

VALORACIÓN DE LA MUSCULATURA FLEXOEXTENSORA DE LA RODILLA A LO LARGO DE UNA TEMPORADA DEPORTIVA

KNEE FLEXOR-EXTENSOR MUSCULATURE ASSESSMENT THROUGH A SPORTS SEASON

Blanca
Méndez
Suárez
Miguel del
Valle Soto

RESUMEN

La dinamometría isocinética permite cuantificar la fuerza muscular de una articulación a velocidad constante. Una de las articulaciones más implicadas en las actividades deportivas es la articulación de la rodilla, por lo que la valoración de la fuerza flexoextensora de esta articulación ha sido muy estudiada.

El objetivo de nuestro estudio es la valoración de fuerza y trabajo muscular en tres grupos de atletas (saltadores de longitud, lanzadores de jabalina y velocistas) en tres momentos de una temporada deportiva en un dinamómetro isocinético Kin-Com, en ambas rodillas con la finalidad de comprobar si existen diferencias en la fuerza muscular entre los tres grupos de atletas, variaciones dentro de cada grupo a lo largo de la temporada y si los cambios se producen de igual forma en rodilla derecha o izquierda dependiendo de su implicación en gestos específicos.

Los parámetros evaluados son momento máximo de fuerza, trabajo desarrollado en todo el rango de movimiento y trabajos específicos desarrollados entre 5 y 45° y entre 45 y 85°.

Los resultados demuestran que los cambios en la fuerza muscular de la articulación de la rodilla son más significativos en los parámetros de trabajo que en el momento máximo de fuerza, no encontrándose una correspondencia en el comportamiento, a lo largo de la temporada, de estas variables.

Los valores de fuerza en los lanzadores son mayores que en los otros dos grupos de atletas. Los saltadores y lanzadores mejoran o mantienen la fuerza a lo largo de la temporada, en tanto que en los velocistas disminuye. En los tres grupos de atletas, las diferencias son más significativas para los músculos flexores que para los extensores.

El parámetro que mejor define los gestos específicos de las distintas modalidades atléticas es el trabajo muscular desarrollado entre los 5 y 45° de flexión de rodilla.

Palabras clave: Dinamometría. Isocinéticos. Rodilla. Biomecánica. Atletismo.

SUMMARY

Isokinetic dynamometry allows us to quantify the muscular force of a joint at a constant speed. The joint most involved in sports activities is the knee joint, consequently, the flexor-extensor musculature of the knee joint has been researched extensively.

The objective of our study is to analyse muscular force and work in both knee joints, by means of an isokinetic dynamometer Kin-Com, in three groups of athletes (long jumpers, javelin throwers and sprinters), at three stages of the season, in order to ascertain whether there are any differences in the muscular force among the three groups of athletes, variations within each group through the season and whether the changes in force take place in the same way in the right or left knee depending on their implication in specific sports movements.

The parameters evaluated are; peak torque, work developed in the whole range of movement and specific work developed between 5° and 45° and between 45° and 85° of knee flexion.

Results demonstrate that changes in muscular force in the knee joint are more significant for work parameters than for peak torque. No correspondence was observed in the behaviour of these variables through the season.

Force values in javelin throwers are higher than in the other two groups of athletes. Long jumpers and javelin throwers improve or maintain the force throughout the season, however, this decreases in sprinters. The differences are more significant for flexor muscles than for extensor muscles throughout the season in all of the groups of athletes.

Muscular work developed between 5° and 45° of knee flexion is the parameter that best defines specific sports movements in each athletic discipline.

Key words: Dynamometry. Isokinetic. Knee. Biomechanics. Athletics.

CORRESPONDENCIA:

Escuela de Medicina del Deporte (Universidad de Oviedo). Catedrático Gimeno, s/n. 33007 Oviedo. Tel.: 985276540/41. E-mail: pixota@airtel.net.

Aceptado: 28-05-2002

INTRODUCCIÓN

Las modalidades atléticas de lanzamiento de jabalina, salto de longitud y carrera de velocidad, aunque diferentes entre sí, tienen en común ser actividades deportivas donde la fuerza y la velocidad adquieren gran importancia.

La implicación de la articulación de la rodilla en estas actividades deportivas ha hecho que el estudio de la fuerza muscular de cuádriceps e isquiotibiales, como principales músculos extensor y flexores respectivamente, tenga gran interés tanto para la cuantificación del entrenamiento como en prevención y rehabilitación de lesiones.

Uno de los estudios que nos permite cuantificar esta fuerza es la dinamometría isocinética o valoración de la fuerza muscular a velocidad constante. La mayoría de las investigaciones se han centrado en el estudio transversal de diferentes poblaciones deportivas¹⁻¹⁰ pero no existen referencias bibliográficas sobre la evolución de la fuerza y trabajo a lo largo de una temporada deportiva.

Tanto en la valoración de fuerza con fines clínicos como en la valoración del rendimiento deportivo, la variable más estudiada ha sido el momento máximo de fuerza (MMF), pero aunque puede tener una buena correlación con el trabajo realizado en todo el movimiento articular, no siempre es así, y puede no reflejar adecuadamente el desarrollo de tensión a través de un determinado rango de movimiento.

Algunos autores^{11,12}, además del estudio del MMF, han investigado la fuerza en ángulos específicos, teniendo en cuenta que los ángulos a los que obtiene el MMF pueden ser variables¹³ y que dentro de las actividades deportivas existen gestos específicos que las diferencian. Sin embargo, es difícil que un determinado gesto se realice siempre en los mismos ángulos y, además pueden variar ligeramente dentro de una especialidad deportiva; por ello nos parece más adecuado el estudio de trabajo específico que puede ser una referencia más fiable de un gesto deportivo¹⁴.

El objetivo de nuestro estudio es el análisis de la musculatura flexoextensora de la rodilla en tres modalidades atléticas (salto de longitud, lanzamiento de jabalina y carrera de velocidad) a lo largo de una temporada deportiva para ver si existen diferencias entre los tres grupos de atletas, si hay variaciones de la fuerza o trabajo según las fases de entrenamiento en cada grupo y si, dependiendo de gestos deportivos de cada modalidad atlética, la fuerza o trabajo de la musculatura flexoextensora de la rodilla derecha se modifica respecto a la izquierda.

Los parámetros estudiados son: momento máximo de fuerza, trabajo total, trabajo específico entre 5 y 45° de flexión y trabajo específico entre 45 y 85° de flexión.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se han valorado 30 deportistas (10 saltadores de longitud, 10 lanzadores de jabalina y 10 velocistas) en un dinamómetro isocinético Kin-Com (Chatta-nooga Group, Inc.) en tres momentos de la temporada: fin del entrenamiento general, principio de la competición y al final de la competición.

