pic de més força  $F_{z1}$  és assolit més ràpidament i les relacions de força disminueixen (en con-

cret  $F_{z1}/F_{z0}$ ), respectivament igual, a  $1,65 \pm 0,10$ , després  $1,54 \pm 0,08$  a 70% i 90% màxim. La disminució de la relació de la força  $F_{z1}/F_{z2}$  i l'augment de  $F_{z3}/F_{z1}$ , pel que fa a les variables cinemàtiques de la barra, són significatius de les possibilitats de l'halterofilista.

## Introducció

Per arribar a aconseguir marques en l'arrencada i en els dos temps, l'halterofilista ha d'exercir sobre la barra una potència mecànica instantània molt important. L'interès que han demostrat els biomecànics en optimitzar l'esmentada potència pot veure's reflectit en els nombrosos estudis que han dut a terme. Efectivament, la força i la velocitat són fonamentals per a l'elevació de les càrregues en un pla vertical (Garhammer, 1982; González Badillo, 1991; Campillo et al., 1996).

Amb la utilització d'instruments sofisticats, és possible quantificar aquesta potència per analitzar les variacions de les velocitats de la barra i també les forces del sistema, compost per l'halterofilista i la barra (Brown et al., 1985; Garhammer, 1980 i 1991; Campillo et al., 1997a). L'ús de plataformes de força i/o material de vídeo gràfic, facilita l'observació i la comparació de les diferents tècniques en aquesta disciplina olímpica (Enoka, 1979; Burdett, 1982; Baumann et al., 1988; Garhammer et al., 1989).

Però les relacions entre la marca i els paràmetres antropomètrics i fisiològics, específics a cada atleta, són poc conegudes, i per això, la tècnica individual és encara difícil d'optimitzar i modelitzar (posicions segmentàries i angulars abans d'enlairar les càrregues de terra, coordinacions musculars i articulars durant la flexió i l'extensió dels genolls en el moment del pas de la barra, velocitats d'execució i trajectòria del pes, i per acabar, recepció equilibrada sota la càrrega, mantinguda amb els braços estesos).

En la pràctica, els halterofilistes i els entrenadors reajusten molt sovint la tècnica mitjançant el coneixement i la manipulació d'indicadors mecànics o biomecànics empírics i

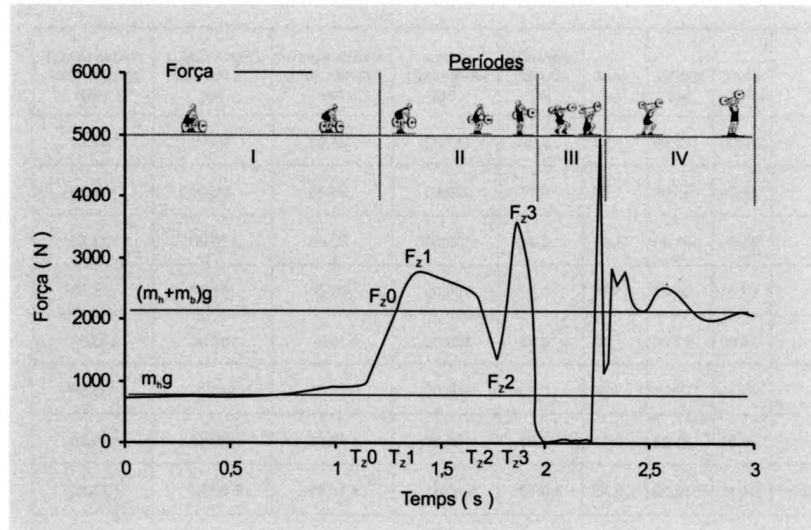


Figura 1. Corba de força dels sistema halterofilista-barra durant una arrancada per a un sol atleta. Les diferents fases de l'arrancada: (I) Període inicial (II) Estirada (III) Pas al dessor de la barra, (IV) estabilització i redreçament. ( $m_n$ : massa de l'halterofilista;  $m_b$ : massa de la barra,  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ ; ( $T_{z,0}$ ,  $F_{z,0}$ ) arrencada de la barra del terra,  $V$  igual a 0 ( $T_{z,1}$ ,  $F_{z,1}$ ) primer punt de l'estirada anterior a l'extensió dels genolls ( $T_{z,2}$ ,  $F_{z,3}$ ) màxim de força durant l'estirada de la barra a nivell de les cretes ilíaqües.

generals (suports, posicions, percepció de les trajectòries de la barra, velocitats d'execució). Però la rapidesa del moviment fa difícil l'apreciació, la comparació i l'anàlisi. Les comparacions objectives de les variacions dels factors cinemàtics i dinàmics entre els halterofilistes, són incertes sense l'ajuda d'instruments de mesura adaptats (Campillo et al., 1997).

