

Evaluación de la pronación dinámica del tobillo en jóvenes escolares catalanes*

Esparza Barroso, Eusebio; Aguado Jodar, Javier

Trabajo creado por la Direcció General de l'Esport.

RESUMEN

El objetivo de nuestro trabajo es la evaluación del movimiento de pronación dinámica del tobillo, en jóvenes escolares de 14 a 18 años.

Para ello, se ha modificado la prueba de carrera en cinta continua y filmación simultánea con cámara cinematográfica de alta velocidad, protocolo clásico en éste tipo de análisis, por el de carrera a pata coja sobre colchonetas, realizándose la filmación con una cámara de vídeo doméstico.

La obtención de los datos se realiza proyectando directamente del monitor de vídeo en la tabla digitalizadora.

El análisis estadístico de las modificaciones protocolarias establecidas, la carrera a pata coja y la grabación con vídeo, ha demostrado la validez de las mismas.

Se concluye que las dos modificaciones protocolarias establecidas, la carrera a pata coja y la filmación con la cámara de vídeo, han resultado válidas.

La media de la máxima pronación dinámica es de $14,8^\circ \pm 5,21$ en el primer apoyo y de $20^\circ \pm 6,23$ en el segundo.

No existe correlación entre la pronación estática y la dinámica ($r=0,046$). Sin embargo, hay buena correlación entre los valores medidos dinámicamente en cada apoyo del test.

También existe correlación ($r=0,51$), entre el entrenamiento específico de la acción del pie durante la carrera (técnica de carrera) y el grado de pronación encontrado.

Palabras clave

Pronación dinámica, vídeo, análisis movimiento.

RESUM

L'objectiu del nostre treball és avaluar el moviment de pronació dinàmica del turmell en joves escolars de 14 a 18 anys.

Amb aquest fi, hem modificat la prova de cursa en cinta contínua i filmació simultània amb càmera cinematogràfica d'alta velocitat, protocol clàssic en aquesta mena d'anàlisis, pel de cursa amb una sola cama sobre matalassos, que es filma amb una càmera de vídeo domèstica.

Les dades s'obtenen projectant directament el monitor de vídeo a la taula digitalitzadora.

L'anàlisi estadística de les modificacions protocol·làries establertes, la cursa sobre una sola cama i la gravació amb vídeo n'han demostrat la validesa.

Podem concloure que les modificacions protocol·làries establertes –la cursa sobre una sola cama i la filmació amb la càmera de vídeo– han resultat vàlides.

La mitjana de la màxima pronació dinàmica és de $14,8^\circ \pm 5,21$ en el primer suport i de $20^\circ \pm 6,23$ en el segon.

No hi ha correlació entre la pronació estàtica i la dinàmica ($r=0,046$). N'obstant això, hi ha bona correlació entre l'entrenament específic de l'acció del peu durant la cursa (tècnica de cursa) i el grau de pronació trobat.

Paraules clau

Pronació dinàmica, vídeo, anàlisi del moviment.

SUMMARY

The purpose of our work is to assess the movement of dynamic pronation of the ankle in schoolchildren aged between 14 and 18.

To this end we have substituted the straight running race test and simultaneous filming with a high-speed film camera, the classic procedure for this type of analysis, for a one-legged race on mats filmed with a home video camera.

Information is obtained by directly projecting from the video monitor to the digitalizing table.

The statistical analysis of the established standard modifications, the one-legged race and the video recording has shown their validity.

It was concluded that the two standard modifications made, the one-legged race and filming with a video camera, are valid.

The average maximum dynamic pronation is $14,8^{\circ} \pm 5,21$ in the first contact and $20^{\circ} \pm 6,23$ in the second.

There is no correlation between the static and dynamic pronation ($r=0,046$). However, there is a good correlation between the values measured dynamically in each contact of the test.

There is also a correlation ($r=0,51$) between the specific training of the action of the foot during the race (race technique) and the degree of pronation found.

Key words

Dynamic pronation, video, analysis of movement.



