

RELACION VELOCIDAD-ACELERACION EN FUTBOLISTAS Y BASQUETBOLISTAS DE ALTO RENDIMIENTO

Rodolfo Limón Lason *
Alfredo Rosas Martínez **
Rafael Urrutia Zamudio **
Ramiro Vázquez Zetina **

INTRODUCCION

Con el descubrimiento de las leyes de la mecánica clásica descritas por Newton, se iniciaron observaciones del movimiento humano con rigor científico que provocaron en las primeras décadas de este siglo un nuevo enfoque e interés en el estudio de las actividades deportivas con base en estas leyes y en el desarrollo de modelos matemáticos.¹

Aunque desde el punto de vista puramente mecánico podemos considerar al cuerpo como un modelo compuesto por palancas y resortes que actúan a una velocidad máxima limitada de 36.07 km/h y con una aceleración cercana a los 6 m/seg² durante los primeros metros del desplazamiento.^{25, 23} En el ser humano, detrás de cada contracción muscular, existe un plan, un programa que se encuentra estrechamente controlado por sistemas de retroalimentación altamente eficientes y complicados^{6, 22}.

Cuando el cuerpo pasa del estado de reposo al de movimiento o viceversa, se producen fenómenos de aceleración y desaceleración caracterizados primordialmente por desplazamiento de la masa del cuerpo en el espacio.²¹

Los modelos matemáticos que describen estos fenómenos son:

$$a) \quad \text{velocidad} = \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}}; \quad v = \frac{dd}{dt}$$

$$b) \quad \text{aceleración} = \frac{\text{velocidad}}{\text{tiempo}}; \quad a = \frac{dv}{dt}$$

d = diferencial

$$c) \quad \text{aceleración} = \frac{\text{vel. final} - \text{vel. inicial}}{\text{tiempo}};$$

$$ap = \frac{vf - vi}{t}$$

$$d) \quad \text{desaceleración} = - \frac{\text{velocidad}}{\text{tiempo}};$$

$$desa = - \frac{v}{t}$$

Dentro del deporte, la actividad que podemos considerar como prototipo del movimiento es la carrera de velocidad, para cuyo desarrollo se requieren grandes incrementos en velocidad y aceleración en distancias cortas y en tiempo breve.

La realización de este trabajo tuvo como objetivo llevar a cabo mediciones de velocidad y aceleración en futbolistas y basquetbolistas de alto rendimiento para conocer las relaciones entre estos fenómenos, así como su representación gráfica, con el fin de comparar diversos deportes y conducir el entrenamiento.

MATERIAL Y METODO

Se estudiaron 50 individuos sanos del sexo masculino, integrantes de la Primera División de Fútbol Profesional de México (22 ju-

* Jefe del Programa de Biología del Desempeño Humano. E.N.E.P.- Ixtacala. U.N.A.M.

** Asesores del Programa de Biología del Desempeño Humano E.N.E.P.- Ixtacala. U.N.A.M.

gadores), de la Conferencia Nacional de Basquetbol (12 jugadores) y un grupo testigo de individuos no entrenados (16 sujetos) cuya edad se encuentra entre 20 y 35 años. Las pruebas se realizaron sobre una distancia de 60 metros. Se recomendó a los deportistas el uso de la indumentaria habitual del deporte que practican.

Se llevaron a cabo mediciones del tiempo utilizado en la carrera de 60 metros planos, con tomas de tiempo parcial cada 10 metros, utilizando cronómetros digitales de centésimas de segundo. Con los tiempos obtenidos se calcularon velocidad y aceleración y se elaboraron las gráficas correspondientes.

