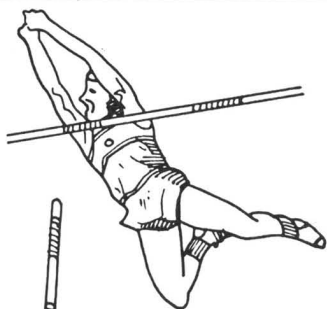




PLATAFORMA DE FORCES. UN EXEMPLE PRÀCTIC DE LA SEVA UTILITZACIÓ EN L'ANÀLISI DE LES TÈCNIQUES ESPORTIVES

Carlos Sebastián López, Enrique Navarro Cabello, Enrique González Candelas, Departament d'Estructura i Anàlisi del Moviment Humà i la Tècnica Esportiva. Assignatura de Biomecànica. INEF. Madrid.

1. Introducció

La investigació en el camp de l'alt rendiment passa per l'anàlisi exhaustiva de les tècniques esportives, tant des del punt de vista general (elaboració d'una sèrie de patrons motors considerats idonis, que conformen la tècnica) com des del punt de vista particular (avaluació de la tècnica individual dels esportistes per a la seva posterior correcció i millora parant esment a les condicions particulars de cada atleta).

En el camp de la Biomecànica, camp al qual es refereix aquest article, la investigació, en la majoria dels casos, requereix un tipus d'instrumentació amb un cost normalment superior al presupostat per les entitats públiques i privades per destinar-lo a aquesta matèria.

El problema s'agreuja per la manca de tecnologia pròpia i la necessitat d'importar el material d'aquest tipus que fa que augmenti, encara més, el seu cost intrínsec.

Aquests problemes comencen a pal·liar-se gràcies a l'esforç dels que, creient en la necessitat d'aquest tipus d'investigació, es dediquen al desenvolupament d'una tecnologia que ens permet de disposar d'instruments d'ús ja corrent en altres països, i a dissenyar-ne de nous per tal de cobrir les necessitats específiques de cada projecte. Aquest és el cas del "Instituto de Biomecànica de la Universidad Politécnica de Valencia", dissenyadors i constructors de la "Plataforma de



Fuerzas MAN", amb la que compta l'INEF de Madrid gràcies a la seva adquisició per part del "Instituto de Ciencias de la Educación Física y el Deporte".

2. Possibilitats d'aplicació d'una plataforma de forces

En general, les plataformes de forces s'han utilitzat en l'estudi dels salts (de llargada, triple, d'alçada de trampolí i palanca, acrobàcies gimnàstiques, etc.). Essent aquesta una de les aplicacions més clares i evidents d'aquest aparell, les possibilitats s'extenen a tot tipus de tècnica esportiva en la qual les forces sobre el pla de suport tinguin rellevància en la seva avaluació. Un exemple clar d'aplicació d'aquest tipus de tècnica seria l'halterofília.

Amb una plataforma de forces es pot obtenir, a manera de grans trets, la següent informació:

Informació quantitativa:

- Temps d'actuació de la força objecte d'estudi.
- Variació d'aquesta força respecte al temps (corbes Força-temps).
- Ús de les corbes Força-temps pel càlcul d'altres paràmetres tals com: impuls mecànic, velocitat del centre de gravetat, etc.

Informació qualitativa:

- Comparació de diferents corbes F-t realitzades per un mateix esportista utilitzant diferents variacions de la tècnica.
- Comparació de diferents corbes F-t realitzades per diferents esportistes executant el mateix gest tècnic.
- Utilització conjunta amb altres sistemes de presa de dades (mètode cinematogràfic) per a l'obtenció de models matemàtics de la tècnica i la simulació de noves variacions).



- Anàlisi de la continuïtat en l'aplicació de les forces. Aquesta dada, en cada instant, ens pot proporcionar informació referent a l'estat dels grups musculars que estan actuant.
- Per últim, les corbes F-t, serveixen per a desenvolupar criteris per a l'avaluació de l'execució i el desenvolupament de la tècnica.

3. Característiques tècniques. Descripció de la Plataforma de Forces MAN

MAN és una plataforma de forces que permet la mesura, el registre i l'anàlisi

de les forces generades en execucions esportives.

El sistema està constituït pels següents components:

- Plataforma de forces.
- Equip d'adquisició de dades.
- Ordinador.
- Impressora.
- Disc de programes.
- Manuals.