Introducción

En los últimos 15 años ha habido un gran incremento de los practicantes de la carrera a pie. Ello ha permitido, que se desarrollasen una serie de investigaciones cuya finalidad es aclarar y explicar los efectos positivos y/o negativos de dicha actividad. Estas investigaciones se han agrupado en las siguientes áreas: a) el estudio de la *superficie de juego*; b) el diseño del *calzado deportivo* y c) el tipo de movimiento realizado o *técnica del movimiento*.

En esta última área de investigación —la técnica utilizada— son clásicos los trabajos pioneros de Rates, 1978 y 1981; Cavanagh, 1980; Frederick, 1982; Nigg, 1980 y 1982; Clarke, 1983, que han establecido una línea de investigación biomecánica, centrada en el análisis de la *fase de apoyo del pie*, desde el impacto de éste en el suelo, en el momento del aterrizaje (golpe de talón), hasta el despegue del mismo durante la impulsión.

Esta línea investigadora, está justificada por la trascendencia que tiene la acción del pie en el suelo, debido a que es la primera parte del cuerpo que toma contacto con éste y la que recibe, prácticamente el 100% de las grandes sobrecargas que el cuerpo humano puede desarrollar. Uno de los

tópicos concretos investigados dentro de esta área, son los movimientos de *pronación* y *supinación* del pie durante la carrera.

Como se sabe, el pie visto desde atrás, tras el primer contacto con el suelo, rota hacia dentro durante la mitad del tiempo de apoyo y cambia el sentido del movimiento en la última fase de despegue.

El primer movimiento llamado *pronación*, es un movimiento complejo consistente en una simultánea eversión, abducción y dorsiflexión.

La segunda parte llamada *supinación*, realiza el movimiento contrario, es decir: inversión, adducción y flexión plantar.

La función amortiguadora de la pronación está ampliamente tratada por la literatura (D'Ambrosia y Douglas, 1982; Luethi, 1983), así como las patologías lesionales relacionadas con la misma: síndrome de compresión lateral y síndrome iliotibial (Leach, 1982), tendinitis aquilea, tendinitis del tibial posterior (Clansey, 1982) y Clement y col. (1981) que señalan la hiperpronación como el factor más importante en la etiología de las lesiones de los corredores.

Generalmente, las investigaciones realizadas han utilizado como sistema de grabación del movimiento, útiles de laboratorio suficientemente sofisticados como: plataforma de fuerzas, cinematografía de alta velocidad y tecnología electrónica específica, entre otros.

Desde el punto de vista de la praxis de la Educación Física y del Deporte, interesa encontrar formas de análisis del movimiento lo más sencilla e inmediata posible, sin necesitar para ello de realizar inversiones costosas en utillaje.

En esa línea de evaluación y análisis del movimiento aplicado a gestos concretos, hemos propuesto un método (Esparza y col. 1985), que permite establecer con un criterio cualitativo, las alteraciones extremas de estos movimientos.

El presente estudio pretende la mejora de esta metodología, habilitando una vía, que permita realizar valoraciones cuantitativas de los movimientos de pronosupinación dinámica del tobillo. Nuestra idea es utilizar las mejoras que el actual vídeo doméstico ha alcanzado. Por un lado avances tecnológicos: una excelente parada de imagen, avance foto a foto y a diferentes velocidades y por otro, mejoras económicas, como es el importante descenso de los precios del mercado en los últimos años.

No obstante, las posibilidades del mismo para grabar un movimiento rápido, son limitadas debido fundamentalmente al escaso número de campos (25 campos/segundo) que permite registrar, así como la relativa baja resolución de las imágenes proyectadas en el monitor o receptor de televisión.

Por eso, considerando la escasa duración del tiempo de apoyo o contacto del pie en el suelo (sobre 3 décimas de segundo, aunque dependiente siempre de la velocidad de carrera), hemos buscado una prueba que aumente el mismo y así poder conseguir un mayor número de campos de vídeo, registrando la actuación del pie durante el apoyo.

Ensayos previos con deportistas de competición y estudiantes de Educación Física, nos han llevado a estandarizar la prueba de *carrera a salto* con la pata coja (dr., dr., iz. eiz.) sobre colchonetas de gimnasia, con un comportamiento elástico determinado. Dichas colchonetas son las utilizadas normalmente en gimnasia deportiva y tienen como características más importantes: una elasticidad local grande, una elasticidad superficial mínima y un coeficiente de restitución bajo. Para facilitar la visión de las marcas y para evitar el efecto distorsionante del calzado deportivo deformado o desgastado, los sujetos realizan la prueba descalzos.