RESULTADOS

Con los valores obtenidos en uno de los sujetos de estudio y cuyos datos se muestran en la tabla I, se procedió a realizar dos tipos de gráficas que pueden obtenerse de estos fenómenos con el propósito de presentar los resultados lo más objetivamente posible, ya que se pueden realizar diversas gráficas si se

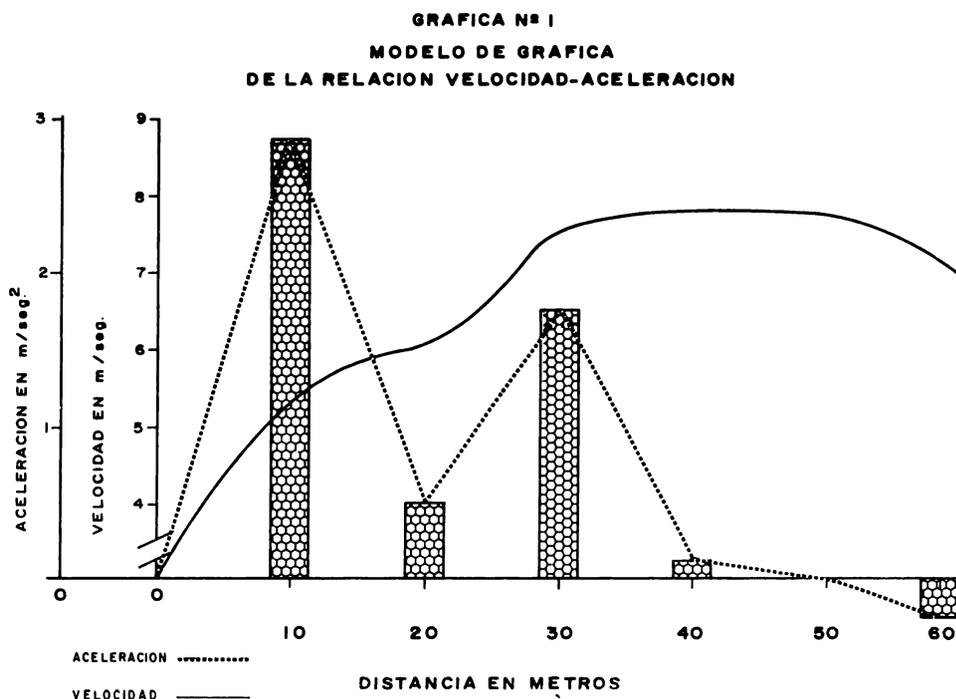
cruzan los valores de distancia, tiempo, velocidad y aceleración.

TABLA I

VALORES OBTENIDOS DE UN FUTBOLISTA EN LA CARRERA DE 60 METROS.

Distancia (m)	Tiempo (seg.)	Velocidad m/seg	Aceleración m/seg ²
10	1.86	5.37	2.87
20	3.33	6.00	0.50
30	4.00	7.50	1.75
40	5.16	7.75	0.12
50	6.45	7.75	0.00
60	8.33	7.20	-0.25

En la gráfica No. 1 se representa en forma de curva la velocidad y en forma de picos la aceleración. Estos picos representan aceleraciones promedio en cada 10 metros, mostrándose las diferencias en las magnitudes de velocidad y aceleración, y se considera que únicamente los trazos por debajo del eje X son resultados del fenómeno de desaceleración.



En la gráfica No. 2 puede observarse que la curva representativa de la velocidad se comporta en forma cercana a la lineal, mientras que la que representa la aceleración lo hace con inflexiones; esto indica que los incrementos de velocidad, aunque pequeños, implican grandes aceleraciones. En la curva de aceleración (velocidad contra tiempo) las pendientes de los segmentos de recta representados significan precisamente la magnitud de la aceleración en cada tramo.

Por lo expuesto, utilizaremos para graficar la representación de picos y curvas únicamente para facilitar la lectura e interpretación de las gráficas.

Cuatro características pueden observarse en las gráficas de velocidad-aceleración:

- a) El incremento de aceleración en los momentos iniciales.
- b) La distancia en que se alcanza la aceleración máxima.
- c) La capacidad para mantener la velocidad máxima en la carrera.
- d) La aptitud para resistir la fatiga durante la fase final de la carrera.

En la gráfica No. 3 se presentan las curvas del grupo testigo, se observa un incremento de aceleración inicial que varió entre 1.11 y 3.95 m/seg² durante los 10 primeros metros. La aceleración máxima se alcanzó en tres de los 16 sujetos, entre 20 y 30 metros, en tanto que el resto de los individuos la alcanzó en los primeros 10 metros. La velocidad máxima se obtuvo en dos de ellos entre 30 y 40 metros, en tanto que 14 individuos la obtuvieron entre 40 y 50 metros. Valores de desaceleración fueron observados desde los 40 metros en 12 de los 16 sujetos testigo.

