

# La variabilidad humana: el entrenamiento físico

Prof. A. GALLEGO,  
(España).

La especie humana muestra una gran variabilidad en sus manifestaciones intelectuales y de proyección motora ambiental. El hombre, como individuo, mantiene su estructura y función dentro de ciertas constantes, algunas de las cuales pueden variar por un mecanismo de adaptación a estímulos propios o ambientales repetidos en forma adecuada. El tipo de variación más fácil de comprender nos lo da el entrenamiento físico, que produce una adaptación del organismo a un nivel superior de rendimiento ante el «stress» mantenido de ejercicios repetidos. Las posibilidades físicas de un individuo, en un momento dado, ante el esfuerzo que se le solicita, dependen de su constitución, de su perfil fisiológico y de la cuantía y calidad del entrenamiento físico a que esté sometido.

Si juzgamos por los rendimientos atléticos de los mejor dotados, es indudable que las posibilidades físicas de la especie humana han mejorado de forma progresiva en los últimos cien años. Las marcas mundiales de salto de longitud, que se conservan registradas desde 1866, muestran una progresiva mejoría desde el salto de 6 m. de FITZHERBERT en el citado año, hasta el de 8'34 m. de BOSTON, en 1964. En la figura 1 está representada gráficamente tal progresión: la curva 1 expresa la mejoría media de las marcas y la curva 2, las fluctuaciones periódicas en la obtención de las mismas.

Igual fenómeno puede ser demostrado en períodos de tiempo más corto, con el desarrollo de las marcas olímpicas para los 400 m. estilo libre (fig. 2). Estos ejemplos ponen en evidencia un fenómeno general en el rendimiento físico de la especie humana, que puede demostrarse a nivel de diversas comunidades por el

simple estudio de la mejoría progresiva de sus marcas atléticas.

En este perfeccionamiento físico intervienen varios factores: selección de los atletas sobre una base de población más amplia y técnicas de entrenamiento más adecuadas pero, sobre

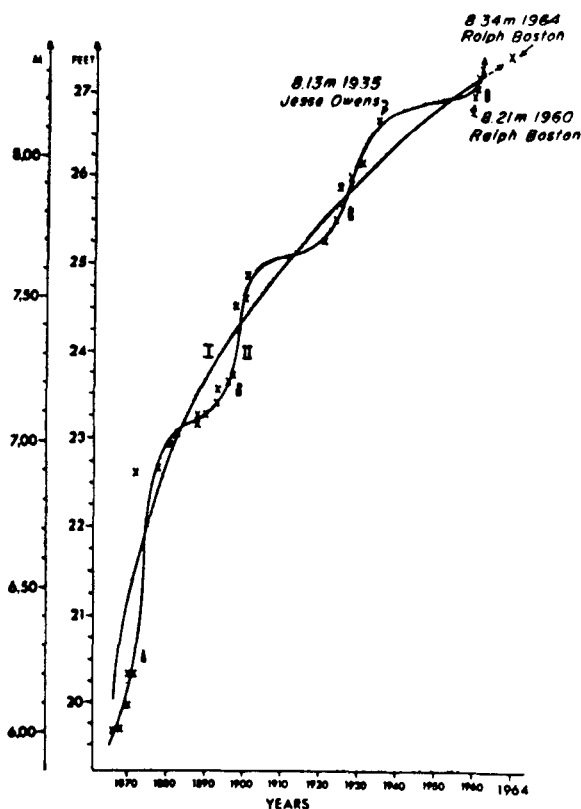


Fig. 1. — Curva de las marcas mundiales en salto de longitud desde 1866. La curva I muestra la mejoría media y la II las fluctuaciones periódicas. La marca mundial de Jesse Owen de 1935 permaneció imbatida durante 25 años. El valor de predicción de la curva I se corroboró por la marca mundial de Ralph Boston de 1964 (8,34 metros). (JOKL y Cols. 1966).

todo, a que las mejores condiciones higiénicas, médicas y sociales en que se desenvuelven las diversas comunidades humanas, han dado lugar

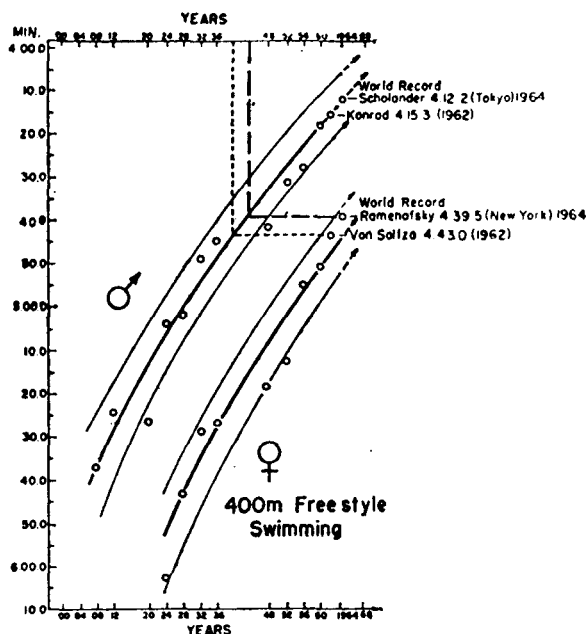


Fig. 2. — Desarrollo de las marcas en natación, 400 metros estilo libre, desde comienzos de siglo, construido con datos de las marcas olímpicas obtenidas por hombres y mujeres. El récord mundial de «schollander» en Tokio coincidió exactamente con el tiempo estimado. (JOKL y Cols. 1966).

a hombres y mujeres cada vez más perfectos físicamente, unido a una ampliación muy significativa del período de vida activa.