Los objetivos de este trabajo son:

1. Medir en una población de *jóvenes escolares* de BUP (14-18 años), los máximos valores de *pronación dinámica* del pie durante el desplazamiento.
2. La *validación del protocolo* de la prueba, así como de la técnica de obtención de los datos *utilizada*.
3. Tratamiento estadístico de los datos, para llegar

a establecer la *correlación entre el nivel de pronación* obtenido en la prueba con:

- a. *Pronación estática* en posición de bipedestación.
- b. *Peso corporal*.
- c. *Sexo*.
- d. *Entrenamiento técnico* sobre la forma correcta de apoyar el pie en el suelo.



Material y método

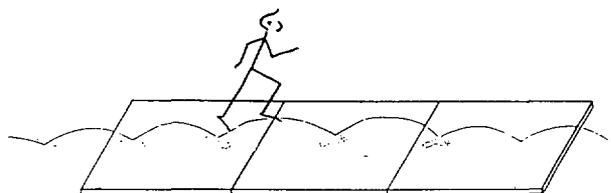
A. Validación del protocolo

En primer lugar, era necesario demostrar la correlación entre los valores medidos en *carrera normal* y los obtenidos durante la *carrera a pata coja*. Esta fue realizada sobre una muestra previa de 18 sujetos, los cuales fueron filmados durante la realización de ambas pruebas. En la primera, corriendo a una velocidad moderada (sobre 3 m/s), y en la segunda, a velocidad similar pero a pata coja, con una longitud de cada salto equivalente a la estatura de cada sujeto.

Se filmó con una cámara de cine BEAULIAU modelo 4008Z

4 de 8 mm, una velocidad de 80 Ft/s

Ambas pruebas se realizaban sobre colchonetas de gimnasia, marca Sarneige modelo L, que poseen una gran capacidad de amortiguación, con un coeficiente de restitución, contrastado con un suelo de hormigón, de 0,28. La colocación del material puede apreciarse en el esquema adjunto (Esquema 1).



Esquema 1. Que muestra la disposición del material durante la realización de la prueba.

PRUEBA DE VALIDACION CARRERA-SALTO

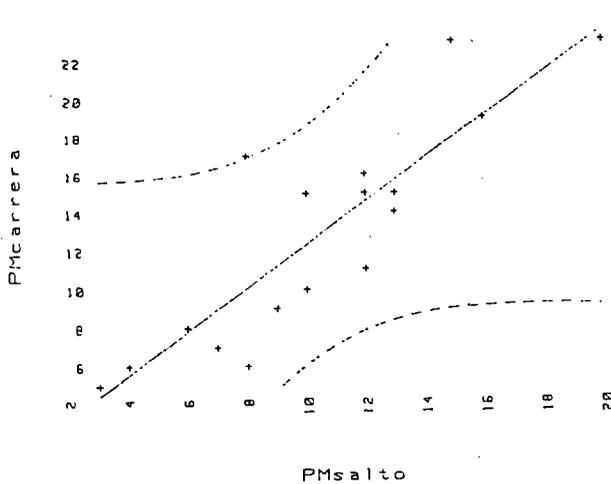


Gráfico 1. Relación entre la máxima pronación obtenida en carrera normal y en carrera a saltos utilizada en la prueba de validación ($r=0.85$).

La correlación obtenida fue $r=0,85$ (Gráfica 1). Este resultado nos demuestra que las modificaciones cinemáticas, en cuanto al máximo valor del movimiento de pronación, no sufren, estadísticamente hablando, modificaciones entre la carrera normal y la carrera a pata coja.