En la gráfica No. 4 se presentan las curvas obtenidas en el grupo de futbolistas, en las que se puede observar un incremento de aceleración inicial que varió entre 1.92 y 3.98 m/seg² durante los primeros 10 metros. La máxima aceleración se alcanzó en cinco de los 21 sujetos a los 30 metros, en tanto que el

resto de los participantes la alcanzó en los primeros 10 metros. La velocidad máxima se obtuvo en 16 de los individuos entre los 40 y 50 metros, en tanto que 5 de ellos la alcanzaron entre los 50 y 60 metros. Fueron observadas cifras de desaceleración en cuatro sujetos desde los 40 metros y en tres casos a los 50.

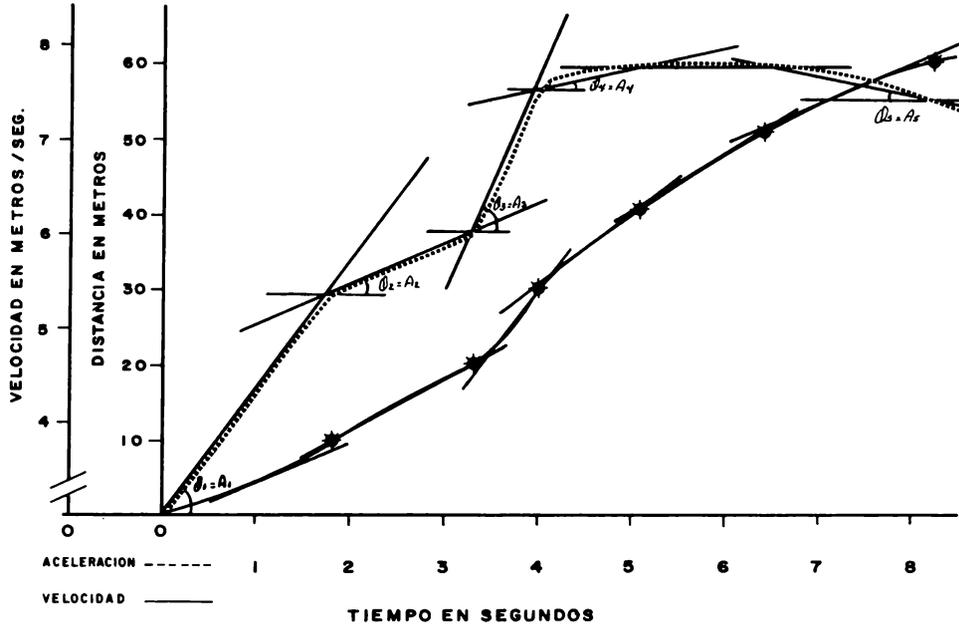
En la gráfica No. 5 se presentan las curvas de velocidad-aceleración del grupo de basquetbolistas, en las que observamos incremento de aceleración inicial que varió entre 2.35 y 3.85 m/seg² durante los primeros 10 metros. La aceleración máxima se alcanzó en dos de los 12 sujetos a los 20 metros, en tanto que el resto de los basquetbolistas la obtuvieron en los 10 metros iniciales. La velocidad máxima se registró en cinco individuos entre los 50 y 60 metros, mientras que en el resto entre los 20 y 50. Fueron observados valores de desaceleración en cuatro de los 10 basquetbolistas desde los 40 metros y en uno de los casos desde los 30.

De las gráficas anteriores se puede derivar que los basquetbolistas presentan solamente un gran pico de aceleración que corresponde a los 10 primeros metros, manteniendo sus valores de aceleración en forma agrupada. En contraste, el grupo de futbolistas presenta, entre otras cosas, mayor dispersión de los valores; existen dos y hasta tres grandes picos de aceleración y alcanzan hasta los 30 metros de la prueba su aceleración máxima. En el grupo testigo se observa dispersión de los valores de aceleración semejantes a los de futbolistas, pero con una aceleración máxima en los primeros 10 metros del desplazamiento, semejante al grupo de basquetbolistas.