La plataforma de forces consta de dues plaques d'aliatge d'alumini unides entre elles mitjançant quatre captadors de força tridimensionals. La superfície útil de mesura és de 600 x 450 mm i l'alçada total és de 72 mm.

Els captadors estan construïts amb

acer inoxidable amb geometria en forma d'anell octogonal i instruments amb galgues extensomètriques de forma que permetin construir vuit ponts de mesura de forces:

- 4 forces verticals corresponents a cada captador: $Fz1$, $Fz2$, $Fz3$ i $Fz4$.
- 2 forces anteroposteriors: $Fx12$ i $Fx34$.
- 2 forces transversals $Fy13$ y $Fy24$.

Cada captador està dotat de dues galgues que configuren dos ponts de mesura: un per la força vertical i un altre per la força horitzontal.

A partir de les forces mesurades és possible d'avaluar les tres components de

la resultant de les forces (F_x , F_y , F_z , el par torsor en el pla horitzontal (T_z) i el punt d'aplicació de la resultant (x , y), mitjançant les expressions:

$$F_x = F_{x12} + F_{x34}$$

$$F_y = F_{y13} + F_{y24}$$

$$F_z = F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} + F_{z4}$$

$$x = \frac{(F_{z2} + F_{z4}) \cdot a - F_y \cdot h}{F_z}$$

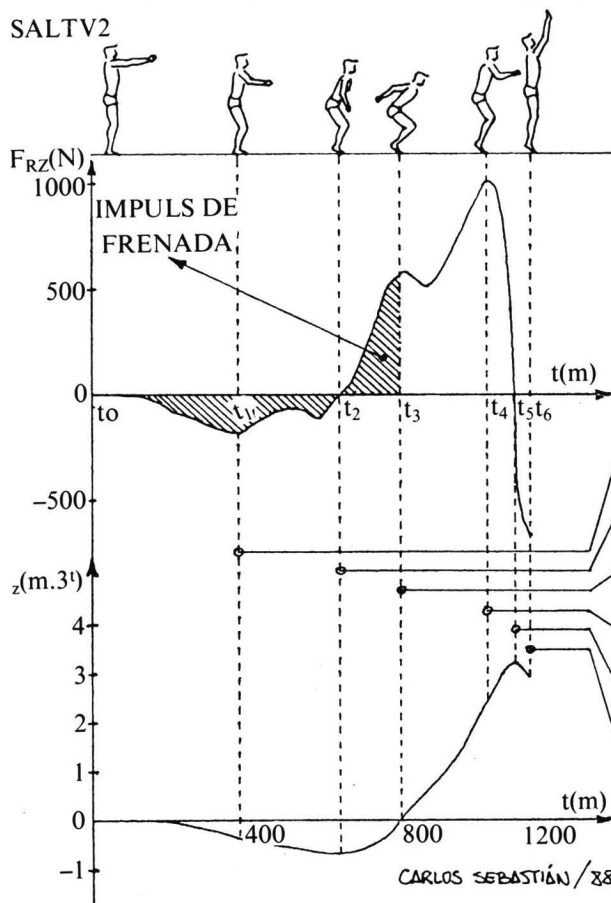
$$y = \frac{(F_{z1} + F_{z2}) \cdot b - F_x \cdot h}{F_z}$$

$$T_z = F_{x12} \cdot b + F_{x34} \cdot a - F_{y24} \cdot a - F_{y13} \cdot b$$

Essent "a" la distància anteroposterior entre captadors, "b" la distància transversal entre captadors i "h" la distància vertical entre la superfície de suport i el centre de càlcul del captador. Els senyals generats per la plataforma seran amplificats per tal de realitzar-ne el seu posterior multiplexat i la conversió digital sota el control de l'ordinador.

D'aquesta manera, la informació obtinguda referent a la magnitud, direcció i punt d'aplicació de la força realitzada sobre la plataforma, s'emmagatzemarà a la memòria de l'ordinador.

SALTV2



$$F_{RZ} = F_z - P$$

$$I_{RZ} = 0 \int_{t_0}^{t_i} (F_z - P) dt$$

RELACIÓ ENTRE LES CORBES FORÇA-TEMPS LA VELOCITAT DEL C.D.G. I LA POSICIÓ APROXIMADA DEL SALTADOR A CADA INSTANT

$F_{RZ} < 0$ (MÍNIM) $\Rightarrow a_z$ MÍNIM $\Rightarrow$ MÀXIM AUGMENT DE LA VELOCITAT DESCENDENT DEL C.D.G.