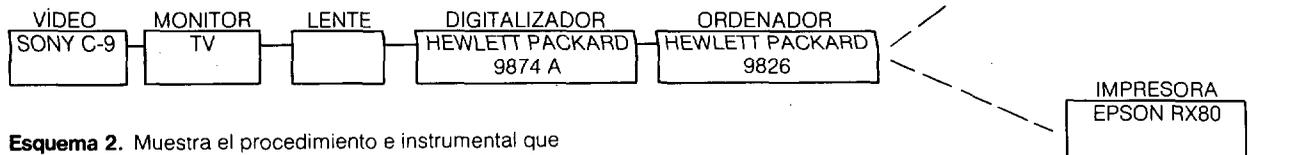
B. Validación del sistema de proyección del video

En segundo lugar, también fue necesario demostrar una gran correlación entre los valores obtenidos desde la película, metodología cuya validación ha sido realizada en la literatura internacional y los conseguidos con el video.

Se trataba de demostrar que las dificultades que a priori presentaba el video: problemas de resolución, de nitidez, así como el escaso número de cuadros filmados en cada apoyo (unos 7-8), no invalidaban su utilización como medio de medición.

Para digitalizar los cuadros, originalmente utilizamos el sistema de proyección por detrás, sobre la pantalla digitalizadora, a través de un túnel oscuro con una lente, que fue validado por Riera (1986). (Esquema 2).

Pero este sistema, nos planteaba ciertos problemas de enfoque de la lente, que incidían en una insuficiente nitidez, de la imagen. Por este motivo,



Esquema 2. Muestra el procedimiento e instrumental que permite la entrada de datos en el ordenador, tomado de Riera²¹

se adoptó un sistema de proyección directa sobre la cara delantera de la tabla digitalizadora, a la que se le había colocado encima una pantalla reflectante (pantalla de lector de microfilm Kodak, modelo 322), que nos permitía una calidad de imagen idéntica a la del propio monitor.

El principal problema que hubo que solucionar en el sistema de proyección, fue el posible error de paralaje que se podía cometer durante la digitalización, en caso del movimiento del sujeto que realizaba esta operación lo que fue solventado manteniendo fija, durante la digitalización de cada apoyo, la cabeza del sujeto.

En la prueba de fiabilidad, participaron 12 sujetos que digitalizaron un mismo fotograma. Los resultados obtenidos mostraron una desviación estándar de 1,5 grados y una fiabilidad del 90%. (Gráfica 2).

Nota: Con posterioridad hemos mejorado el sistema de proyección realizándola directamente por delante y a través de una lente.

CALCULO DE FIABILIDAD

12 SUJETOS DIGITALIZAN EL MISMO FOTOGRAMA

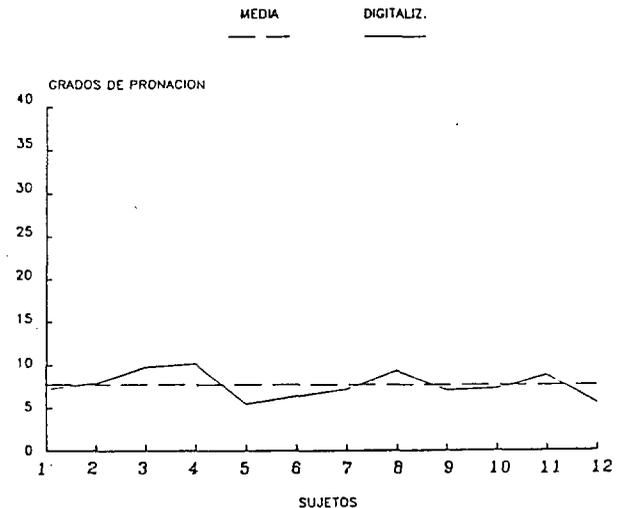


Gráfico 2. Muestra los valores medidos por doce sujetos cuando digitalizan un mismo fotograma.

Tabla 1. Muestra las características de la población estudiada.

	EDAD	PESO	SEXO		ESTATURA	PLANTILLAS		DOLORES	
	Años	Kg	V.	H.	cm	Si	No	Si	No
X	15.98	55.20	21	42	163.5	6	57	9	54
f	0.65	6.20			7.27				

C. Características de la prueba

Participaron en este estudio un total de 63 sujetos (42 hembras y 21 varones), estudiantes de 1º y 2º de BUP.

La media de edad es de 15,9 años, 163,5 cm de altura y 52,2 Kg de peso. El porcentaje de los que habían llevado plantillas es del 22% y de los que la llevaban en la actualidad del 10%. Un 14% padecía dolores en los pies después de determinadas prácticas de ejercicios físicos. (Tabla 1).