L'estudi defineix diverses fases (figura 1) en el primer moviment olímpic: l'arrencada. Els valors dinàmics mesurats amb la plataforma de forces, així com els valors cinemàtics calculats mitjançant els instruments de vídeo, determinen aquestes fases i particularment en l'estirada. Els diferents moments de l'estirada d'arrencada són descrits i analitzats amb la finalitat de localitzar factors biomecànics que faciliten la comprensió de la tècnica i milloren les marques. Punts crítics (un punt crític és un màxim o un mínim local; el punt ( $a$ ) d'una funció diferenciada  $f(x)$  és crític si la derivada de  $f(a)$  és nul·la) sobre les corbes de temps, de força i de velocitat, estructuren les observacions i l'elaboració de factors tècnics, per optimitzar el moviment.

Per analitzar la tècnica de la fase de l'estirada en l'arrencada s'han examinat les variacions de la component de les forces verticals del sistema halterofilista-barra i la velocitat ascensional de la barra. L'anàlisi de les corbes de força (figura 1), associada a la descripció del moviment, defineix les tècniques específiques dels halterofilistes. Aquests gràfics haurien de facilitar l'elaboració de models teòrics i pràctics segons les diferències morfològiques i fisiològiques, com ja ho han fet alguns per estudiar el moviment: córrer, caminar, saltar, etc. (Jaworek, 1992 i 1993).

## Materials i mètodes

### Subjectes

Sis halterofilistes de nivell internacional han participat en l'estudi. Aquests halterofilistes pertanyen a les categories de pes: 59, 64, 76, 83, 99 i 108 kg. Els esmentats atletes s'entrenen quatre hores al dia, sis o set vegades a la setmana, des de fa més de cinc anys. Les ca-

SUBJECTES (ÍNDEX MARCA)	EDAT (ANYS)	MASSA (kg)	TALLA (m)	LONGITUD CAMES (m)	MARCA ARRENCADA (kg)	PROVA NÚM. 1 70% DEL MÀX. (kg)	PROVA NÚM. 2 80% DEL MÀX. (kg)	PROVA NÚM. 3 90% DEL MÀX. (kg)
Aub (1,65)	29,00	72,60	1,71	0,80	120,00	85,00	95,00	107,50
Bal (1,90)	23,00	63,00	1,66	0,77	120,00	85,00	95,00	107,50
Del (1,36)	29,00	101,40	1,81	0,87	137,50	95,00	110,00	122,50
Ped (1,47)	17,00	58,00	1,68	0,82	85,00	60,00	67,50	75,00
Rac (1,98)	25,00	83,20	1,76	0,83	165,00	115,00	132,50	150,00
Wad (1,62)	23,00	109,20	1,78	0,87	150,00	105,00	120,00	135,00
<b>Mitjana</b>	<b>24,33</b>	<b>81,23</b>	<b>1,73</b>	<b>0,83</b>	<b>129,58</b>	<b>90,83</b>	<b>103,33</b>	<b>116,25</b>
<b>Desviació estàndard</b>	<b>± 4,11</b>	<b>± 18,88</b>	<b>± 0,05</b>	<b>± 0,04</b>	<b>± 25,51</b>	<b>± 17,42</b>	<b>± 20,80</b>	<b>± 23,75</b>

Quadre 1. Característiques dels halteròfils. (Índex de marca corresponent a la marca màxima en l'arrencada, dividida pel pes).

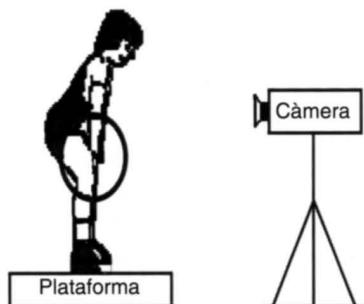


Figura 2. Dispositiu experimental.

racterístiques antropomètriques, les marques en l'arrencada així com les càrregues utilitzades en les tres proves, són recollides en el quadre 1. Els subjectes (edats compreses entre  $24 \pm 4,5$  anys, massa corporal  $81,2 \pm 20,6$  kg, fan marques conforme a les seves categories de pes (índex marca màxima = marca màxima en l'arrencada/massa del subjecte). Tots els halteròfilistes han acceptat participar voluntàriament en l'experimentació.

### Procediment

Els sis halteròfilistes fan tres proves en l'arrencada, al 70%, 80% i 90% respectiva-

ment de la seva marca màxima en aquest moviment. Cada atleta disposa de 45 segons de preparació (concentració i posició) abans de gravar la seva marca. Durant les proves, la gravació comença quan el subjecte està encara fora de la plataforma. Hi puja, s'hi col·loca i després agafa la barra que enlaira i executa el moviment específic (figura 2). La plataforma recull l'evolució de les forces del sistema indissociable halterofilista-barra. Una càmera de vídeo (S.VHS 625 Panasonic) situada al davant i en perpendicular, grava les arrencades per analitzar les característiques cinemàtiques de la barra.