Es sorprendente comprobar que los atletas que asistieron a los Juegos Olímpicos de Tokio tenían edades comprendidas entre los 13 y los 65 años, margen que no se había dado en ninguna de las Olimpiadas anteriores. El perfeccionamiento físico que comentamos se ha atribuido a una nutrición más científica de toda la población, a la lucha sanitaria que ha eliminado o reducido los efectos de gran número de enfermedades infecciosas, a la disminución de la consanguinidad, al mayor intercambio entre las distintas comunidades y grupos sociales, a un aumento progresivo de la temperatura terrestre y, por supuesto, también a una mejor educación física y a una mayor posibilidad de practicar el ejercicio físico con estímulo competitivo.

El hecho es que el aprovechamiento científico de los factores genéticos y ambientales ha dado lugar a un crecimiento más rápido de los niños y a un envejecimiento más lento de los adultos, con la consecuencia de una vida indi-

vidual activa más prolongada. En los pueblos escandinavos (ASMUSSEN, 1964) la edad de la menarquia ha pasado de los 17 a los 13 años y el «estirón» de crecimiento en los jóvenes, debido a los cambios hormonales característicos de la pubertad que tenía lugar en 1800 hacia los 17 años, comienza ahora hacia los 13. Como los niños y niñas maduran antes, sus ejecutorias físicas se acercan antes a las de los adultos: PATTY CARETTO, una nadadora americana de 13 años, estableció en 1964 la marca mundial para los 1.500 m. natación, en un tiempo de 18 minutos, 30 segundos, 3 décimas, igual al logrado por el ganador de la misma prueba para hombres en la Olimpiada de Helsinki, en 1952.

El estudio de los atletas que en las últimas décadas han participado en competiciones internacionales, demuestra también un aumento progresivo de sus dimensiones corporales. Los atletas de hoy son mayores y de mayor peso que los de hace 40 años, si bien su somatotipo no ha cambiado cualitativamente. En la figura 3 (DE JOKL y cols., 1965) tenemos la altura y peso de los finalistas en las pruebas de lanzamiento y carreras de resistencia de las Olimpiadas de Amsterdam (1928), Roma (1960) y Tokio (1964).

Dentro del grupo de las pruebas de lanzamiento (fuerza) se comprueba un cambio cuantitativo, no de somatotipo. Ello tiene su base orgánica en el hecho de que en el desarrollo del sistema muscular se comprueba desde hace 40 años que la proporción entre el área de sección de cualquier músculo y su longitud ha crecido a un ritmo de 1'13/1. Siendo los atletas de hoy un 6 % más altos que los de 1927, tienen sin embargo un 13 % más de fuerza muscular. Hechos análogos se comprueban en relación con el tamaño de los pulmones, corazón, cantidad de Hb en la sangre, área alveolar y áreas de sección de la aorta, arterias coronarias, ilíacas y, con toda seguridad de todo el sistema arterial. Los atletas de hoy son capaces de obtener niveles 13 % mayores en su máxima capacidad aerobia. Los atletas que practican deportes para los que no se seleccionan altos y pesados, tales como corredores de resistencia, ciclismo, natación y ski, tienen, sin embargo, características funcionales y morfológicas distintas de los que practicaban los mismos deportes hace 40 años: razones mayores, mayores arotas, mayores pulmones y mayores coronarias. Pero las mejorías en las marcas atléticas se han producido especialmente en aquellas ramas del atletismo que requieren fuerza, más que en las que requieren resistencia.

En los resultados físicos obtenidos han influido decisivamente una mejor selección de los individuos y un entrenamiento adecuado desde niños. Para ello es importante conocer sus características tipológicas y las diferencias que el sexo impone en las actividades físicas. En un estudio con varios miles de chicos africanos, sin entrenar, JOKL (1946-1949) pudo demostrar que en los varones, el aumento de fuerza muscular en la pubertad puede ser desproporcionado a su crecimiento en dimensiones corporales, lo que trae como consecuencia una mayor resistencia y, posiblemente, una superior capacidad aerobia también. En las niñas, el aumento de fortaleza en la pubertad va acompañado de una disminución en su resistencia física. La fortaleza y resistencia se mejoran en los varones de forma paralela, mientras que las niñas se hacen más fuertes antes, pero se fatigan más rápidamente después de la pubertad.