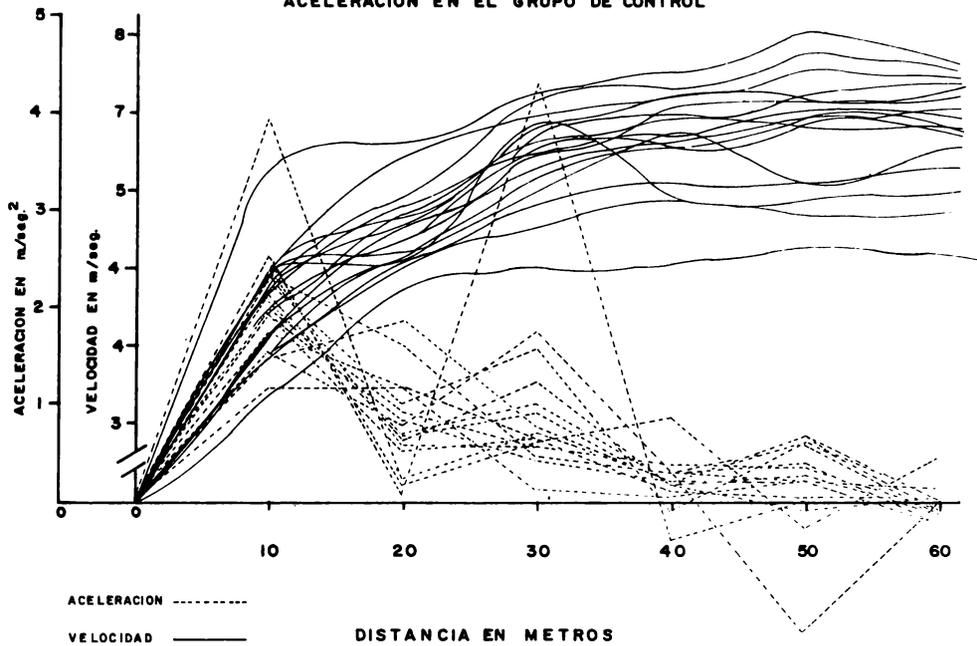
DISCUSION

Desde la aparición del hombre sobre la tierra éste se encuentra restringido en tiempo y espacio. Aunque su percepción del espacio es buena y de tipo tridimensional, en lo que corresponde al tiempo no es capaz de percibir grandes periodos como el de la evolución humana, ni intervalos muy cortos como los milisegundos, por lo que requiere de ciencias