### Material

Hem utilitzat una plataforma amb una dimensió de  $0,55 \times 0,55$  m que resisteix esforços verticals de 8.000 N. La plataforma està connectada a un sistema informàtic portàtil (P.C. Toshiba T3200) provist d'una fitxa de conversió analògic/numèrica. Un programa, propietat de l'INSERM, recull i tracta les forces que actuen sobre la plataforma, segons l'eix vertical ( $F_z$ ). La freqüència de les mostres és de 50 hertz. Una taula de mesclades (mesclador àudio/video numèric Wj-AVE Panasonic) vetlla pel sincronisme entre les imatges de vídeo de la càmera (50 imatges per segon) i les dades

convertides de la plataforma (Coconut 1076). Les imatges han estat preses amb un aparell de vídeo (NV-FS 100F Panasonic). Les imatges de vídeo han estat estudiades amb l'ajuda d'un video-timer (VTG-33), un sistema d'adquisició (Screen Machine) i d'anàlisi de vídeo (Programa Videotrack) que permet retallar cronològicament les diferents fases de l'arrencada. L'associació de les dades de la plataforma de forces i de les imatges de vídeo, determina l'anàlisi espai-temporal i dinàmic del moviment.

## Càlculs i expressió dels resultats

### Corbes de força

La quantitat del moviment d'un sistema és el producte de la seva massa  $m$  per la velocitat del seu centre d'inèrcia  $V_g$  ( $p = m \cdot V_g$ ) i la variació de  $p$  sobre el temps és igual, en cada moment, a la suma de les forces  $F$  que se li apliquen. Aquesta suma és proporcional a l'acceleració  $a_g$ .

$$\sum F = \frac{dp}{dt} = m \cdot a_g \quad (1)$$

El sistema halterofilista-barra està format per un halterofilista amb un pes ( $m_h \cdot g$ ) i per una barra amb un pes ( $m_b \cdot g$ ), d'on:

$$\vec{F} = m_h \cdot \vec{a}_h + m_b \cdot \vec{a}_b + (m_h + m_b) \cdot \vec{g} \quad (2)$$

Del que hem deduït:

$$\vec{F} - (m_h + m_b) \cdot \vec{g} = m_h \cdot \vec{a}_h + m_b \cdot \vec{a}_b \quad (3)$$

En una primera aproximació a l'eix vertical (component vertical) només dues forces exteriors s'apliquen: el pes  $(m_h + m_b) \cdot g$  del sistema halterofilista-barra i la reacció  $F_z$  del terra, orientada cap amunt. Tenim, doncs:

$$F_z - (m_h + m_b) \cdot g = m_h \cdot a_{zh} + m_b \cdot a_{zb} \quad (4)$$

La plataforma de forces ens proporciona

$$F_z = (m_h + m_b) \cdot a_{zhb} + (m_h + m_b) \cdot g \quad (5)$$



Per a cada una de les proves dels sis halterofil·listes, s'obtenen els traçats de les tres corbes (proves al 70%, 80% 90%) sobre un mateix gràfic, amb la finalitat de facilitar les comparacions entre aquestes proves. Sobre les corbes apareixen punts característics que permeten organitzar les nostres observacions i analitzar els diferents moments de l'estirada (figura 1). En efecte, els punts de temps ( $T_{z0}$ ,  $T_{z1}$ ,  $T_{z2}$ ,  $T_{z3}$ ) i de força ( $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$ ,  $F_{z3}$ ), determinats sobre el sistema halterofil·lista-barra per la plataforma de forces, han permès establir variables en termes de diferències i de relació (quadre 2). Les seves evolucions han estat estudiades al llarg de les tres proves amb càrrega creixent per a cada un dels subjectes i segons les característiques cinemàtiques de la barra (V màx., V mit., A màx., DV màx.) facilitades pels aparells de video (quadre 3).

### Anàlisis estadístiques

S'han calculat les mitjanes i les desviacions estàndard ( $\pm$ ) de totes les variables. En aquest pla experimental (tipus S6\*T3) en el qual un grup aparellat i limitat de 6 subjectes (S6) han dut a terme una mateixa tasca, amb percentatges de càrregues creixents (T3), hem utilitzat tests no paramètrics. S'ha plantejat la hipòtesi H0 (sense diferències significatives entre els diferents percen-

tatges 70%, 80% i 90%) per al conjunt de les variables i s'ha utilitzat el test de rang de Wilcoxon ( $z$ ,  $p$ ) per a sèries aparellades. Una matriu de correlació d'Sperman associada a una matriu de probabilitat, és duta a terme amb la finalitat d'esbrinar els graus de connexió entre les variables amb diferències significatives ( $r$ ,  $p$ ) en cada prova.

### Resultats

Les transformacions de la tècnica de l'estirada d'arrencada, segons l'augment del percentatge de càrrega, són analitzades a través dels diferents punts crítics.

En efecte, per al conjunt de les corbes de força (figura 3) apareixen tres punts crítics (Zones respectives  $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$ ,  $F_{z3}$ ) localitzats en el temps (quadre 2).