A cada sujeto le fueron marcados los cuatro puntos necesarios para medir la pronación, según el procedimiento descrito por Nigg (1978), que consiste en colocar los cuatro puntos característicos que definen la línea de la pierna y del pie: punto medio pierna a nivel tercio inferior, centro Tendón de Aquiles a la altura del maleolo tibial (separados 15 cm) y centro del talón y parte media superior del calcáneo. (Esquema 3).



Esquema 3.

Muestra la localización de los cuatro puntos característicos para determinar la pronación.

Antes de realizar la prueba, a cada sujeto se le media la pronación estática en posición de bipedestación, estandarizada en una separación de talones de 8 cm y un ángulo de apertura de los pies de 15 grados cada uno.

Tras dos intentos de adaptación, los sujetos fueron filmados mientras realizaban la prueba.

Las colchonetas eran SARNEIGE modelo L, típicas de gimnasia deportiva, a las que fue medido un coeficiente de restitución contrastado con una superficie de hormigón de 0,28.

Para la digitalización, se seleccionaba el cuadro en el que se alcanzaba la máxima pronación y se

digitalizaban los correspondientes a los dos apoyos de la misma pierna.

La cámara de vídeo usada para grabar la prueba era SONY modelo BETAMOVIE, colocada fija en posición dorsal en la dirección de la carrera, a 10 metros de la primera colchoneta y a una altura de 10 cm del suelo.

El magnetoscopio usado como medio de proyección fue el SONY C-9, que entre sus ventajas destaca una excelente parada de imagen.

El monitor utilizado fue SONY HM 1430 E de 32,8 cm (13 pulgadas), que tiene una resolución de 625 líneas.

La tabla digitalizadora usada fue la HP 9874, el ordenador el HP 9826.

Resultados y discusión

La media de los datos obtenidos en las pruebas de pronación estática y pronación dinámica en el primer y segundo apoyo, se reflejan en la tabla 2.

Tabla 2. Muestra los valores medios y la desviación típica de los valores máximos de pronación encontrados.

	PRONACIÓN		
	Estática	1er apoyo	2º apoyo
X	9.12	14.85	20.11
f	3.17	5.21	6.73

Expresado en grados, la media de la pronación ha sido de 9,12 en la estática, 14,15 en el primer apoyo y de 20,11 en el segundo.

El estudio de la distribución de los diferentes valores medidos en las series de datos, pone de relieve la mayor capacidad de discriminación de la prueba dinámica sobre la estática.

El cálculo de la recta de regresión, muestra la mínima correlación entre la edad y la pronación estática (0.17) y una ligera correlación (- 0,41) con la pronación dinámica, en el primer y segundo apoyo. Pero aunque la correlación fuera aún mayor, no podríamos concluir que la misma evoluciona con la edad, ya que en este caso concreto más edad significa también un mayor número de sesiones dedicadas al entrenamiento específico de la técnica de carrera.

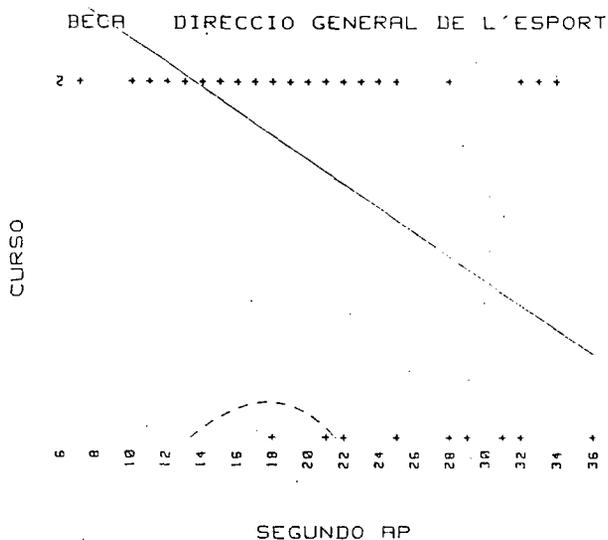


Gráfico 3. Correlación entre los grados de pronación dinámica y el nivel técnico del curso ($r = 0.54$).