GRAFICA N° 2
MODELO DE GRAFICA
DE LA RELACION VELOCIDAD-ACELERACION

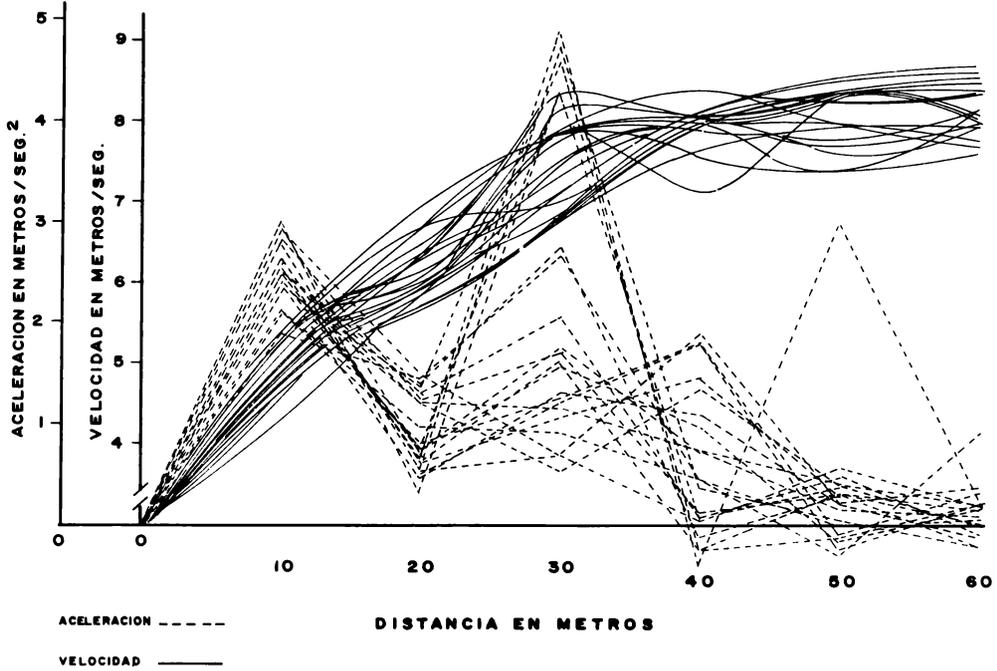


GRAFICA N° 3
SE REPRESENTAN LAS CURVAS DE VELOCIDAD
ACELERACION EN EL GRUPO DE CONTROL



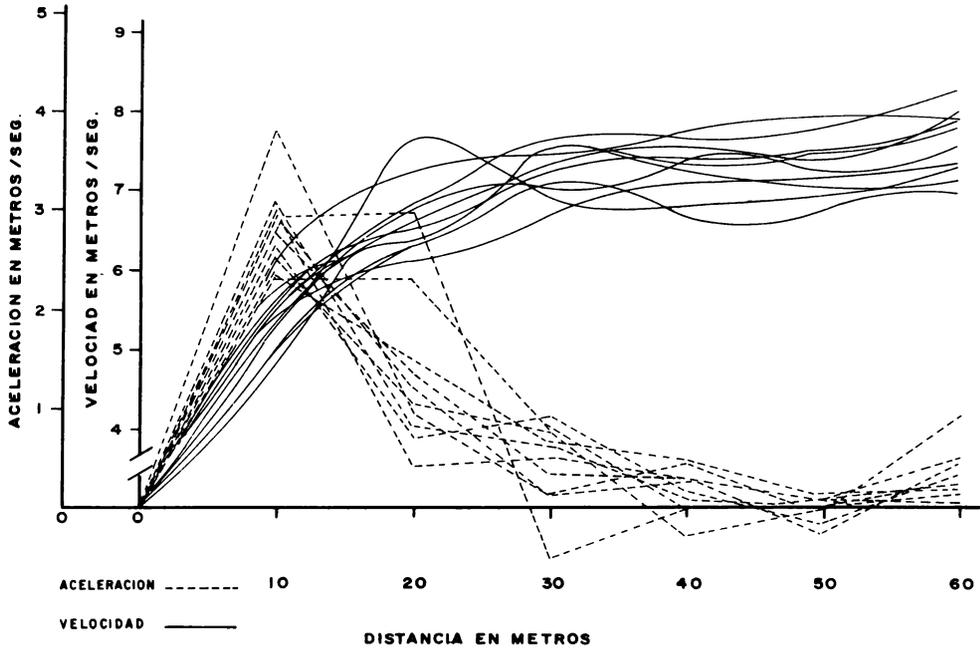
GRAFICA N° 4

SE REPRESENTAN LAS CURVAS DE VELOCIDAD,
Y ACELERACION EN EL GRUPO DE FUTBOLISTAS



GRAFICA N° 5

SE REPRESENTAN LAS CURVAS DE VELOCIDAD
Y ACELERACION EN EL GRUPO DE BASQUETBOLISTAS



como antropología, física y matemáticas, así como el desarrollo de aparatos e instrumental de alta precisión para lograr entender estos fenómenos.⁹

Las circunstancias de sobrevivencia reinantes a partir de las primeras épocas, lo obligaron a realizar desplazamientos rápidos, ya fuera para atrapar una presa o evitar ser alcanzado por otros animales. Este tipo de circunstancias favoreció el desarrollo de su estructura en cuanto a huesos, músculos y articulaciones que forman y funcionan como palancas que lo hacen más veloz que fuerte, debido a que la ventaja mecánica que se obtiene de estas palancas favorece su capacidad de aceleración^{1, 9}.

Aunque el movimiento humano ha estado sujeto a la observación y reproducción desde los tiempos prehistóricos, según lo muestran pinturas halladas en cuevas y cerámica, esta actividad motora, a pesar de exigir importantes sistemas de percepción y retroalimentación, con el paso del tiempo se ha convertido en un fenómeno tan cotidiano para el hombre, que éste ha perdido el interés en su observación y estudio.

Si consideramos que el principal objetivo de la carrera en el ser humano es desplazar su propio cuerpo tan rápido como sea posible, podríamos interpretar la carrera como una serie de movimientos de un segmento sobre otro que tiende a seguir el centro de masa que se ha lanzado.