### Cinemàtica del sistema halterofil·lista-barra

Sobre les variables de temps, el test de Wilcoxon posa de manifest diferències significatives entre el 70% i el 90% de la marca màxima, per als tres punts:  $T_{z1}$  ( $z = -2,23$ ,  $P < 0,05$ ),  $T_{z2}$  ( $z = -2,21$ ,  $P < 0,05$ ),  $T_{z3}$  ( $z = -2,03$ ,  $P < 0,05$ ). Efectivament, pel que fa al punt  $T_{z0}$  i en funció de l'augment de la càrrega, aquests punts estan presents en el transcurs del

VARIABLES	PROVA 70% MÀX.	PROVA 80% MÀX.	PROVA 90% MÀX.
$F_{z1}/F_{z0}$	1,65 $\pm$ 0,10	1,60 $\pm$ 0,06	1,54 $\pm$ 0,08
$F_{z2}/F_{z0}$	0,92 $\pm$ 0,09	0,86 $\pm$ 0,14	0,91 $\pm$ 0,08
$F_{z3}/F_{z0}$	1,91 $\pm$ 0,20	1,92 $\pm$ 0,23	1,85 $\pm$ 0,12
$F_{z1}/F_{z2}$	1,81 $\pm$ 0,22	1,88 $\pm$ 0,23	1,72 $\pm$ 0,18
$F_{z3}/F_{z2}$	2,10 $\pm$ 0,31	2,27 $\pm$ 0,39	2,06 $\pm$ 0,25
$F_{z3}/F_{z1}$	1,16 $\pm$ 0,16	1,20 $\pm$ 0,13	1,20 $\pm$ 0,06
$T_{z1}-T_{z0}$ (s)	0,30 $\pm$ 0,13	0,29 $\pm$ 0,14	0,24 $\pm$ 0,11
$T_{z2}-T_{z0}$ (s)	0,65 $\pm$ 0,18	0,64 $\pm$ 0,15	0,64 $\pm$ 0,12
$T_{z3}-T_{z0}$ (s)	0,76 $\pm$ 0,18	0,77 $\pm$ 0,16	0,75 $\pm$ 0,14
$T_{z2}-T_{z1}$ (s)	0,34 $\pm$ 0,07	0,35 $\pm$ 0,04	0,39 $\pm$ 0,02
$T_{z3}-T_{z2}$ (s)	0,12 $\pm$ 0,02	0,13 $\pm$ 0,03	0,12 $\pm$ 0,03
$T_{z3}-T_{z1}$ (s)	0,46 $\pm$ 0,07	0,48 $\pm$ 0,04	0,51 $\pm$ 0,04

Quadre 2. Característiques cinemàtiques i dinàmiques del sistema halterofil·lista-barra per a les tres proves. Mitjana  $\pm$  desviació estàndard (dels sis halterofil·listes) relacions de força i diferències de temps (per segon) per als punts de força y (en Newton)  $F_{z0}$ ,  $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$  i  $F_{z3}$ .

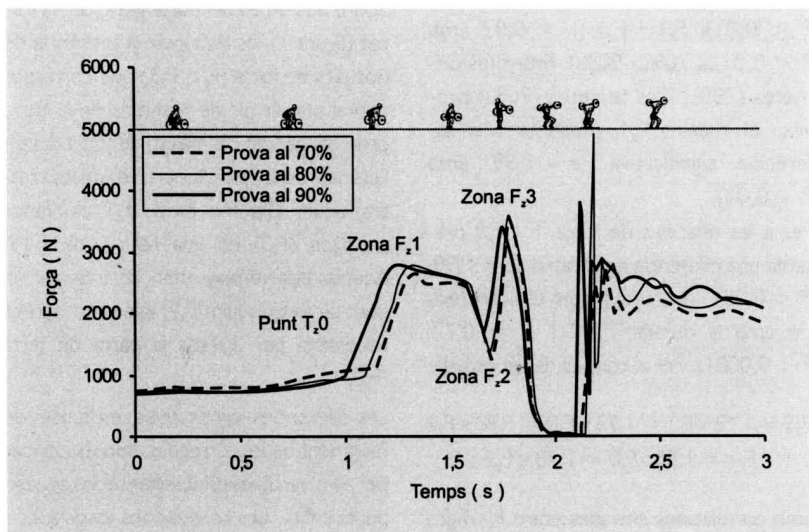


Figura 3. Les corbes de força de l'halterofil·lista Aub (1,65) per a les tres proves (Zona  $F_{z1}$ , Zona  $F_{z2}$ , Zona  $F_{z3}$ ). Les corbes tenen com a punt comú i de contrast, el moment de l'enlairament  $T_{z0}$  que permet d'apreciar les transformacions de la resultatnt de la força vertical  $F_z$ .