Todos los atletas (media de edad 22,87±2,60 años) dieron su consentimiento para realizar el estudio.

Antes de cada evaluación isocinética se realiza un estudio antropométrico en el que se valoran los siguientes parámetros: talla, peso, 6 pliegues cutáneos y los diámetros biestiloideo y bicondíleo femoral.

Las evaluaciones isocinéticas se realizaron a dos velocidades, 60 y 300°/s., empezando siempre a velocidad lenta y en la rodilla derecha. En primer lugar se evaluó la musculatura flexora seguida de la extensora.

El protocolo utilizado fue el siguiente:

- 3 contracciones submáximas concéntricas y excéntricas con 15" de descanso entre cada contracción, seguida de
- 3 contracciones máximas con 30" de descanso entre contracciones.
- Se evalúa primero la musculatura flexora seguida de la extensora a velocidad de 60°/s. (L); tras un descanso activo de 5', se evalúa a 300°/s. (R).
- Después de evaluar la rodilla derecha y tras un descanso activo de 10', se evalúa la rodilla izquierda con el mismo protocolo.

Las variables analizadas son las siguientes:

- Momento máximo de fuerza (MMF).
- Trabajo total (T), desde 5 a 85° de flexión.
- Trabajo específico 45 (45), desde 5 a 45° de flexión.

- Trabajo específico 85 (85), desde 45 a 85° de flexión.

El análisis estadístico se efectuó utilizando variables no paramétricas. Las diferencias entre los grupos de atletas se analizaron mediante los tests de Kuskall-Wallis y de Mann-Whitney. Las diferencias en cada grupo de atletas entre rodilla izquierda y derecha y entre dos evaluaciones se analizaron por el test de Wilcoxon.

Las diferencias encontradas se aceptaron como estadísticamente significativas cuando $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Valores

Los valores numéricos correspondientes a los pesos total y muscular de los 3 grupos de atletas se ven en la Tabla 1.

Los valores numéricos correspondientes a las variables isocinéticas estudiadas para el grupo de saltadores aparecen reflejadas en la Tabla 2; los del grupo de lanzadores en la Tabla 3 y los del grupo de velocistas en la Tabla 4.

Abreviaturas utilizadas en las Tablas 2, 3 y 4:

MMF: Momento máximo de fuerza.

T.T: Trabajo total.

T.45: Trabajo específico 45.

T.85: Trabajo específico 85.

FDC: musculatura flexora derecha; contracción concéntrica.

FDE: musculatura flexora derecha; contracción excéntrica

FIC: musculatura flexora izquierda; contracción concéntrica.

FIE: musculatura flexora izquierda; contracción excéntrica.

QDC: musculatura extensora derecha; contracción concéntrica.

QDE: musculatura extensora derecha; contracción excéntrica.

QIC: musculatura extensora izquierda; contracción concéntrica.

QIE: musculatura extensora izquierda; contracción excéntrica.

R: velocidad de 300°/s.

L: velocidad de 60°/s.

1, 2, 3: 1ª, 2ª y 3ª evaluación, respectivamente.

Diferencias entre poblaciones

Los lanzadores tienen un peso total y muscular mayor (con diferencias estadísticamente significativas) que los otros dos grupos. Los velocistas tienen un peso muscular significativamente mayor que los saltadores en las dos primeras evaluaciones.

Encontramos diferencias estadísticamente significativas entre lanzadores y los otros dos grupos de atletas para la contracción excéntrica a las dos velocidades y concéntrica

TABLA 1.-
Valores de los pesos total y muscular de saltadores, lanzadores y velocistas en 3 evaluaciones (1, 2 y 3) a lo largo de una temporada deportiva

		SALTADOR		LANZADOR		VELOCISTA	
		M	DS	M	DS	M	DS
PESO TOTAL	1	71,40	4,68	95,65	10,78	77,45	6,59
	2	73,28	5,21	96,05	11,39	77,85	6,49
	3	72,95	3,97	95,62	11,52	76,00	5,43
PESO MUSCULAR	1	36,40	2,63	48,48	5,65	40,40	3,45
	2	38,05	3,04	49,86	5,85	41,18	3,46
	3	37,80	2,35	50,16	6,11	39,92	2,68

a 60°/s en los dos grupos musculares en todas las variables analizadas.

En la contracción concéntrica a 300°/s no se observan diferencias estadísticamente significativas entre los tres

SALTADOR										
			MMF		TT		T. 45		T. 85	
			M	DS	M	DS	M	DS	M	DS
FDC	R	1	107,80	35,02	86,94	13,66	40,80	4,26	46,20	9,53
		2	108,60	24,59	91,00	13,02	41,58	4,86	49,42	8,59
		3	115,90	27,80	95,04	15,02	44,73	5,53	50,12	10,39
	L	1	112,70	25,53	147,28	31,03	76,23	13,91	71,05	19,31
		2	125,80	24,02	146,86	30,58	77,41	15,59	69,51	16,63
		3	125,70	24,02	141,26	29,78	77,62	16,39	63,63	15,59
FIC	R	1	102,70	23,83	83,22	14,38	39,33	6,94	43,97	8,59
		2	103,70	27,50	85,26	13,14	41,00	3,96	44,12	9,71
		3	107,90	24,91	85,68	12,88	39,13	5,63	46,62	7,40
	L	1	118,90	24,79	138,74	30,99	72,38	16,17	66,27	15,81
		2	125,90	24,91	141,66	37,40	75,53	19,55	65,97	18,28
		3	115,50	17,02	132,26	21,84	70,62	12,56	61,37	11,76
FDE	R	1	156,00	28,42	171,30	37,07	90,23	19,59	81,13	19,09
		2	155,90	28,01	169,68	29,46	90,16	15,79	79,52	14,36
		3	159,70	30,96	170,80	35,95	91,58	20,69	79,24	16,20
	L	1	145,80	43,28	173,46	39,99	97,65	23,81	75,67	17,70
		2	151,70	38,30	174,02	39,58	96,69	23,14	77,28	18,05
		3	159,40	44,12	173,60	49,29	98,84	29,92	74,83	21,26
FIE	R	1	156,00	45,00	164,50	42,71	89,18	26,27	75,32	17,16
		2	164,50	38,62	168,98	36,33	90,72	23,23	78,26	14,40
		3	161,40	18,98	169,12	25,02	89,74	13,92	79,32	12,25
	L	1	144,60	47,21	164,08	52,54	91,84	31,04	73,64	22,27
		2	156,20	46,63	170,66	49,56	100,10	30,76	71,26	19,42
		3	146,60	38,49	160,44	36,08	91,42	24,31	69,02	14,91
QDC	R	1	126,20	21,76	97,88	20,84	41,86	13,40	55,93	10,75
		2	125,70	20,17	98,56	24,63	44,23	15,52	54,39	10,40
		3	125,40	19,93	102,20	21,02	45,41	11,39	56,84	11,93
	L	1	205,40	50,16	187,18	44,22	66,91	17,32	120,26	28,09
		2	188,50	48,23	174,58	44,86	67,12	20,76	107,59	26,35
		3	199,20	36,98	177,24	39,00	65,88	23,08	111,23	19,57
QIC	R	1	127,00	23,47	105,38	25,77	46,90	13,49	58,44	13,56
		2	129,40	17,82	113,80	20,72	54,45	13,47	59,29	8,76
		3	127,60	17,54	116,20	16,51	55,87	8,62	60,16	10,60
	L	1	199,60	32,78	185,22	32,02	68,53	17,01	116,62	19,53
		2	194,00	35,52	188,10	37,50	76,37	22,02	111,65	17,84
		3	189,60	35,78	183,26	34,71	74,20	17,87	109,07	21,45
QDE	R	1	273,10	50,94	216,86	39,50	79,64	16,93	137,27	26,36
		2	279,40	49,64	219,66	37,79	76,66	18,49	143,15	21,16
		3	289,30	46,88	222,04	33,65	75,87	16,27	145,97	22,16
	L	1	271,40	75,49	235,20	54,29	77,15	15,25	158,20	42,64
		2	275,10	84,75	241,58	59,69	74,61	20,61	167,02	43,90
		3	307,50	69,36	249,06	56,50	73,48	20,86	175,36	41,64
QIE	R	1	271,00	58,52	228,00	42,25	86,03	16,72	141,89	31,36
		2	282,80	51,02	237,08	38,92	89,47	19,49	147,56	26,02
		3	289,30	46,88	230,86	35,47	85,47	18,23	145,45	21,42
	L	1	270,20	68,38	239,46	55,67	83,23	16,14	156,17	45,13
		2	299,20	74,90	260,26	58,43	83,30	21,18	177,06	43,40
		3	294,10	73,23	256,62	53,18	83,17	14,67	166,31	51,58