En la carrera es posible reconocer cuatro componentes principales, asociados principalmente a la actividad muscular del miembro pélvico, así como a las articulaciones de la cadera, rodilla y pie. Estos cuatro componentes son:

- a) fase de apoyo,
- b) fase de flotación,
- c) tamaño y frecuencia de la zancada,
- d) fuerza ejercida por el pie al contacto del suelo.

Todos ellos se modifican debido a la intensidad de la carrera, al nivel competitivo del sujeto y al gasto energético requerido para desplazar la masa del sujeto en sentido vertical y horizontal.^{13, 18, 23} Dicho gasto es utilizado, además, en los movimientos de brazos

y piernas tanto durante la carrera como durante la fricción que se produce al contacto entre la superficie del terreno y el área del pie que se apoya, así como en vencer la resistencia del aire; por esta razón las técnicas de entrenamiento de velocidad tienden actualmente a evitar movimientos de la cabeza y el tronco del corredor y se busca presentar la menor superficie de contacto entre el pie y el terreno, utilizando zapatos con placas y clavos pequeños y delgados, lo que favorece el apoyo únicamente con una parte del pie a través del área que representan los clavos.

Se ha reconocido que el incremento de la velocidad hace disminuir la fase de flotación y sobre todo la fase de apoyo, provocando un desplazamiento mayor así como aumento en la velocidad del pie, en particular cuando toca el suelo (fuerza ejercida por el pie), de esta forma se obtiene un incremento en la velocidad angular, principalmente durante la extensión del tobillo y la elevación de la punta del pie, lo que se refleja en un promedio de zancadas de 2.9 a 3 por segundo en una carrera de 60 metros.^{11, 3}

Volkov y Lapin encontraron que la máxima velocidad alcanzada por corredores de 100 metros se presenta 4 a 5 segundos después de iniciarse el desplazamiento, lo cual concuerda con lo encontrado por nosotros, no obstante que la distancia de la prueba fue menor. Al mismo tiempo, se sabe que la energía requerida para la contracción muscular durante los primeros 5 a 6 segundos se obtiene de las reservas intramusculares de ATP y fosfocreatina. Por esta razón, la velocidad máxima de la carrera puede ser considerada, entre otras cosas, como "un equivalente mecánico del grado máximo de liberación de energía del proceso anaeróbico aláctico"^{24, 16, 8}

El grado de aceleración inicial refleja, entre otras cosas, la rapidez con que los procesos energéticos se desdoblán, así como el incremento en las fuerzas contráctiles del músculo, de las que las más estudiadas han sido: relaciones longitud-tensión, fuerza-tensión, fuerza-velocidad, fuerza-aceleración, longitud-fuerza y tiempo-tensión. Estas relaciones dependen, a su vez, de la intensidad con

que el atleta se ha movilizó para realizar un máximo esfuerzo, de la estructura corporal del individuo y de su coordinación neuromuscular.^{15, 17}

Cuando se realiza el estudio de la carrera, aparecen datos mecánicos, electromiográficos y neurofisiológicos, que explican el orden y la complejidad con que se llevan a cabo los fenómenos de marcha y carrera.

En los últimos años, diversos autores han realizado observaciones del ciclo de la carrera en banda sinfín utilizando en forma sincronizada electromiografía computada y cinematografía de alta velocidad, con la idea de estudiar la interacción muscular durante dicho ciclo; sin embargo, este tipo de observaciones se ha llevado a cabo a velocidades constantes, por lo que el fenómeno de aceleración no puede ser visualizado, ya que, por principio cinemático, se sabe que cuando la velocidad es constante, la aceleración es igual a cero.^{12, 2, 5}

Hoshikawa y colaboradores¹¹ investigaron los componentes de la carrera que se encuentran adaptados a los cambios progresivos de velocidad. Utilizando siete diferentes velocidades, desde 3.33 m/seg hasta 8.33 m/seg, observaron que el aumento de la aceleración es producto de la frecuencia y el largo de la zancada y que a mayor velocidad gran parte de la aceleración está dada por la frecuencia de la zancada.