VARIABLES	PROVA 70% MÀX.	PROVA 80% MÀX.	PROVA 90% MÀX.
A màx. (m)	1,45 $\pm$ 0,04	1,39 $\pm$ 0,09	1,32 $\pm$ 0,12
A màx./Talla	0,83 $\pm$ 0,07	0,80 $\pm$ 0,09	0,76 $\pm$ 0,05
A màx./LP	1,75 $\pm$ 0,09	1,68 $\pm$ 0,05	1,59 $\pm$ 0,11
V mit. ( $m \cdot s^{-1}$ )	1,08 $\pm$ 0,06	1,04 $\pm$ 0,08	0,98 $\pm$ 0,11
V màx. ( $m \cdot s^{-1}$ )	2,52 $\pm$ 0,21	2,27 $\pm$ 0,24	2,17 $\pm$ 0,24
Durada de l'estirada (s)	0,91 $\pm$ 0,09	0,93 $\pm$ 0,08	0,93 $\pm$ 0,08
D V màx. (s)	0,66 $\pm$ 0,08	0,69 $\pm$ 0,10	0,67 $\pm$ 0,09

Quadre 3. Característiques cinemàtiques de la barra. Durada (durada total de l'estirada, en segons), DV màx. (període de temps necessari perquè la barra assolixi la velocitat màxima, en segons), A màx. (alçada màxima de la barra, en m), LP (longitud de les cames de l'halterofil·lista, en m), talla (en m), V mit. (velocitat mitjana de la barra, en  $m \cdot s^{-1}$ ), V màx. (velocitat màxima, en  $m \cdot s^{-1}$ ).

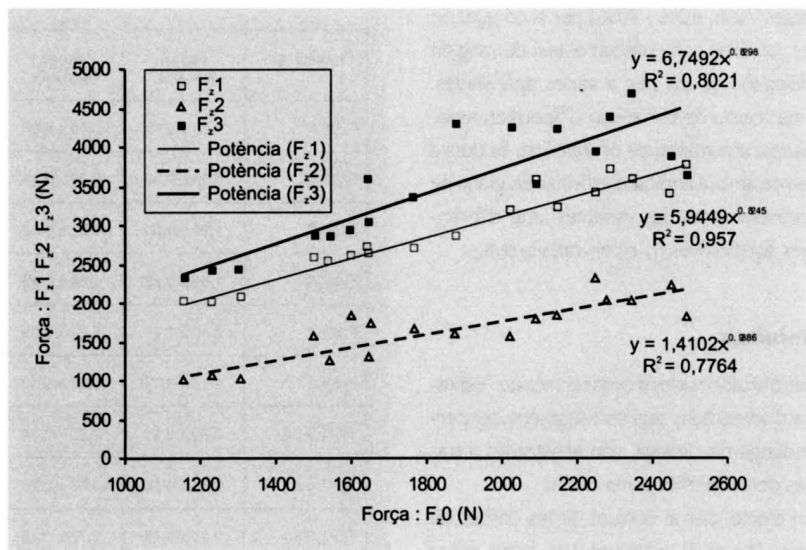


Figura 4. Corbes de tendència entre els punts  $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$ ,  $F_{z3}$ , segons els valors creixents de  $F_{z0}$ .

moviment, sense que la durada total de l'estirada sigui significativament diferent (quadre 3). Per al conjunt de les proves, la durada total de l'estirada és igual, per terme mitjà, a 0,91 s i des de l'enlairament ( $T_{z0}$ ) els diferents punts crítics ( $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$ ,  $F_{z3}$ ) es localitzen respectivament en  $T_{z1} = 0,35$  s,  $T_{z2} = 0,73$  s i  $T_{z3} = 0,84$  s.

La matriu d'Spearman mostra, excepte relacions ( $r > 0,7$ ,  $P < 0,0001$ ) evidents entre aquests punts ( $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$ ,  $F_{z3}$ ), correlacions entre l'aparició del primer pic de força  $F_{z1}$  del sistema halterofilista-barra i la cinemàtica de la barra. En particular, la correlació entre  $F_{z1}$  i  $D V$  màx. on  $r = 0,81$  ( $P < 0,05$  al 70% del màx.,  $r = 0,83$  ( $P < 0,05$ ) al 80% i  $r = 0,83$  ( $P < 0,01$ ) al 90% del màx.

Pel que fa a les durades, l'única diferència significativa s'ha localitzat en  $T_{z3}-T_{z1}$  ( $z = 2,02$ ,  $P < 0,05$ ) Aquesta variable està en correlació positiva amb les variables  $D V$  màx. ( $r > 0,71$ ,  $P < 0,01$  al 70% i 80%) i negativa amb  $F_{z0}$  ( $r > -0,84$ ,  $P < 0,01$ ). Amb l'augment de la càrrega, el primer pic d'estirada és assolit més ràpidament, les mitjanes de les durades revelen una regressió de  $T_{z1}-T_{z0}$  així com els augments de  $T_{z3}-T_{z1}$  i de  $T_{z2}-T_{z1}$ . A més a més, les desviacions estàndard de les variables dels dife-

rents períodes de temps es redueixen i la tècnica de l'estirada tendeix a uniformar-se en els atletes.

#### Dinàmica del sistema halterofilista-barra

Amb un augment del 20% de la càrrega, els diferents punts crítics de les forces estudiades ( $F_{z1}$ ,  $F_{z2}$ ,  $F_{z3}$ ) augmenten en intensitat segons les corbes del tipus ( $ax^b$ ) (figura 4). Així mateix, les correlacions són importants entre  $F_{z1}$  i  $F_{z2}$  ( $r > 0,88$ ,  $P < 0,01$ ),  $F_{z1}$  i  $F_{z3}$  ( $r > 0,93$  amb  $P < 0,01$  al 70% i 90%). Entre les primeres (70%) i les terceres (90%) proves, el màxim  $F_{z1}$  presenta una diferència significativa ( $z = 1,99$  amb  $P < 0,05$ ).