La influencia del nivel técnico, queda reflejada en la gráfica 3 que muestra como el subgrupo de alumnos (49 sujetos) que había recibido entrenamiento específico sobre técnica de carrera con énfasis en la importancia del apoyo del pie, muestran unos valores menores que el resto de la población (14 sujetos).

Ello corrobora lo apuntado por autores como Nigg y Cavanagh, cuando afirman que la musculatura activada a tiempo que se consigue con un aterrizaje activo del pie en el suelo, favorece el control articular y la absorción de la energía del impacto.

Esta conclusión pone en evidencia la importancia profiláctica de la enseñanza de una técnica de carrera adecuada. Sería interesante poder profundizar con más detalles en la evolución de la misma y de sus factores determinantes a lo largo del período de aprendizaje. Se sugieren nuevas y específicas investigaciones.

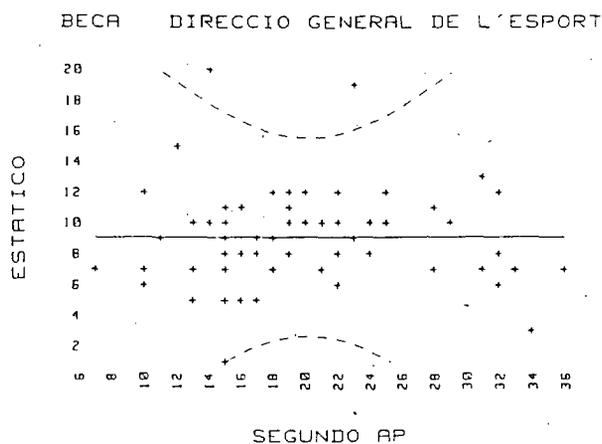


Gráfico 4. Correlación entre la pronación estática y dinámica ($r = 0.003$).

La gráfica 4 evidencia una nula correlación entre la pronación estática y la dinámica (0,046). Esto nos demuestra la independencia entre el comportamiento pasivo, estático de las articulaciones (dependiente fundamentalmente del hábito postural y tensión ligamentosa) y el dinámico donde la actuación muscular es determinante.

Estando demostrada la correlación existente entre los problemas funcionales del pie y la musculatura implicada, parecería lógico aconsejar una adecuada tonificación de los músculos inversores del pie (tibial anterior sobre todo), como camino para prevenir y corregir este problema.

Es muy importante remarcar este hecho pues da a la acción muscular (que puede ser entrenada), un papel corrector de las malas actitudes posturales y de amplitudes de movimientos exageradas.