TABLA 2.-
Valores medios (M) y
Desviación standard
(DS) de fuerza y trabajo
a lo largo de una
temporada deportiva en
saltadores.
(Abreviaturas en
capítulo de resultados)

grupos, excepto en la musculatura extensora durante la última evaluación para las variables MMF y trabajo total.

En el trabajo específico 45 aparecen diferencias significativas entre lanzadores y las otras dos subpoblaciones en la

LANZADOR										
			MMF		TT		T. 45		T. 85	
			M	DS	M	DS	M	DS	M	DS
FDC	R	1	133,10	36,92	94,07	14,29	46,33	6,12	47,66	9,90
		2	125,30	23,16	110,46	27,02	54,11	13,14	56,35	16,17
		3	115,10	20,22	101,18	19,76	45,99	8,28	55,09	12,85
	L	1	156,00	27,75	177,80	29,88	95,27	17,43	82,48	14,78
		2	157,40	31,19	183,89	32,54	98,49	18,31	85,29	15,25
		3	156,60	25,74	183,04	31,82	96,81	15,70	86,05	16,85
FIC	R	1	141,00	30,08	89,88	18,79	44,37	7,30	45,77	12,47
		2	123,30	22,03	97,87	22,21	45,86	7,42	52,01	15,36
		3	122,40	14,99	98,56	18,17	46,90	7,62	51,66	11,26
	L	1	147,40	25,79	163,52	30,97	90,36	14,76	73,08	16,71
		2	157,90	22,20	174,23	31,83	94,94	16,81	79,24	16,06
		3	148,90	27,18	171,00	28,51	92,05	16,37	78,77	12,94
FDE	R	1	201,20	18,04	209,30	16,62	115,87	10,02	93,23	10,02
		2	215,70	19,26	223,65	17,40	126,82	10,18	96,87	10,38
		3	209,10	30,28	220,86	27,52	124,60	15,09	96,18	13,65
	L	1	207,20	26,19	226,28	33,92	128,17	21,00	98,01	17,72
		2	229,80	33,14	234,08	32,79	136,78	21,37	97,10	18,39
		3	211,40	55,69	239,26	49,55	142,10	31,62	97,14	20,28
FIE	R	1	203,20	28,18	198,10	28,29	110,18	15,42	87,92	13,20
		2	223,50	23,01	216,16	19,77	123,41	9,33	92,75	12,78
		3	198,80	39,94	205,66	25,54	116,51	16,35	89,12	10,15
	L	1	191,80	30,96	205,66	32,01	117,53	21,50	88,13	14,12
		2	228,10	36,81	236,60	33,37	143,36	24,72	93,24	14,70
		3	205,50	40,66	223,86	40,34	134,40	25,30	89,46	15,94
QDC	R	1	143,30	34,16	124,68	24,98	57,63	12,74	66,92	13,36
		2	144,80	24,83	122,21	27,07	57,40	16,73	64,83	13,36
		3	149,90	12,70	128,30	21,36	63,07	10,65	65,08	12,52
	L	1	249,50	53,42	231,42	34,57	84,00	15,32	147,49	27,72
		2	252,10	60,15	232,32	36,04	86,76	9,36	146,09	34,64
		3	259,40	45,99	243,32	36,04	96,00	15,51	147,07	25,48
QIC	R	1	136,50	37,47	118,37	40,87	56,98	22,80	61,25	18,95
		2	147,80	30,56	127,04	33,25	63,08	17,34	63,84	16,69
		3	148,80	18,05	136,62	28,19	66,38	15,02	64,33	14,12
	L	1	234,90	43,63	227,36	37,69	87,63	17,25	139,65	25,10
		2	248,40	54,91	236,89	33,61	90,65	12,87	146,03	29,84
		3	251,20	26,59	244,58	36,97	100,32	21,61	144,35	17,69
QDE	R	1	364,40	57,37	288,12	34,30	108,43	20,29	179,62	25,27
		2	396,60	58,06	296,66	33,38	103,45	21,20	193,13	17,71
		3	385,40	64,24	303,38	39,85	107,12	18,45	196,21	25,37
	L	1	377,90	66,72	325,64	59,92	105,07	21,09	220,50	44,84
		2	397,80	44,80	330,68	29,49	99,43	16,28	231,00	22,19
		3	405,80	37,95	337,26	36,10	98,97	15,75	239,14	22,92
QIE	R	1	346,80	100,47	285,10	77,56	111,12	28,45	173,88	57,67
		2	399,00	76,04	307,51	37,67	108,03	15,18	199,52	29,36
		3	356,20	61,18	296,66	51,74	111,30	24,76	185,43	31,18
	L	1	350,30	85,57	316,40	75,11	110,54	22,11	205,93	61,42
		2	391,60	71,54	336,14	45,22	101,92	17,05	227,16	43,50
		3	418,80	52,69	357,28	58,60	111,88	29,12	245,35	33,01

TABLA 3.-
Valores medios (M) y
Desviación standard
(DS) de fuerza y trabajo
a lo largo de una
temporada deportiva en
lanzadores.
(Abreviaturas en
capítulo de resultados)

contracción concéntrica a velocidad alta en cuádriceps derecho y en la última evaluación de cuádriceps izquierdo.