Per a les relacions de força,  $F_{z1}/F_{z0}$  presenta una diferència significativa ( $z = 1,99$ ,  $P < 0,05$ ) i el seu augment està en relació amb la durada  $T_{z3}-T_{z1}$  ( $r = 0,77$ ;  $P < 0,0001$ ). Per al conjunt de les proves:

$$F_{z3} = 1,12 \times F_{z1} = 1,73 \times F_{z0} = 1,98 \times F_{z2}$$

$$F_{z1} = 1,55 \times F_{z0} = 1,78 \times F_{z2}$$

amb correlacions elevades entre  $F_{z1}/F_{z2}$  i  $F_{z3}/F_{z2}$  ( $r = 0,94$ ,  $P < 0,05$ ) i entre  $F_{z3}/F_{z1}$  i  $F_{z3}/F_{z0}$  ( $r = 0,94$ ,  $P < 0,05$ ) principalment per a les proves al 90%.

#### Cinemàtica de la barra

Les diferències són significatives entre les proves al 70%-90% i al 70%-80% però no al 80%-90% per a les variables de l'altura ( $A$  màx.,  $A/T$  i  $A/LP$ ) i de la velocitat ( $V$  màx. i  $V$  mit.). L'índex de rang de Wilcoxon entre 70-90% disminueix per al conjunt de les variables, principalment  $A$  màx. ( $z = -2,02$ ,  $P < 0,05$ ) i  $V$  màx. ( $z = -1,78$ ,  $P < 0,05$ ). Les mitjanes de les variables ( $A$  màx.,  $A/T$ ,  $A/LP$ ,  $V$  màx. i  $V$  mit.) disminueixen amb l'augment del pes de la barra, mentre que la durada total de l'estirada i el factor  $D V$  màx. són constants. Les correlacions entre aquestes dades cinemàtiques són elevades, tant entre  $A/T$  i  $V$  màx. ( $r > 0,98$ ,  $P < 0,001$  per a les tres proves) com entre  $A/LP$  i  $V$  mit. ( $r > 0,66$  amb probabilitats de  $P < 0,05$  al 70% fins  $P < 0,001$  al 90%).

#### Discussió

L'halterofilista està exposat a una alternança de pèrdua i de recuperació d'equilibri al llarg de l'enlairament i de l'elevació de la barra del terra, però també a variacions de despesa i acumulació d'energia. Sobre les corbes de força en funció del temps, punts característics ( $F_{z1}$  fins a  $F_{z3}$ ) són definits cronològicament (quadre 2) i posats en relació amb les diferents posicions de l'halterofilista en el moment de l'estirada (figures 1 i 3). Sobre les corbes del traçat gràfic de les forces (figura 1), es distingeix la presència de dos pics de força ( $F_{z1}$ ,  $F_{z3}$ ) que corresponen al primer pic de l'estirada de la barra prop del genolls i al màxim de força durant l'estirada de la barra fins el nivell de les crestes il·laques. El primer pic de ( $F_{z1}$ ) és inferior al segon ( $F_{z3}$ ) en una relació de 1,19. Aquests dos vèrtexs estan separats per un punt de força mínim  $F_{z2}$ , inferior a la força necessària per aixecar la barra de terra ( $F_{z0}$ ).

Les diferències significatives, en funció de l'augment de les càrregues, són estudiades per a les variables establertes sobre aquests punts crítics. Les correlacions associades a aquestes variables organitzen l'anàlisi de les modificacions de la tècnica. El mínim  $F_{z2}$  revela una disminució de força pel que fa al



pic  $F_{z1}$ , i  $F_{z3}$  està en relació amb l'eficàcia tècnica de l'heterofilista (Campillo *et al.*, 1997c). Aquest punt és sinònim d'una pèrdua energètica a causa de la transferència de suports de força entre grups musculars diferents i a les coordinacions matrics, sobretot en el pas dels genolls (Enoka, 1983; Lee *et al.* 1995). Per ser eficaç en l'estirada, l'heterofilista ha d'associar a les sinèrgies musculars i articulars, principis ergonòmics de base. En particular, per perdre un mínim d'energia mecànica, el desplaçament del centre d'inèrcia de la barra ha de seguir al més a prop possible el centre de gravetat de l'atleta, permetent-li reduir les palanques. La qual cosa vol dir que per a una mateixa massa, tenint present el nivell tècnic i la distància de la càrrega pel que fa al cos de l'heterofilista, la barra pot presentar palanques diferents. Efectivament, les diferències d'intensitat de força entre els pics  $F_{z1}$  i  $F_{z2}$ , així com les existents entre  $F_{z2}$  i  $F_{z3}$ , mostren les qualitats de l'ajustament tècnic dels halterofilistes en el moment del pas de la barra a nivell dels genolls (moviment de flexió, extensió). Els resultats presenten diferències significatives per als valors de força  $F_{z1}$ , i de temps  $T_{z1}$ ,  $T_{z2}$ ,  $T_{z3}$ . Per al conjunt de les dades, la tendència en funció de  $T_{z1}$  és lineal entre els valors de temps mentre que el perfil de les forces, segons els valors de  $F_{z0}$ , té una tendència de tipus potència (figura 4).