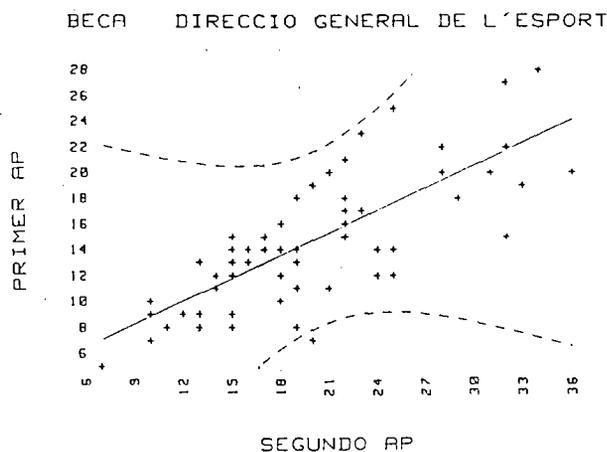


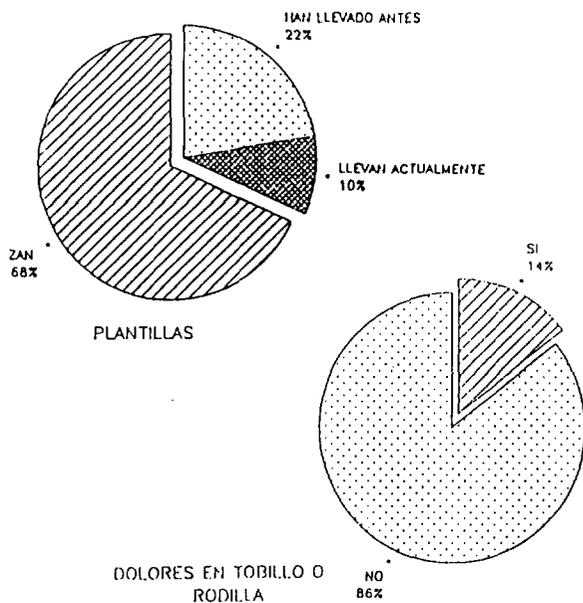
Gráfico 5. Correlación entre los valores de pronación dinámica obtenidos en el primer y segundo apoyo ($r = 0.75$).

La gráfica 5, pone de relieve la estrecha correlación entre los valores de pronación dinámica en el primer y segundo apoyo lo que parece lógico, dado el carácter cíclico del gesto y, confirmando a la vez, la idea del comportamiento estable de este mecanismo amortiguador.

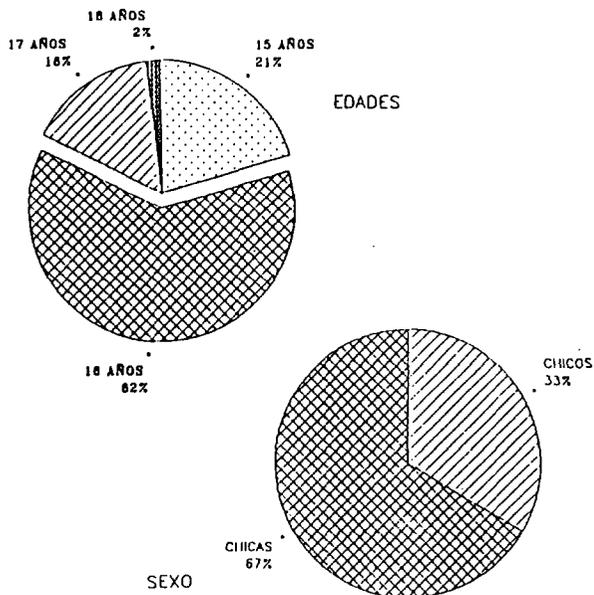
Conclusiones

1. La pronación dinámica puede ser medida con la prueba de carrera a saltos descrita en este trabajo. Su valor es estadísticamente comparable con el medido en la carrera normal.
2. El vídeo doméstico puede ser utilizado como medio de grabación para el análisis de este movimiento.
3. La media de la máxima pronación medida es de $14,15 \pm 5,21$ en el primer apoyo y de $20,11 \pm 6,73$ grados en el segundo.
4. La pronación dinámica no correlaciona con la pronación estática, de donde se puede deducir

Características de la población estudiada



Características de la población estudiada



que la valoración estática de la misma, no ayuda a predecir el comportamiento dinámico de este movimiento.

- Los valores de pronación dinámica medidos en el primer y segundo apoyo muestran una alta correlación, lo que podría demostrar que el comportamiento dinámico de esta función sigue un patrón bastante constante.
- Los sujetos con entrenamiento específico en técnica de carrera, muestran una amplitud del

movimiento de pronación menor que los no entrenados.

Agradecimiento

Los autores quieren expresar su gratitud a la directiva y alumnado del JNR "Joan Roscá" por haber facilitado la realización de esta investigación.

Este trabajo ha sido becado por el Servicio de Investigación y Docencia de la Dirección General de Deportes de la Generalitat de Cataluña.