No se aprecian diferencias significativas entre saltadores y velocistas excepto en el trabajo específico 45 en los dos

			VELOCISTA							
			MMF		TT		T. 45		T. 85	
			M	DS	M	DS	M	DS	M	DS
FDC	R	1	129,00	35,60	100,84	19,74	47,18	9,00	53,55	10,82
		2	101,50	16,97	90,30	11,55	45,22	7,92	45,02	5,64
		3	107,50	28,46	86,56	17,36	40,95	7,80	45,47	9,93
	L	1	134,30	31,42	158,76	31,33	85,19	16,42	73,50	16,13
		2	133,50	27,29	146,24	24,42	87,93	31,77	68,18	15,31
		3	124,80	27,16	144,56	32,03	77,01	17,14	67,55	15,95
FIC	R	1	123,80	25,18	95,84	19,17	46,27	8,71	49,49	11,18
		2	108,50	19,22	91,58	18,34	44,69	8,71	46,69	10,15
		3	106,00	15,24	83,30	20,91	39,06	10,45	44,24	10,88
	L	1	134,90	37,20	158,90	42,99	85,88	22,11	73,08	21,07
		2	125,80	29,56	135,94	31,02	74,20	19,35	61,74	13,99
		3	119,50	27,83	134,96	32,29	72,23	18,54	62,80	15,22
FDE	R	1	178,50	40,02	182,98	42,68	99,07	24,82	83,95	18,14
		2	152,90	33,17	164,64	32,51	87,57	19,91	76,93	13,94
		3	144,30	32,68	158,48	42,49	83,38	24,12	75,04	18,75
	L	1	155,20	33,95	179,70	39,21	101,76	22,88	77,85	17,22
		2	144,10	28,12	168,56	30,32	94,70	16,99	73,83	15,44
		3	134,00	39,84	155,94	41,54	84,42	28,19	71,40	14,41
FIE	R	1	171,90	34,76	173,32	39,70	94,36	21,13	79,03	18,78
		2	152,60	25,45	165,48	30,54	87,92	16,51	77,56	15,98
		3	136,00	27,95	148,26	35,40	77,20	17,23	71,05	18,91
	L	1	156,90	30,21	177,80	38,87	97,16	19,68	80,64	19,55
		2	145,00	26,81	163,24	37,72	88,20	25,42	74,97	18,11
		3	133,30	26,10	152,88	32,01	84,14	15,65	68,74	17,43
QDC	R	1	127,30	20,21	107,67	15,53	47,41	8,48	60,20	9,56
		2	121,70	17,04	101,08	13,62	45,22	8,08	55,86	7,37
		3	115,60	13,15	96,32	13,01	43,36	7,96	52,92	6,27
	L	1	180,70	37,75	170,66	33,09	61,74	12,12	108,81	21,73
		2	189,40	34,56	166,82	24,17	58,53	8,72	108,13	16,90
		3	188,30	37,07	159,18	28,70	53,34	11,65	105,91	18,94
QIC	R	1	119,90	14,54	100,38	19,95	46,16	10,52	54,32	10,08
		2	124,80	15,92	105,62	21,46	49,72	14,08	55,79	9,21
		3	115,60	17,19	96,88	20,90	43,96	11,12	52,92	10,70
	L	1	189,80	46,19	175,70	32,91	60,34	14,13	115,36	23,47
		2	189,20	39,93	167,86	32,80	59,08	12,11	108,55	22,70
		3	188,90	34,05	168,28	29,57	59,08	12,28	108,99	18,37
QDE	R	1	304,30	40,00	232,33	32,67	92,40	13,49	139,93	26,78
		2	274,20	38,67	210,28	21,40	73,99	14,29	136,21	13,17
		3	268,80	55,45	206,78	31,13	70,35	12,81	136,36	25,61
	L	1	266,00	48,06	230,30	36,08	78,19	11,08	152,17	30,19
		2	282,90	54,54	224,42	43,83	70,70	12,25	153,72	38,54
		3	286,00	49,61	231,28	40,40	66,85	14,43	164,38	29,64
QIE	R	1	293,80	46,12	223,02	48,67	77,23	21,70	145,75	28,77
		2	297,90	49,92	227,58	42,02	77,78	19,78	149,81	24,88
		3	280,10	67,19	212,38	44,98	67,90	15,33	144,43	31,33
	L	1	297,10	72,06	247,52	45,66	74,77	14,72	172,72	35,79
		2	297,10	50,63	239,68	42,24	67,67	12,97	171,89	30,44
		3	318,30	61,19	245,56	37,69	65,50	8,03	180,18	33,15

TABLA 4.-
Valores medios (M) y
Desviación standard
(DS) de fuerza y trabajo
a lo largo de una
temporada deportiva en
velocistas.
(Abreviaturas en
capítulo de resultados)

tipos de contracciones y a las dos velocidades del cuádriceps izquierdo en la última evaluación.

Diferencias a lo largo de la temporada

Saltadores

Se observa un incremento estadísticamente significativo en el trabajo concéntrico total y específico 45 de la musculatura flexora derecha a 300°/s. (Figura 1).

Lanzadores

Hay un aumento significativo en el trabajo total de la musculatura flexora derecha a velocidad alta en la segunda evaluación tanto en su contracción concéntrica como excéntrica; y un aumento en la contracción excéntrica de isquiotibiales izquierdos a velocidad lenta.

En el trabajo específico 45 se observa un aumento en la contracción concéntrica y excéntrica de isquiotibiales derechos a velocidad alta. En isquiotibiales izquierdos sólo aumenta en contracción excéntrica a las dos velocidades.

El cuádriceps izquierdo aumenta significativamente en la tercera evaluación en el trabajo específico 45 a las dos velocidades.

En cuanto al MMF sólo aparecen diferencias significativas en la contracción excéntrica de isquiotibiales y cuádriceps, que aumentan.

Velocistas

Se observa un descenso generalizado de la fuerza flexora derecha e izquierda, con diferencias significativas tanto en el trabajo total como en trabajos específicos y MMF.