Al estudiar comparativamente la salida entre la posición de pie e hincado, Desipres¹⁰ observó que el atleta que está de pie requiere un esfuerzo mayor para romper su estado de equilibrio, debido a que su centro de gravedad se encuentra atrás de la posición de sus pies. Por ello el atleta que arranca hincado tiene un tiempo de reacción menor, y el tiempo utilizado en recorrer los primeros 5 metros favorece a la salida desde esta posición (0.78 contra 0.95 seg). Es por esto que la postura que adopta durante la salida un corredor de 100 metros, está diseñada para permitir al individuo romper fácilmente el estado de equilibrio al dejar caer su cuerpo hacia adelante, con lo cual lanza su centro de masa obligándose a "perseguir" dicho centro. Aunado a esta ruptura del equilibrio, está la co-

locación de la pierna propulsora en primer plano, lo que permite mantener una fuerza horizontal durante la aceleración inicial y reduce la resistencia del aire.^{4, 7}

En el desarrollo de la actividad física cobra interés singular la relación de estos fenómenos, ya que se conoce cuán importante es para el buen desempeño deportivo alcanzar un balón, despejar una pelota, arrancar en el menor tiempo posible, acelerar más los segmentos de un miembro durante un lanzamiento o el interceptar un pase, pues de ello depende en gran medida el éxito o fracaso deportivo.

CONCLUSIONES

- 1) Los procesos de velocidad y aceleración, así como su relación, pueden ser medidos y analizados, de tal manera que es posible entender y explicar el desplazamiento de uno, varios o todos los segmentos corporales.
- 2) Los cálculos matemáticos derivados de estas mediciones, permiten proponer criterios ergonómicos, ergométricos y bioenergéticos, que presentan al movimiento humano dentro de un marco referencial y dimensional de uso común.
- 3) El tipo de mediciones y los resultados numéricos, permiten comparar y contrastar el desempeño en diferentes deportes, tal es el caso entre basquetbolistas y futbolistas, en los que observamos que el tipo de deporte, el área donde se practica, así como las características propias de cada actividad, condicionan actitudes motoras.
- 4) Las mediciones sistematizadas y secuenciadas, permiten reconocer las características que asocian la conducta motora con aspectos trascendentes en el deporte, como pueden ser los efectos de la fatiga, así como la relación entre la enseñanza de la técnica deportiva y el aprendizaje motor de los mismos.

RESUMEN

Es importante conocer de la relación que existe entre velocidad y aceleración, porque nos permite caracterizar la importancia de este fenómeno y asociarlo a la conducta motora de los deportistas.

Los sujetos de este estudio fueron 50 hombres entre 20 y 35 años, integrantes de la Primera División de Fútbol Profesional de México, de la Conferencia Nacional de Basquetbol y un grupo testigo de individuos no entrenados. Las observaciones se realizaron en el campo de juego durante el desarrollo de la carrera de 60 metros planos; con los tiempos parciales y totales obtenidos en dos eventos, se calcularon velocidad y aceleración y se elaboraron las gráficas correspondientes.

El análisis de resultados nos permite observar un incremento inicial de la aceleración mayor en los basquetbolistas. La mayoría de los individuos de estudio alcanzó su velocidad máxima en los primeros 10 metros. La velocidad máxima en la prueba la obtuvo el grupo de futbolistas, quienes además presentaron dos y hasta tres "picos" de aceleración. Se observaron valores de desaceleración en 31 de los 50 sujetos.

SUMMARY

It is important to know the relation between speed and acceleration because it allows us to characterize the importance of this phenomenon and to associate it with motor behavior of sportsmen.

The subjects of this study were 50 men with ages between 20 and 35 years all of them members of the Professional Foot-ball Soccer Association of Mexico and of the National Basket-ball Conference. A group of non trainees were utilized as controls. Observations were made at the campus during races of 60 meters distance. Using partial and total times obtained in two events, velocity and acceleration were calculated and graphics were made.

Analysis of the results allowed us to observe an initial increase of acceleration, greater in basket-ball players. Most of the studied

subjects obtained their maximum speed during the first 10 meters. Foot-ball players obtained maximum speed of the study, who also presented two or three peaks of acceleration. Deacceleration values were observed in 31 of the 50 subjects.