L'anàlisi de les diferències entre les proves al 70% màx. i 90% màx., demostra principalment una diferència significativa per a les variables  $T_{z3}-T_{z1}$  i  $F_{z1}/F_{z0}$ . Amb l'augment de la càrrega, la durada entre els dos pics de força augmenta progressivament. Mentre la durada  $T_{z1}-T_{z0}$  disminueix, les altres durades i en concret  $T_{z2}-T_{z0}$ ,  $T_{z3}-T_{z0}$  i  $T_{z3}-T_{z2}$ , són constants (quadre 2). El punt  $F_{z1}$  és assolit més ràpidament amb una relació  $F_{z1}/F_{z0}$  menor. Al 90% hi ha una millor gestió de l'esforç, atès que la tendència de les diferents relacions de força està en descens. Podem dir que la posada en acció per assolir el primer pic és més ràpida. L'augment de la càrrega tradueix una tendència a la disminució de les relacions ( $F_{z1}/F_{z2}$  i  $F_{z3}/F_{z2}$  amb un augment de  $F_{z3}/F_{z1}$ . L'optimització de l'estirada està en funció

de la reducció de la distància entre  $F_{z1}$  i  $F_{z2}$  que correspon a una pèrdua d'energia a causa dels ajustaments tècnics. Per a un halterofilista determinat, les oscil·lacions entre  $F_{z1}$  i  $F_{z2}$  posen de manifest encadenaments tècnics (coordinació motriu) mal fets, que cal optimitzar (Campillo *et al.*, 1997b).

L'eficàcia de l'estirada pot estudiar-se amb l'ajuda de les dades cinemàtiques de la barra, les trajectòries i les velocitats màximes, principalment (Garhammer, 1985; Baumann *et al.*, 1988, Isaka *et al.* 1996). Les regressions de les altures i de les velocitats màximes de les barres durant l'estirada, revelen l'augment de la massa de les càrregues. Des d'un pla individual, els percentatges de disminució d'aquestes variables, constitueixen punts de referència per apreciar el domini de la tècnica en funció de càrregues cada vegada més pesades. Així, doncs, és possible localitzar punts de ruptura tècnica amb la finalitat d'organitzar més rigorosament l'entrenament. Aquests punts de ruptura poden situar-se sobre les variables d'altura (A. màx.,  $A/T$  i  $A/LP$ ) o de velocitat ( $V_{màx.}$  i  $V.$  mit.) Aquestes variables estan en estreta relació entre elles i les dades obtingudes del sistema halterofilista-barra ( $F_{z1}/F_{z0}$ ,  $T_{z3}-T_{z1}$  i  $T_{z2}-T_{z1}$ ); seria convenient ajustar aquests resultats per optimitzar la marca.

Aquestes informacions representen paràmetres de comparació originals per ajustar la tècnica. La qualitat tècnica de les estirades de cada halterofilista pot apreciar-se mitjançant la comparació de les corbes dinàmiques i de les trajectòries de la barra. Per enriquir aquest estudi i en concret els models biomecànics dels aixecaments (Burdett, 1982; Grieve, 1977), seria interessant associar a les anàlisis, tot sovint mecàniques, interpretacions fisiològiques amb l'ajuda d'electromiografies (Enoka, 1988; Lee *et al.*, 1995) Sembla oportú utilitzar-les per descriure i analitzar les estirades dels millors halterofilistes mundials, amb la finalitat d'obtenir invariants tècniques. A més a més, aquests tipus de mesura, realitzada a partir d'una població més nombrosa i repertoriada per categories de pes (amb càrregues al màxim), hauria de perfeccionar aquesta aproximació.

Per acabar, podríem dir que l'anàlisi de l'estirada a partir del registre de forces verticals sobre plataforma de forces, és un indicador tècnic privilegiat. La recollida de les variables i de les constants tècniques, a partir de programes d'anàlisi d'imatges de vídeo, hauria de desembocar en altres perspectives i més concretament en el camp de l'optimització de la coordinació motriu.