La fuerza extensora sólo descende significativamente en la rodilla derecha.

DISCUSIÓN

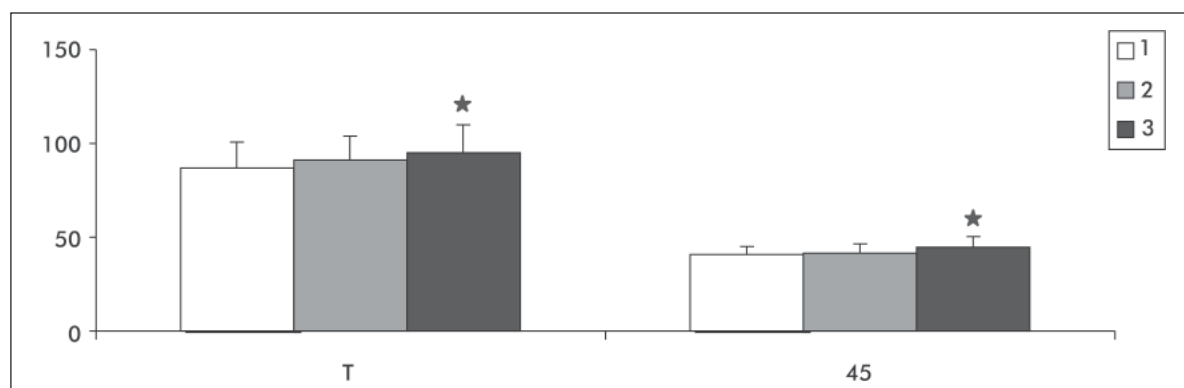
Diferencias entre poblaciones

Hemos observado que a nivel de la articulación de la rodilla, a lo largo de la temporada a cualquiera de las velocidades evaluadas, en valores absolutos, los lanzadores desarrollan un MMF, trabajo total y trabajo específico claramente superior a los otros grupos de deportistas. Estas diferencias son estadísticamente significativas en todas las evaluaciones excéntricas a ambas velocidades, así como en las concéntricas a 60°/seg.

En general, se está de acuerdo en que existe una estrecha relación entre el volumen muscular y la capacidad para generar fuerza^{15,16}. En nuestro estudio, el peso muscular en lanzadores es significativamente superior al de saltadores y velocistas, lo que podría explicar que la diferencia en la fuerza se deba a hipertrofia o una mayor sección muscular. Sin embargo, los velocistas tienen un peso muscular mayor que los saltadores y esas diferencias no se reflejan en el trabajo total realizado.

Está claro que la capacidad de un deportista para desarrollar fuerza depende de múltiples factores: musculares (sección, tipo de fibras, ángulo de inserción...), nerviosos (utilización de las unidades motoras: reclutamiento, frecuencia de impulso, sincronización y coordinación intermuscular), etc.^{15,16}. Estos factores pueden ser la causa de que, a velocidades altas, prácticamente no aparezcan diferencias significativas en las contracciones concéntricas entre las tres subpoblaciones.

FIGURA 1.-
Diferencias significativas (*) a lo largo de la temporada en los trabajos total (T) y específico 45⁴⁵ de contracción concéntrica de isquiotibiales derechos en saltadores 1, 2 y 3: 1º, 2º y 3º evaluación



Algunos autores^{16,17} mantienen que la hipertrofia muscular provoca un cambio en el ángulo de inserción por lo que las fibras musculares tendrían que separarse. El resultado de este cambio arquitectónico sería un descenso en la máxima velocidad de acortamiento por lo que un aumento en la fuerza sólo aparecería a las velocidades más bajas.

En la musculatura extensora, en el trabajo concéntrico específico entre 5° y 45°, sí encontramos diferencias entre lanzadores y los otros dos grupos a velocidad alta. En el cuádriceps derecho, estas diferencias se observan en las tres evaluaciones; en el izquierdo, sólo aparecen en la última evaluación, y además en ésta se ven, también, diferencias significativas entre saltadores y velocistas (Figura 2). Estos últimos deportistas, en general, disminuyen la fuerza en la tercera evaluación y los otros dos grupos la mantienen o aumentan, probablemente debido al gesto técnico de la batida en el salto de longitud o a la fase de lanzamiento de la jabalina.

Las diferencias en el cuádriceps, a velocidad alta, aparecen en rangos de movimiento donde las fibras musculares estarían más acortadas. Ahora bien, si la hipertrofia muscular produce un cambio en el ángulo de tracción de las fibras provocando un descenso de fuerza a velocidades rápidas^{16,17}, no tendría por qué darse este tipo de circunstancias. Más bien creemos que las diferencias, aparte de la sección muscular, se deban al desarrollo de fuerza por gestos específicos de cada modalidad atlética. Además, entre saltadores y velocistas, sólo aparecen diferencias significativas entre los 5 y 45° de cuádriceps izquierdo en la tercera evaluación, a las dos velocidades y en los dos tipos de contracción, lo que intensifica la importancia del gesto técnico (batida).

Se dice que sólo cuando se requiere alta tensión y/o velocidad parece que se reclutan unidades de fibras rápidas¹⁸⁻²⁰. En los músculos de atletas cuya modalidad demanda una elevada fuerza muscular, se ha observado un predominio de fibras rápidas y un efecto específico de entrenamiento de fuerza sistemático sobre las fibras rápidas, evidenciado por un incremento en el índice de área fibras rápidas/fibras lentas. En otros estudios²¹, en sujetos con predominio de fibras rápidas se demostró un mayor trabajo y potencia que en los que predominaban las fibras lentas excepto a velocidades de 60°/seg. Podría pensarse que, en nuestro estudio, los lanzadores tuvieran un porcentaje menor de fibras rápidas que los saltadores y velocistas como han observado otros autores analizando distintas poblaciones atléticas²², pero en otras investigaciones que comparaban el trabajo relativo de velocistas y saltadores con otras poblaciones¹⁹ no se encontró que el porcentaje

de fibras rápidas tuviera una relación directa con el trabajo desarrollado.

Posiblemente nuestros resultados estén influenciados por diferentes factores como el porcentaje de fibras, la sección muscular e incluso el tipo de entrenamientos, etc.

En cuanto al MMF, aunque el comportamiento es semejante al trabajo total, llama la atención que la única diferencia que aparece entre saltadores y velocistas sea en la última evaluación de excéntricos de isquiotibiales izquierdos a 300°/seg., que también puede ser debido al gesto de batida, en el que la musculatura flexora se contrae excéntricamente y donde los valores angulares del MMF ocurren muy próximos a la extensión completa.