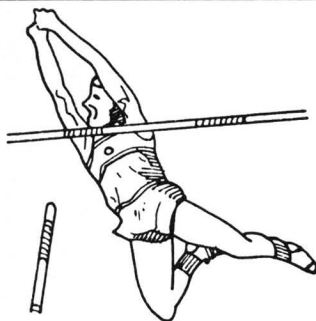
$F_{RZ} = 0 \Rightarrow a_z \geq 0$ d $v_z = 0 / dt = 0$ v_z MÍNIM $\Rightarrow$ EL C.D.G. DESCENDEIX A VELOCITAT MÀXIMA

$I_{RZ} = 0 \Rightarrow \int_{t_0}^{t_s} F_{RZ} dt = 0 \Rightarrow m v_{z3} - m v_{z0} = 0$; COM $v_{z0} = 0 \Rightarrow v_{z3} = 0 \Rightarrow$ POSICIÓ MÉS BAIXA DEL C.D.G.

$F_{RZ} > 0$ (MÀXIM) $\Rightarrow a_z$ MÀXIM $\Rightarrow$ MÀXIM ÀUGMENT DE LA VELOCITAT ASCENDENT DEL C.D.G.

$F_{RZ} = 0 \Rightarrow a_z = 0 \Rightarrow d v_z / dt = 0 \Rightarrow v_z$ MÀXIM $\Rightarrow$ EL C.D.G. ASCENDEIX A VELOCITAT MÀXIMA

$F_{RZ} = -P \Rightarrow F_z$ APLICADA SOBRE LA PLATAFORMA $= 0 \Rightarrow$ INSTANT DE L'ENLAIRAMENT



Prestacions:

- Velocitat de mostreig programable des d'1 a 1000 mostres per segon i canal.
- Temps mínim entre mostres = 1 ms.
- Temps total de mesura determinat per un nombre total de 1000 mostres per canal.
- Precisió de 0.39% en la mesura de les forces.
- Freqüència natural de vibració superior a 400 Hz.

Utilització:

La utilització de la plataforma es fa mitjançant un microordinador amb microprocessador 8086 funcionant a 8 Mhz i amb un monitor de gràfics de color i d'alta resolució.

El programa permet el mesurament i l'obtenció de dades, el seu emmagatzemament en el disc i el seu tractament i representació gràfica o numèrica tant per pantalla com per impressora.

El mesurament pot disparar-se de tres maneres: des del teclat, automàticament per inici de la càrrega i per control d'un senyal extern (generalment una cèl.lula fotoelèctrica).

Per a la sortida dels resultats es disposa de quatre opcions gràfiques, l'opció de resultats numèrics i el càlcul directe de l'impuls mecànic.

- L'opció de *gràfiques força-temps* mostra quatre corbes corresponents a les tres components de la força i el moment torsor en el pla horitzontal, en funció del temps.

- L'opció de *gràfiques distància-temps* ofereix les corbes de les dues components del punt d'aplicació de la força en funció del temps.

- La *gràfica del punt d'aplicació* mostra com evoluciona aquest punt sobre una reproducció de la superfície de suport de la plataforma.

- A la *gràfica de forces 3D* es mostra una perspectiva de la representació

vectorial de la força aplicada sobre la traça del punt d'aplicació dibuixada també sobre la plataforma.

En les gràfiques hi ha la possibilitat de configurar la imatge alterant els valors mínims i màxims o la posició dels eixos de coordenades, els textos i el format dels números. També se'n pot obtenir una còpia impresa i moure el cursor per sobre la gràfica amb indicacions en la finestra superior dreta dels valors associats a aquesta posició del cursor.

- Mitjançant l'opció de *resultats numèrics* es mostra la informació, en forma numèrica, de les forces, del moment torsor, les distàncies i el temps. Aquest conjunt de dades permet calcular altres paràmetres no considerats pel programa i la quantificació de la informació mostrada per les gràfiques.

- L'opció de *càlcul de l'impuls mecànic* proporciona els valors d'aquest impuls en els tres eixos i el valor total entre els instants definits prèviament.

Configuració:

El programa permet la configuració de l'equip definint el valor de tots els seus paràmetres bàsics, tant de paràmetres de càlcul com de representació.