Bibliografía

- BATES, B.T.; JAMES, S.L.; OSTERNIG, L.R.; SAWHILL, J.A.: 1981. Effects of running shoes on ground reaction forces. *Biomechanics VII-B* (pp. 226-233). Varsovia, P.W.N.
- BATES, B.T.; DE VITA, P.; KINOSHITA, H.: (1983). The effect of intra-individual variability on sample size. *Biomechanical aspects of sport shoes and playing surfaces* (pp. 191-198). Calgary: University Printing.
- BATES, B.T.; KANTHY, J.; SIMPSON, J.; PANZER, V.: (1985). The evaluation of subject, shoe, and movement variability. *Biomechanics X-A*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- BEDNARSKI, K.; BUNCH, R.; CAIRNS, M.: (1985). Foot morphology of women athletes: implications for last development. *Biomechanics X-A* (pp. 913). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- BENDIX, A.; WINKEL, J.; BOJSEN-MOLLER, F.: (1985). Effect of soft shoes and clogs on induced foot swelling. *Biomechanics X-A* (pp. 927). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
- BOJSEN-MOLLER, F.: *Biomechanical effects of shock absorbing heels in walking. Biomechanical aspect of sport shoes and playing surfaces* (pp. 73-76). Calgary: University Printing.
- CAVANAGH, P.R.; LAFORTUNE, M.A.: (1980). Ground reaction force in distance running. *Journal of Biomechanics*, 13, pp. 397-406.
- CAVANAGH, P.R.; WILLIAMS, K.R.; CLARKE, T.E.: (1981). A comparison of ground reaction force during walking barefoot on in shoe. *Biomechanics VII-B*. Varsovia: P.V.N.

9. CAVANAGH, P.R.; HEMING, F.M.; MAC MILLAN, N.H.: (1983). A new device for the measurement of pressure distribution inside the shoe. *Biomechanics VIII - X*. Tokio.
10. CLARKE, T.E.; FREDERICK, E.C.; HAMILL, C.L.: (1983). The effects of shoe design parameters on rearfoot control in running. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 15 (5), pp. 376-381.
11. CLARKE, T.E.; FREDERICK, E.C.; COOPERT, L.B.: (1983). Biomechanical aspect of sport shoe and playing surfaces (pp. 73-76). Calgary: University Printing.
12. CLARKE, T.E.; FREDERICK, E.C.; COOPERT, L.B.: (1983). Effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. *International Journal of Sport Medicine*, 4, 25-33.
13. CLAUSTRE, J.; BENEZIS, C.; SIMON, L.: (1984). *Le pied en pratique sportive*. Paris: Editorial Masson.
14. DENOTH, J.; NIGG, B.: (1982). The influence of various sport floors on the load on the lower extremities. *Biomechanics VII-B*. Varsovia. P.V.N.
15. DENOTH, J.: (1985). Load on the musculoskeletal system and modelling. *Biomechanics on running shoes* (pp. 105-172). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
16. ESPARZA, E.; AGUADO, J.; MARTÍNEZ, M.: (1985). Análisis del movimiento de pronosupinación del tobillo. *Revista de Educación Física*. 3, 32.
17. FREDERICK, E.C.; HAGY, J.L.; MANN, R.A.: (1981). Prediction of vertical impact force during running. *Journal of Biomechanics*, 14, 498.
18. FREDERICK, E.C.; CLARKE, T.E.; HAMILL, C.L.: (1984). The effect of running shoe design on shock attenuation. *Sport shoe and playing surfaces* (pp. 190-198). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
19. KERR, B.A.; BEAUCHAMP, L.; FISHER, V.; NEIL, R.: (1983). Footstrike patterns in distance running (pp. 135-142), *Biomechanics aspects of sport shoes and playing surfaces*. Calgary: University Printing.
20. LANSHAMMAR, L.; STRANBERG, L.: (1983). Horizontal floor reaction forces and heel movements during the initial stance phase. *Biomechanics VIII*. Tokio: Human Kinetics.
21. LUFTHI, S.M.; DENOTH, J.; KAELIN, X.; STACOFF, A.; STUESSI, E.: (1985). The influence of the shoe on the foot movement and shock attenuation in running. *Biomechanics X-B*. (pp. 931). Champaign, Illinois: Human Kinetics.
22. NIGG, B.M.; EBERLE, G.; FREY, D.; LUETHI, S.M.; SEGESSER, B.; WEBER, B.: (1978). Gait analysis and sport shoe construction. *Biomechanics VI-A* (pp. 303-309). Baltimore. University Park Press.
23. NIGG, B.M.: (1985). *Biomechanics of running shoes*. Champaign, Illinois. Human Kinetics.
24. RIERA, J. y col.: (1986). Análisis cinemático de los desplazamientos en la competición de balonmano. *Revista de Investigación y documentación sobre las Ciencias de la Educación Física y del Deporte*, 3, (pp. 29-42).