### Conclusió

Aquest estudi biomecànic d'heterofilistes de nivell internacional permet, mitjançant la sincronització d'imatges de vídeo i de valors dinàmics i cinemàtics, comparar les marques. La comprovació de l'existència de tres punts crítics sobre les corbes de força en l'execució de l'estirada, revela la tendència sobre les variables calculades i la possibilitat de modelització (Brenière *et al.* 1981, Brenière, 1992). Quan la finalitat de cada halterofilista és idèntica, és a dir, aplicar a la barra una força amb la finalitat de comunicar-li una major velocitat vertical, per així col·locar-s'hi a sota, s'ha observat que nombroses variables evolucionen. Cal apuntar principalment, la influència del punt crític ( $T_{z1}$ ,  $F_{z1}$ ) sobre els altres punts i per tant sobre el resultat de l'estirada. Quan els halterofilistes s'acosten a les seves màximes, tot conservant els mateixos patrons cinemàtics i dinàmics, la relació de força  $F_{z1}/F_{z0}$ , la mesura  $T_{z3}-T_{z1}$  i les variables d'alçada i velocitat, evolucionen. Els nombrosos paràmetres que intervenen en l'estirada d'arrancada mostren la complexitat d'aquest moviment i la dificultat de fer-lo model, tenint en compte les sinèrgies biomecàniques i els factors antropomètrics i fisiològics.

### Agraïments

El nostre especial agraïment al president Bernard Soto, a l'entrenador Bernard Garcia i als atletes del club d'heterofil·lia de Clermont l'Hérault (Campió de França el 1995 i el 1997) que ens ha permès de realitzar aquest experiment.

## Bibliografia

- BAUMANN, W.; GROSS, V.; QUADE, K, GALBIERZ, P; SCHWIRTZ, A. (1988), "The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 World Championships", *International Journal of Sport Biomechanics*, 4, pp. 68-69.
- BRENIÈRE, Y. (1992), "La biomécanique du geste sportif", *Recherche*, 254, pp. 888-981.
- BRENIÈRE, Y.; DO, M.; GATTI, L.; BOUISSET, S. (1981), "A dynamic analysis of the squat snatch". In Morecki A, Fidelus K, Kedzior K, Wit A, eds. *Biomechanics Vol. VII-B University Park Press, Baltimore*. pp. 293-299.
- BROWN, E.; ABANI, K. (1985), "Kinematics and kinetics of the dead lift in adolescent power lifters", *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, pp. 554-562
- BURDETT, R. (1982), "Biomechanics of the snatch technique of highly skilled and skilled weightlifters", *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53, pp. 193-197.
- CAMPILLO, P.; CHOLLET, D.; MICALLEF, J.P. (1997b), "Evolutions des variables cinématiques et dynamiques lors du tirage à l'arraché en haltérophilie", *Cinésiologie*, 176, pp. 197-202.
- (1996), "Force-Velocity Relationships in weightlifting during the snatch pull". *First Annual Congress Frontiers in Sport Science. The European Perspective*, Niza, 28-31 Mayo.
- (1997c), "Evolution of the kinematic and dynamic variables during the snatch pull in weightlifting". *IV<sup>e</sup> International Olympic Committee world Congress on Sport Sciences*, Mónaco, 22-25 octubre.
- (1997a), "Las diferentes fases del tirón de arranque en halterofilia", (*RED*) *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 2, pp. 5-10.
- ENOKA, R. M. (1979), "The pull in olympic weightlifting", *Medicine and Science in Sports*, 11, pp. 131-137.
- (1983), "Muscular control of learned movement: the speed control system hypothesis", *Experimental Brain Research*, 51, pp. 135-145.
- (1988), "Load and skill-related changes in segmental contributions to a weightlifting movement", *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, pp. 178-187.
- GARHAMMER, J. (1980), "Power production by olympic weightlifters", *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, pp. 54-60.
- (1982), "Energy flow during Olympic weight lifting", *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14, pp. 353-360.
- (1985), "Biomechanical profiles of olympic weightlifters", *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, pp. 122-130.
- (1991), "A comparison of maximal power outputs between elite male and female weightlifters in competition", *International Journal of Sport Biomechanics*, 7, pp. 3-11.
- GARHAMMER, J.; WHITING, W. C. (1989), "Comparison of three data smoothing techniques for determining weightlifting kinematics", *Scandinavian Journal of sports sciences*, 11, pp. 97-104.
- GONZÁLEZ BADILLO, J. J. (1991), *Halterofilia*. Comité Olímpico Español i Federació Espanyola de Halterofilia, Espanya.
- GRIEVE, D. W. (1977) "The dynamics of lifting", *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 5, pp. 157-179.
- ISAKA, T.; OKADA, J.; FUNATO, K. (1996), "Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite asian weight lifters", *Journal of Applied Biomechanics*, 12, pp. 508-516.
- JAWOREK, K. (1992), "Methods of evaluation of the power developed in a man's leg during normal walking". Dins *Proceedings of 9th CISM-IFTOMM Symp. on Theory and Practice of Robots and Manipulators*. Warsaw University of Technology, Warsaw, Polònia.
- JAWOREK, K. (1993), "A simplified assessment's method of human gait". Dins *Proceedings of 2rd Polish-Italian seminar*. Warsaw University of Technology, Warsaw, Polònia.
- LEE, Y. H.; HUWANG, C. Y.; TSUANG, Y. H. (1995), "Biomechanical characteristics of preactivation and pulling phases of snatch lift", *Journal of Applied Biomechanics*, 11, pp. 288-298.