4. Exemple pràctic.

Verificació del principi de la força inicial

Com a exemple clar d'aplicació de la plataforma de forces s'ha escollit la realització d'un salt vertical amb els peus junts i fet segons tres tècniques diferents. Mitjançant l'anàlisi dels resultats d'aquests tres salts s'intentarà verificar el principi de la força inicial enunciat per Hochmuth (1973).

Aquest principi afirma que "un moviment amb el que cal aconseguir una velocitat final elevada (el salt, el llan-

çament, etc.) ha d'anar precedit d'un moviment d'impuls que va en sentit contrari. Mitjançant la frenada del moviment en sentit contrari, al començament del moviment pròpiament dit, ja es disposa d'una força positiva per a l'acceleració, quan la transició es realitza fluidament. Amb això, l'impuls total d'acceleració és major. La relació entre els impulsos de frenada i d'acceleració ha d'ésser òptima.

A causa de les particularitats biomecàniques de l'aparell locomotor humà i de les condicions biològiques de les contraccions musculars, el màxim de força s'ha d'assolir en la fase de l'impuls d'acceleració".

4.1. Realització de la prova

Es realitzaren tres salts verticals:

El primer salt (SALT V1) sense moviment previ (extensió vigorosa dels dos membres inferiors partint des de la flexió dels genolls).

El segon salt (SALT V2) es realitzà des d'una posició de partida amb els genolls en extensió i els braços enfront. Des d'aquesta posició es realitzà una flexió de genolls per estendre'ls a continuació, passant d'un moviment a l'altre sense parar (fluidament). Aquest moviment s'acompanyà d'un balanç de braços.

El tercer salt (SALT V3) es realitzà amb la mateixa tècnica que el segon però realitzant una flexió profunda de cames.

En els tres salts, la caiguda es realitzà sobre la mateixa plataforma.

Es va configurar la presa de dades amb els següents valors:

- Freqüència de mostreig (temps entre mostres) = 4 ms.

- Nombre total de mostres = 500

Aquests dos paràmetres ens determinen un temps total de mesura de 2 segons, temps que permet un marge suficient per a la realització del salt.

4.2. Resultats i discussió

Seguidament s'exposen les tres corbes F-t corresponents als tres salts realitzats així com una mostra de la sortida de resultats numèrics obtinguts, en aquest cas, per tal d'abreujar-ho, cada 40 m i el càlcul de l'impuls mecànic en els tres eixos i total.

Corbes Força-temps

En les corbes F-t s'hi ha assenyalat, amb una línia horitzontal, la força corresponent al pes de l'individu (662 N). L'impuls mecànic, com ja és ben sabut, s'identifica a les gràfiques F-t com l'àrea compresa entre la corba i l'eix de les X. La força que impulsa el saltador cap amunt és la resultant de restar la força vertical que registra la plataforma del pes:

$$F_{rz} = f_z - p$$

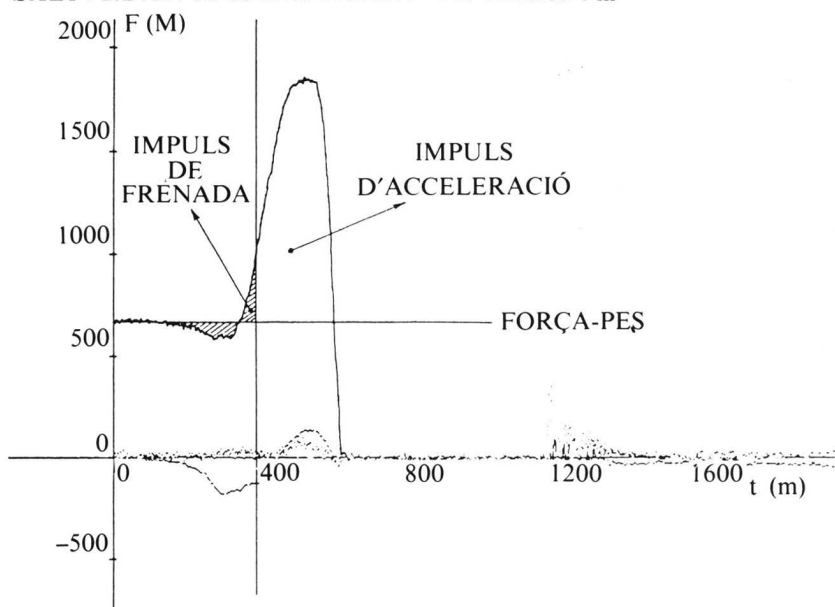
– La gràfica de SALT V1 hauria d'haver consistit en un augment de la força (coincidint amb l'instant en què l'individu comença a estendre els genolls) per a disminuir tot seguidament, a mesura que el c.d.g. es va aixecant fins arribar a l'enlairament, moment en què l'enregistrament de força vertical ha de fer-se nul·la.