Las diferencias entre saltadores y velocistas se intensifican cuando se compara la fuerza o trabajo muscular respecto al peso (trabajo relativo). Además de las diferencias significativas que aparecen en cuádriceps izquierdo, en las contracciones excéntricas de isquiotibiales izquierdos se pueden observar diferencias entre saltadores y velocistas, probablemente debido al aumento de fuerza excéntrica de la musculatura flexora en el gesto de la batida. También se aprecian diferencias en los trabajos relativos total y específico 45 cuando se analiza la contracción concéntrica de la musculatura flexora derecha, debido a un aumento de fuerza a lo largo de la temporada en los saltadores. Estas diferencias no se reflejan cuando se compara el trabajo absoluto. Esto nos lleva a considerar que el trabajo relativo puede llegar a ser más importante que el estudio de valores absolutos, al menos en determinadas modalidades deportivas.

Por otra parte, es difícil realizar un análisis comparativo con datos obtenidos por otros investigadores, ya que la mayoría de los estudios se refieren al MMF, y además, los protocolos utilizados, en muchos casos no son coincidentes, y tampoco lo es la población analizada. En general, los valores de MMF concéntrico de la musculatura flexoextensora de la rodilla de nuestros atletas se encuentran dentro del rango obtenido por la mayoría de autores^{2,3,23-25}. Existen menos estudios sobre el MMF excéntrico, y los valores de nuestra población son ligeramente superiores a los dados por otros autores^{26,27}, teniendo en cuenta que se comparan distintas poblaciones.

Diferencias a lo largo de la temporada

Analizando nuestros datos, podemos comprobar que los lanzadores incrementan o mantienen los niveles de trabajo total y específicos desde la primera evaluación hasta la

tercera (fundamentalmente en cuádriceps). Los saltadores también van incrementando los niveles, y especialmente a velocidades altas, en tanto que los velocistas (que tienen un MMF y trabajo igual o superior a los saltadores en la 1ª evaluación, sobre todo en la musculatura flexora), van disminuyendo en trabajo total y específico así como en MMF.

Si analizamos la evolución de los **lanzadores** a lo largo de la temporada, los incrementos más significativos se producen en el trabajo total y específico 45 (concéntricos y excéntricos) de los músculos isquiotibiales derechos.

El trabajo concéntrico de isquiotibiales derechos es muy importante en la fase preparatoria, donde, en el momento del contacto con el suelo, la rodilla derecha se flexiona para permitir una adecuada trayectoria de avance horizontal de la cadera en la fase de doble apoyo. El aumento del trabajo excéntrico puede ser debido a que precisan una fuerza importante estabilizadora del miembro derecho después de la fase de lanzamiento para frenar el movimiento y no sobrepasar la línea de falta.

El importante incremento que también se produce en el trabajo concéntrico de cuádriceps izquierdo y excéntrico de isquiotibiales izquierdos, especialmente entre 5 y 45° (Figura 3), se debe al gesto de hiperextensión de la articulación de la rodilla de bloqueo y el freno que tiene que realizar la musculatura flexora.

Todos estos valores de trabajo total y específico no tienen una correspondencia con las modificaciones que se producen en el MMF donde los incrementos importantes de la musculatura flexora y extensora corresponden a la fuerza excéntrica.

Es mucho más fácil de interpretar en función del gesto deportivo los cambios del trabajo total y específico que los del MMF, ya que el ángulo articular en el que se produce el MMF no suele coincidir con los gestos técnicos, lo que

hace que este sea uno de los motivos por los que nos inclinemos por la utilización de los valores de trabajo de forma rutinaria.

La musculatura flexora, en los lanzadores, experimenta un incremento importante de fuerza y trabajo, con diferencias significativas, en la segunda evaluación, donde siguen con entrenamiento de fuerza; sin embargo al final de la competición sólo se mantienen niveles de fuerza debidos a gestos técnicos.

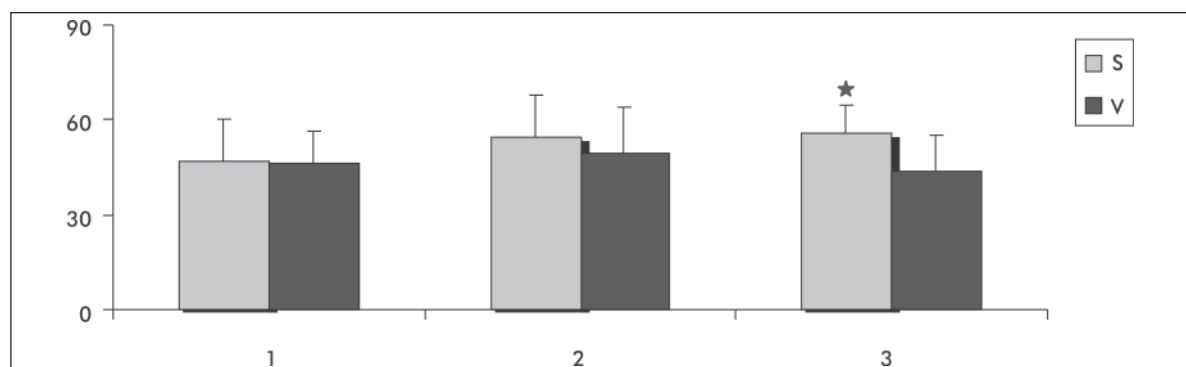
En los **saltadores** destaca un incremento del trabajo concéntrico de isquiotibiales derechos (Figura 1) posiblemente debido a la enérgica flexión de rodilla derecha que se produce en el momento de la batida (con extremidad inferior izquierda), además de la flexión de cadera; o a la fase de preparación para la batida, donde se produce una flexión de la rodilla derecha para descender el centro de gravedad y permitir un avance horizontal de la cadera. Este gesto repetido durante entrenamientos, y sobre todo al final de la fase de competición puede explicar que se potencie la musculatura flexora de la rodilla derecha.

Respecto al miembro de batida, hay que destacar el aumento en trabajo total y específico (a 300°/s) concéntrico de la musculatura extensora, aunque no existan diferencias con significación estadística.

Los **velocistas** tienen, a su vez, mayor peso muscular que los saltadores, con diferencias significativas en las dos primeras evaluaciones; sin embargo no desarrollan, en general, un mayor trabajo muscular en la segunda y tercera evaluación.

Si con en el entrenamiento hay un aumento de fuerza por hipertrofia de las fibras musculares o debido a mecanismos nerviosos, no parece lógico que este grupo de deportistas disminuyan su fuerza, al contrario de los otros dos grupos que la aumentan o mantienen.