BIBLIOGRAFIA

1. **Asmussen, E.:** "Movement of man and study of man in motion" *Biomechanics V-A*, pp. 23-40. University Park Press, 1976.
2. **Basmajian, J.:** *Muscle Alive*. Tercera edición, pp. 50-57. The Williams & Wilkins Company, 1974.
3. **Bates, B., L. Osterning y B. Mason:** "Functional variability of the lower extremity during the support phase of running". *Medicine and Science in Sports*. Vol. II, No. 4, pp. 328-331, 1979.
4. **Baumann, W.:** "Kinematic and dynamic characteristics of the sprint start". *Biomechanics V-B*, pp. 194-199. University Park Press, 1976.
5. **Bigland, B. y O. Lippold:** "The relation between force, velocity and integrated electrical activity in human muscles". *J. Physiology*, 123: 214-224, 1954.
6. **Brandell, B.:** "An analysis of muscle coordination in walking and running gaits". *Biomechanics III*, pp. 278-287. *Medicine and Sport*, 1973.
7. **Cavagna, G., L. Komarek y S. Mazzoleni:** "The mechanics of sprint running". *J. Physiology*. London, 217: 709-721, 1971.
8. **Cavagna, G. F. Saibene y R. Margaria:** "Mechanical work in running". *J. Appl. Physiology*, 17: 249-256, 1964.
9. **Childe, V.:** *Los orígenes de la civilización*. Fondo de Cultura Económica. México, 1980.
10. **Desipres, M.:** "Comparison of the kneeling and standing sprint starts". *Biomechanics III*, Vol. 8, pp. 364-369. *Medicine and Sport*, 1973.
11. **Hoshikawa, T., H. Matsui y M. Miyashita:** "Analysis of running pattern in relation to speed". *Biomechanics III*, pp. 342-348. *Medicine and Science in Sports*, 1973.
12. **Elliot, B. y B. Blanksby:** "The synchronization of muscle activity and body segment movements during a running cycle". *Medicine and Science in Sports*, Vol. II, No. 4, pp. 322-327, 1979.
13. **James, S. y C. Brubaker:** "Biomechanics of running". *Orthop. Clin. of North America*, 4: 605-615, 1973.
14. **Ikai, M.:** "Biomechanics of sprint running with respect to speed curve". *Biomechanics I*, pp. 232-240. *Medicine and Sport*, 1967.
15. **Margaria, R., P. Aghemo y E. Rovelli:** "Measurements of muscular power (anaerobic) in man". *J. Appl. Physiology*. 21: 1662-1664, 1964.

16. **Margaria, R., P. Cerretelli y F. Mangili:** "Balance and kinetics of anaerobics energy release during strenuous exercise in man". *J. Appl. Physiology*, 19: 623-628, 1964.
17. **Murase, Y., T. Hoshikawa y N. Yasuda:** "Analysis of the changes in progressive speed during 100 meter dash". *Biomechanics V-B*. p.p. 200-207. University Park Pres, 1976.
18. **Nelson, R. y R. Osterhoudt:** "Effects of altered slope and speed on the biomechanics of running" *Biomechanics II*, pp. 220-224. *Medicine and Sport*, 1971.
19. **Radford, P. y A. Upton:** "Trends in speed of alternated movement during development and among elite sprinteres". *Biomechanics V-B*, pp. 188-193. *University Park Press*, 1976.
20. **Rash, P. y R. Burke:** *Kinesiology and Applied Anatomy*. Sexta Edición, pp. 399-404. Lea & Febiger, 1978.
21. **Resnick, R. y D. Halliday:** *Physics*, Vol. I, pp. 355-428. John Wiley & Sons, 1972.
22. **Ross, A. y A. Turing:** Seriven, M.: *Mentes y Máquinas*, pp. 137. U.N.A.M. México, 1970.
23. **Slocum, D. y S. James:** "Biomechanics of running". *J.A.M.A.*, 205: 740-742, 1968.
24. **Volkov, N. y V. Lapin:** "Analysis of the velocity curve in sprint running". *Medicine and Science in Sports*, Vol. II, No. 4, pp. 332-337, 1979.
25. **Wells, G.:** *Basic Kinesiology of Human Motion*. W.B. Saunders Company, 1975.