No obstant s'observa que hi ha hagut un petit descens involuntari del c.d.g. i que es va repetir malgrat que es varen realitzar tres intents.

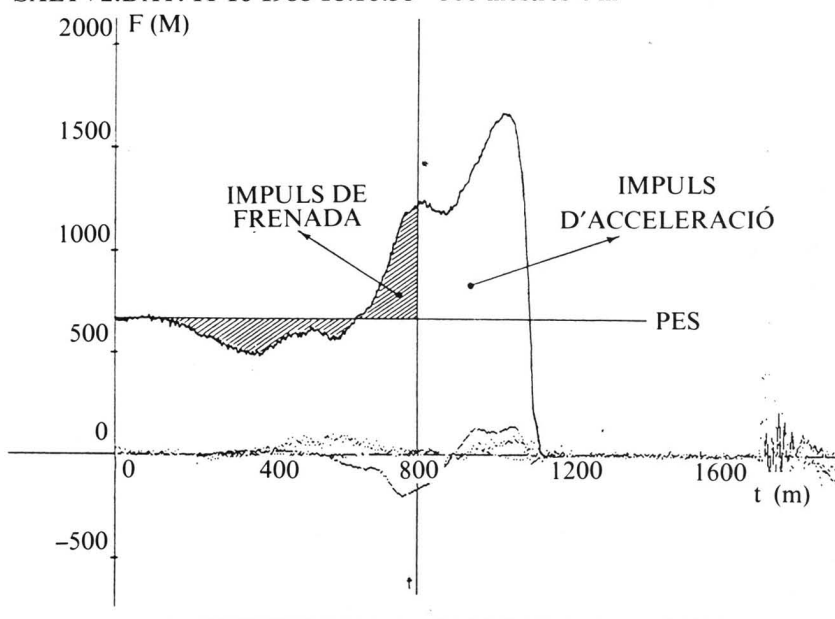
La possible explicació d'aquest fet podria ser que el coneixement previ per part del subjecte de la tècnica més correcta fes que aquesta s'efectués inconscientment.

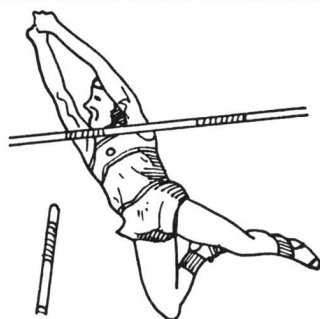
– En el segon salt (SALT V2), el subjecte relaxa inicialment els grups musculars que mantenen la posició erecta, de manera que el c.d.g. baixa. La força que registra en aquests moments la plataforma és de menor magnitud que el pes. Per a frenar el descens, l'individu torna a contreure els grups musculars prèviament relaxats, amb la qual