FIGURA 2.-
Diferencias significativas (*) en la 3ª evaluación entre saltadores (S) y velocistas (V) en la contracción concéntrica de cuádriceps izquierdo a velocidad de 300°/seg 1, 2 y 3: 1ª, 2ª y 3ª evaluación



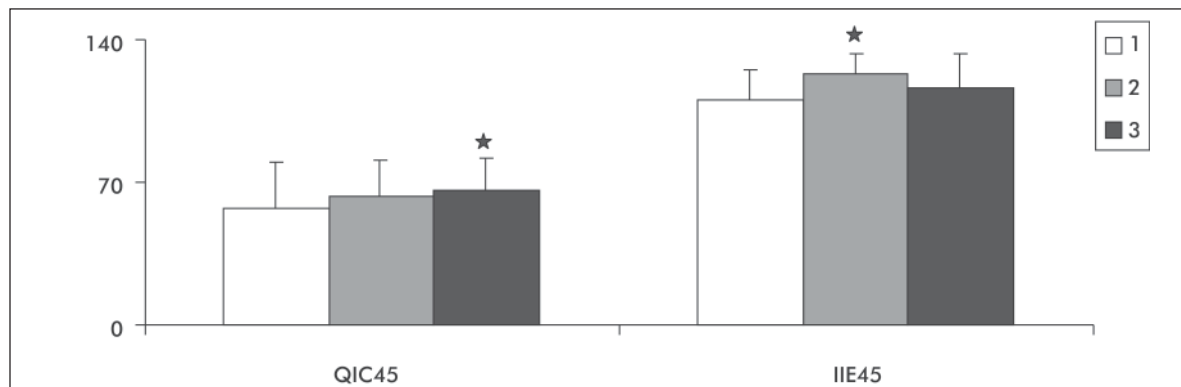


FIGURA 3.- Extensión izquierda en lanzadores en el trabajo específico 45 a lo largo de la temporada: QIC (contracción concéntrica de cuádriceps). IIE (contracción excéntrica de isquiotibiales) 1, 2 y 3: 1ª, 2ª y 3ª evaluación

En los movimientos explosivos, que tienen que realizarse a máxima velocidad durante un corto espacio de tiempo²⁸, lo importante es producir la mayor fuerza posible en el mínimo tiempo; para ello, el velocista aumenta la frecuencia de zancada y, como la resistencia que tiene que vencer en cada paso no varía con la velocidad, el pico de fuerza desarrollado en cada paso se irá incrementando al aumentar la frecuencia de zancada²⁹.

El descenso de fuerza generalizada en los velocistas no se puede justificar con un cambio o aumento en la frecuencia de zancada, ya que, en todo caso, el trabajo debería, al menos mantenerse. Puede ser que, aunque disminuya la fuerza, el tiempo de aplicación de la misma sea mucho más corto, lo que implicaría mejorar la potencia.

Existen estudios que encuentran que los entrenamientos de velocidad incrementan la fuerza extensora y disminuyen la flexora³⁰. En nuestro caso, aunque se observa un descenso en la musculatura flexora con diferencias significativas a lo largo del tiempo, la fuerza de la musculatura extensora no se incrementa, aunque las diferencias significativas aparecen fundamentalmente en el cuádriceps derecho.

Los músculos extensores de la rodilla, junto con el glúteo mayor, son los máximos aceleradores de la masa muscular en la fase de aceleración inicial. En esta fase, cuando el atleta todavía corre con una pronunciada inclinación del cuerpo hacia delante, la contracción muscular tiene más importancia que la respuesta elástica en la producción de fuerza³¹. Esto cambia cuando se alcanzan mayores velocidades de carrera; así, la propulsión hacia delante en la máxima velocidad de carrera está determinada principalmente por la acción de los isquiotibiales, glúteo mayor y adductor mayor. Se considera, incluso, que los isquiotibiales son los que más contribuyen a la producción de los niveles máximos de velocidad³²⁻³⁴.

Esto tampoco justifica el descenso de trabajo en la musculatura flexora. El mantenimiento de fuerza en el cuádriceps izquierdo podría explicarse si tenemos en cuenta que, en nuestros velocistas, la pierna adelantada en la salida es la izquierda y realiza una potente extensión para pasar a la fase de aceleración.

Cavagna³⁵ observó que, cuando la velocidad de carrera se incrementa, el componente contráctil de los músculos juega un papel progresivamente menos importante en contraste con el componente elástico. Podríamos pensar que el ciclo de estiramiento-acortamiento sea más efectivo en estos deportistas por disminuir el tiempo entre la contracción excéntrica y concéntrica, aunque el almacenamiento de energía se produce durante la contracción excéntrica y también ésta desciende a lo largo de la temporada.

Por todo ello, creemos que el descenso de fuerza en los velocistas se debe a una planificación durante la temporada en la que el entrenamiento de fuerza se hace sólo en la fase de volumen, pasando después a entrenamiento específico de la velocidad. En general se está de acuerdo en que la fuerza, la potencia y la velocidad no son entidades diferentes³⁶ y que es necesario continuar el entrenamiento de fuerza durante la temporada de competición para mantener el nivel adquirido^{36,37}.

Diferencias izquierda-derecha

A lo largo de la temporada los valores de la musculatura flexora derecha son mayores que los de la izquierda, en tanto que los valores de la musculatura extensora izquierda son mayores que los de la derecha. Estas diferencias son más evidentes en el grupo de saltadores y lanzadores donde en el trabajo total y específico existe significación estadística en la mayoría de los casos, hecho fácilmente explicable por el gesto específico: la musculatura flexora derecha participa más en la preparación de los gestos de batida y

lanzamiento, en tanto que el cuádriceps izquierdo lo hace en la ejecución de estos gestos.

CONCLUSIONES

1. Los lanzadores desarrollan un momento máximo de fuerza, trabajo total y específico superior a saltadores y velocistas. Analizando el trabajo específico de determinados rangos de movimiento se pueden establecer diferencias entre distintas modalidades atléticas.
2. La evolución que experimentan nuestros deportistas a lo largo de la temporada es de ir incrementando el trabajo total y específico en el grupo de lanzadores y saltadores, en tanto que los velocistas van disminuyendo. En todos los casos, estas diferencias fueron más evidentes en la musculatura flexora que en cuádriceps.
3. Las modificaciones del trabajo a lo largo de la temporada no se corresponden con las del momento máximo de fuerza, lo que implica que no se deben de realizar estudios comparativos utilizando el momento máximo de fuerza.
4. En la interpretación de las evaluaciones, los valores de trabajo total y especialmente el trabajo específico 45 son más coincidentes con gestos deportivos y sistemas de entrenamiento que los de momento máximo de fuerza ya que éstos no reflejan de manera adecuada la tensión desarrollada en un determinado rango de movimiento.
5. En los deportistas evaluados, los valores de fuerza y trabajo de musculatura flexora derecha son mayores que los de la izquierda, en tanto que el cuádriceps izquierdo es más fuerte que el derecho.

B I B L I O G R A F I A

1. **Stafford MG, Grana WA.** Hamstring/quadriceps ratios in college football players: a high velocity evaluation. *Am J Sports Med* 1984;12:209.
2. **Calmels P, Van Den Borne I, Nellen M, Domenach M, Minaire P, Drost M.** A pilot study of knee isokinetic strength in young, highly trained, female gymnasts. *Isokinet Exerc Sci* 1995;5:69.
3. **Zakas A, Mandroukas K, Vamvakoudis E, Christoulas K.** Peak torque of quadriceps and hamstring muscles in basketball and soccer players of different divisions. *J Sports Med Phys Fit* 1995;35:199.
4. **Koutedakis Y, Frischnecht R, Vrbova G, Sharp NC, Budgett R.** Maximal voluntary quadriceps strength in Olympic overtrained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:566.
5. **Kannus, P.** Isokinetic evaluation of muscular performance. Implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med* 1994;(Supp 1): S11.
6. **Aagaard P, Simonsen EB, Magnusson SP, Larsson B, Dyhre-Poulsen P.** A new concept for isokinetic hamstring: quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med* 1998;26:231.
7. **Aagaard P, Simonsen EB, Beyer N, Larsson B, Magnusson P, Kjaer M.** Isokinetic muscle strength and capacity for muscular knee joint stabilisation in elite sailors. *Int J Sports Med* 1997;18:521.
8. **Nassar L.** Isokinetic strength values of the knee flexor and extensor muscle groups of female gymnasts. Presented at the US Gymnastics Federation Sport Science Congress, Indianapolis, IN, 19, September 1991.
9. **Fairbanks R, Lawler B, Malone TR.** The eccentric/concentric ratio of quadriceps femoris in sprinters and normals. *Isokinet Exerc Sci* 1994;4:41.
10. **Heiser TM, Weber J, Sullivan G, Clare P, Jacobs RR.** Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players. *Am J Sports Med* 1984;12:368.
11. **Russell KW, Quinney HA, Hazlett CB, Hillis D.** Knee muscle strength in elite male gymnasts. *J Orthop Sport Phys* 1995;22:10.
12. **Caldwell GE, Adams WB, Whetstone MR.** Torque/velocity properties of human knee muscles: peak and angle-specific estimates. *Can J Appl Physiol* 1993;18:274.
13. **Méndez B, Del Valle M, Sirgo G, Argüelles I.** Variaciones en el ángulo de producción del momento máximo de fuerza. *Arch Med Dep* 1999;XV:565.
14. **Del Valle M, Méndez B, Egocheaga J, Sirgo G.** Aplicaciones de la biomecánica al alto rendimiento deportivo. Importancia del rango de movimiento específico (REM) en la evaluación isocinética. *Arch Med Dep* 1998;65:193.
15. **González Badillo JJ, Gorostiaga Ayesterán E.** Fundamentos del entrenamiento de fuerza. Barcelona: INDE Publicaciones, 1995
16. **Narici MV, Roi GS, Landoni L, Minetti AE, Cerretelli P.** Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *Eur J Appl Physiol* 1989;59:310.
17. **Tesch P, Larsson L.** Muscle hypertrophy in bodybuilders. *Eur J Appl Physiol* 1982;49:301.
18. **Johansson C.** Knee extensor performance in runners (Differences between Specific athletes and implications for injury prevention. *Sports Med* 1992;14:75.
19. **Thorstensson A, Larsson L, Tesch P, Karlsson J.** Muscle strength and fiber composition in athletes and sedentary men. *Med Sci Sports* 1977;9:26.
20. **Froese EA, Houston ME.** Torque-velocity characteristics and muscle fiber type in human vastus lateralis. *J Appl Physiol* 1985;59:309.
21. **Ivy JL, Withers RT, Brose G, Maxwell BD, Costill DL.** Isokinetic contractile properties of the quadriceps with relation to fiber type. *Eur J Appl Physiol* 1981;47:247.

22. **Fox EL, Mathews DK.** Bases physiologiques de l'activité physique. Paris: Vigot (Ed.) 1981.
23. **Hopkins J, Sittler M, Ryan J.** The effects of hip position and angular velocity on quadriceps and hamstring eccentric peak torque and ham/quad ratio. *Isokinet Exerc Sci* 1993;3:27.
24. **Koutedakis Y, Frischknecht R, Murth YM.** Knee flexion to extension peak torque ratios and low-back injuries in highly active individuals. *Int J Sports Med* 1997;18:290.
25. **Russell KW, Quinney HA, Hazlett CB, Hillis D.** Knee muscle strength in elite male gymnasts. *J Orthop Sports Phys* 1995;22:10.
26. **Koutedakis Y, Frischknecht R, Vrbova G, Sharp NC, Budgett R.** Maximal voluntary quadriceps strength in Olympic overtrained athletes. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:56.
27. **Aagaard P, Simonsen EB, Trolle M, Bangsbo J, Klausen K.** Specificity of training velocity and training load on gains in isokinetic knee joint strength. *Acta Physiol Scand* 1996;156:123.
28. **Sale DG.** Neural adaptation to strength training. En: P. Komi (Ed.). *Blackwell Scientific Publication*. London: Strength and Power in Sport, 1992;249.
29. **Edgerton VR, Roy RR, Gregor RJ, Hager CL, Wickiewicz T.** Muscle fiber activation and recruitment. En: *Biochemistry of Exercise*. International Series of Sports Sciences, 1983;13:31.
30. **Shealy MJ, Callister R, Dudley GA, Fleck SJ.** Human torque velocity adaptations to sprint, endurance, or combined modes of training. *Am J Sports Med* 1992;20:581.
31. **Jacobs R, Van Ingen Schenau GJ.** Intermuscular coordination in a sprint push-off. *J Biomech* 1992;25:935.
32. **Wiemann K, Tidow G.** Relative activity of hip and knee extensors in sprinting: implications for training. *New Stud Athletics* 1995;10:29.
33. **Jonhagen S, Ericson MO, Nemeth G.** Amplitude and timing of electromyographic activity during sprinting. *Scand J Med Sci Sports* 1996;6:15.
34. **MERO A, KOMI PV, GREGOR RJ.** Biomechanics of sprint running: a review. *Sports Med* 1992;13:15.
35. **Cavagna GA.** Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exerc Sport Sci Rev* 1977;5:89.
36. **Mero A, Komi PV.** EMG, force and power analysis of sprint specific strength exercises. *J Appl Biomech* 1994;10:1.
37. **Tidow G.** Muscular adaptations induced by training and detraining: a review of biopsy studies. *New Stud. Athletics* 1995;10:47.