SALT V1.DAT. 11-16-1988 17:44:14 500 mostres 4 m



SALT V2.DAT. 11-16-1988 18:16:38 500 mostres 4 m





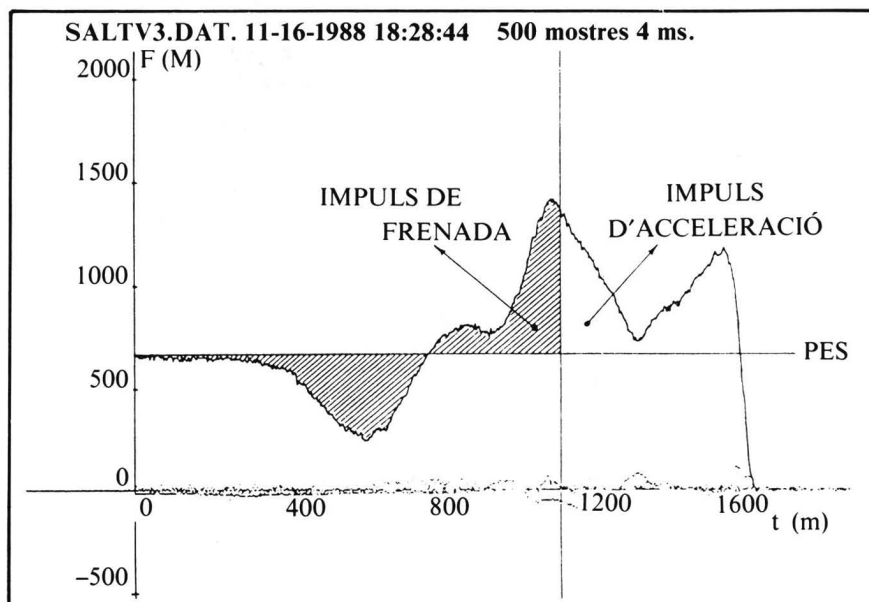
	SALTV2.DAT	11-16-1988	18:16.38	500 mostres	4 ms	
T (ms)	Fx (N)	Fy (N)	Fz (N)	Tz(dNm)	Dx (mm)	Dy (mm)
20,0	0,6	6,3	654,4	9,9	322,7	391,3
60,0	5,6	-9,1	668,1	14,0	324,8	383,7
100,0	-3,8	-8,8	664,4	13,4	326,0	335,8
140,0	-4,4	-10,3	656,6	-1,1	320,1	386,0
180,0	-9,7	-4,7	646,9	22,5	318,7	386,0
220,0	-8,8	-6,9	604,4	-3,3	314,5	381,2
260,0	-5,2	-7,5	575,0	-16,8	300,4	389,9
300,0	9,4	-5,6	532,8	-2,3	294,9	381,0
340,0	15,9	-5,3	500,6	-3,8	306,7	392,5
380,0	20,9	-1,3	505,0	15,6	297,1	385,4
420,0	14,4	0,9	519,4	32,0	277,6	386,8
460,0	16,6	4,4	567,5	51,5	287,2	398,8
500,0	15,6	2,2	591,3	73,5	286,3	401,8
540,0	10,3	6,9	919,7	78,5	289,7	401,2
580,0	-6,9	2,2	593,1	84,7	302,4	408,5
620,0	-40,9	1,3	587,2	94,7	310,9	405,1
660,0	-68,3	-5,0	666,9	82,5	328,3	410,4
700,0	-61,3	13,4	728,4	33,9	343,8	408,4
740,0	-105,0	12,5	902,8	24,2	344,5	408,3
780,0	-194,1	10,9	1133,8	34,2	330,4	418,9
820,0	-172,2	31,6	1213,1	11,5	340,7	420,5
860,0	1143,4	22,2	1230,6	33,0	350,3	420,3
900,0	-59,4	9,7	1179,4	-45,1	364,0	412,0
940,0	39,1	13,1	1291,6	-12,8	393,4	408,2
980,0	127,8	34,7	1419,7	52,1	403,9	401,3
1020,0	114,7	22,2	1555,6	35,5	406,8	405,3
1060,0	121,9	-6,6	1671,3	68,8	406,4	405,8
1100,0	122,4	-19,1	1511,6	63,3	409,9	410,0
1140,0	-38,8	0,0	234,1	32,2	432,0	444,3

cosa la força que registra la plataforma augmenta. El moviment descendent acaba quan l'impuls resultant de les forces superiors al pes, s'iguali amb l'impuls resultant de les forces inferiors al pes. L'impuls mecànic positiu que detura el descens del c.d.g., fent que l'impuls vertical resultant sigui nul en aquest instant, s'anomena "impuls de frenada".

D'aquesta manera s'aconsegueix que, quan comença l'impuls d'acceleració

pròpiament dit, ja existeix una força inicial positiva que aconseguirà que l'esmentat impuls sigui major que si no hagués existit aquest moviment previ de flexió de cames en sentit contrari al del moviment definitiu del salt. Aquest fet té el seu fonament fisiològic en el "reflex miotàtic", que consisteix en la contracció automàtica d'un múscle quan és elongat. En aquest cas, el quadríceps es contreu quan és elongat en flexionar els genolls.

– En el tercer salt (SALTV3) es realitza una flexió profunda de cames, cosa que origina un brusc descens del c.d.g., que necessita d'un impuls de frenada massa gran. De fet, la força vertical de major magnitud es produeix dintre de l'impuls de frenada, per a frenar el descens del centre de gravetat. Donat que la màxima força que pot desenvolupar un múscle no pot ésser mantinguda indefinidament, durant l'impuls d'acceleració, aquesta



força disminueix, donant com a resultat un impuls d'acceleració de menor magnitud que en el salt anterior.

L'explicació teòrica prèvia es veu corroborada pels resultats obtinguts, que s'exposen a continuació:

La velocitat vertical d'enlairament i l'altura de cada salt s'han calculat a partir de les expressions:

$$V_y = \frac{I_{zr}}{m} \quad h = \frac{V_y^2}{2g}$$

I_{zr} = Impuls resultant

$$m = \text{massa} = \frac{P}{g}$$

El salt amb el qual s'ha aconseguit un major impuls vertical és l'anomenat SALTV2 i, per tant, el salt amb major velocitat d'enlairament i amb el qual s'ha assolit la màxima alçada (44.1 cm). A més, la força màxima s'ha produït dintre de l'impuls d'acceleració.

El salt que es realitzà directament des de la flexió de genolls (SALTV1) malgrat fer-se sense moviment previ, és més eficaç que el realitzat amb un moviment de flexió profunda (SALTV3) car, encara que gairebé no compta amb força inicial de cara a la seva realització, la força augmenta de forma continuada, cosa que no succeeix amb el SALTV3, en el qual es necessita un impuls de frenada massa gran. Així doncs, l'impuls d'acceleració, la velocitat d'enlairament i l'altura del salt (35.5 cm) foren majors que els del SALTV3 que només aconseguí 24.5 cm. Per últim, sobre la gràfica de SALTV2 mostrem la correspondència existent entre la corba F-t, la variació de la velocitat del c.d.g. respecte al temps, la posició aproximada del saltador en els instants més significatius i l'explicació de com es produeix el salt. La corba Velocitat-temps s'ha obtingut agafant com a dada l'impuls en cada instant significatiu.

7 SALTV1.DAT 11-16-1988 17:44:14 500 mostres 4 ms
Impuls mecànic des de t = 4 fins a 640 ms

I_x	I_y	I_z	I_t	N.s.
-17.45875	6.28375	599.1138	599.401	N.s.

Impuls mecànic resultant ($I_{zr} = I_z - \text{pes-t}$). Pes = 662 N.
 $I_{zr} = 178.08$ N.s.

7 SALTV2.DAT 11-16-1988 18:16:38 500 mostres 4 ms
Impuls mecànic des de t = 4 fins a 1164 ms

I_x	I_y	I_z	I_t	N.s.
-10.80625	3.91375	966.4275	966.4959	N.s.

Impuls mecànic resultant ($I_{zr} = I_z - \text{pes-t}$). Pes = 662 N.
 $I_{zr} = 198.51$ N.s.

7 SALTV3.DAT 11-16-1988 18:28:44 500 mostres 4 ms
Impuls mecànic des de t = 4 fins a 1692 ms

I_x	I_y	I_z	I_t	N.s.
-9.15125	14.35875	1265.285	1265.4	N.s.

Impuls mecànic resultant ($I_{zr} = I_z - \text{pes-t}$). Pes = 662 N.
 $I_{zr} = 147.83$ N.s.

BIBLIOGRAFIA

HAY, J.G.: *The Biomechanics of Sports Techniques*. 2nd ed. Ed. Prentice Hall. New York, 1978.

HOCHMUTH, G.: *Biomecánica de los movimientos deportivos*. Ed. Doncel (INEF). Madrid, 1973.

HOYOS, J.V. y otros.: *Manual de Usuario de la Plataforma de Fuerzas MAN*. Instituto de Biomecánica de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 1988.

RAMEY, M.R.: "Biomechanics of The Long Jump and Triple Jump". *Biomechanics In Sports* pp. 251-265. Ed. by Juris Terauds. Academic Publishers. Del Mar, California, 1982.

RAMEY, M.R.: "The Use of Force Plates for Jumping Research". *Biomechanics In Sports*. pp. 81-92, Ed. by Juris Terauds. Academic Publishers. Del Mar, California, 1982.

NOTA: Característiques tècniques proporcionades per Juan Víctor Hoyos, Doctor Enginyer Industrial, membre de l'Institut de Biomecànica de la Universitat Politècnica de València.