El desarrollo óseo y muscular puede dirigirse en el sentido más adecuado a las condiciones físicas del joven. Por ejemplo, el gimnasta habrá de dar los mejores resultados cuando se trate de cuerpo pequeño y muy musculado. Esto explica el éxito de los gimnastas japoneses en las citadas Olimpiadas de Tokio. Es de sobra conocida la selección que se hace de individuos altos y ágiles para equipos de baloncesto y de los macizos y musculados para los deportes de lanzamiento. En la figura 3 veíamos la talla y el peso de dos tipos de atletas: corredores de resistencia y lanzadores de pesos, que definen caracteres somáticos diferentes, apropiados en cada caso al deporte que practican.

Sobre una base tipológica, el entrenamiento puede exagerar las características diferenciales de los atletas que practican distintos deportes, dando los somatotipos definidores del nadador, corredor, boxeado y gimnasta.

Debe mencionarse también que si el somatotipo es un determinante para el éxito en atletismo, lo es en muchos casos sólo de segundo orden, siendo factor decisivo que sirve de base para el perfeccionamiento atlético el modo de sintetizar el acto motor, la manera de integrar los factores potenciales morfológicos y funcionales del cuerpo: el sistema nervioso central es el factor principal en el logro de marcas atléticas.

La mejora progresiva debido a los factores que hemos mencionado de los records deportivos se puede representar por curvas parabólicas con características matemáticas conocidas y que pueden extrapolarse de forma que predigan, a corto plazo, las marcas previsibles en competición. Por ejemplo, el módulo de progresión de la curva de la figura 2 demuestra que la marca mundial de SCHOLLANDER en Tokio, en 1964, coincide precisamente con los tiempos calculados. En los Juegos Olímpicos de Tokio de 1964 la mayor parte de las marcas obtenidas estaban incluidas en las cifras previstas con una diferencia no mayor de dos desviaciones «standard», lo que entra dentro del concepto de validez utilizando un criterio estadístico. Los resultados logrados en el salto de pértiga, considerablemente mejores que los predichos, lo fueron por la introducción de la pértiga de fibra, un desarrollo técnico.

Las consideraciones que acabamos de hacer son válidas mientras se conserven circunstancias técnicas y ambientales similares. Entre los factores técnicos que pueden modificar sustancialmente una marca atlética figuran, por ejemplo, la introducción de la nueva pértiga que acabamos de citar, zapatos especiales para salto y el procedimiento español de lanzamiento de jabalina, estilo barra, que no fue admitido en los juegos de competición.

Los factores ambientales pueden tener una influencia decisiva en las ejecutorias atléticas.

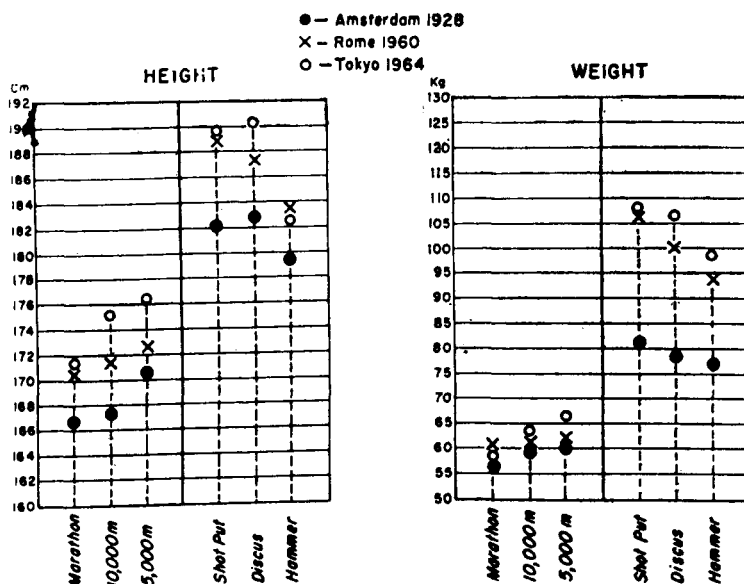


Fig. 3.— Talla y peso de los atletas finalistas en las pruebas de lanzamiento y de larga distancia en los Juegos Olímpicos de Amsterdam 1928, Roca 1960 y Tokio 1964. (JOKL y Cols. 1966).

De ahí el gran revuelo que produjo en los medios deportivos la designación de la ciudad de Méjico para la celebración de los próximos juegos olímpicos ya que, debido a la altitud de 2.239 m. sobre el nivel del mar, son de prever grandes anomalías en las marcas que obtengan los atletas concurrentes, hasta el punto de justificar el adjetivo de experimental que se ha dado por algunos a la Olimpiada de 1968.

Comparando las marcas obtenidas en las distintas ciudades donde se celebraron juegos panamericanos, ya que el tipo de atletas concurren-

tes era más homogéneo, es espectacular la pobreza de las marcas sobtenidas en Méjico en 1965. Las marcas logradas en ese año en Méjico, comparadas con las de los juegos panamericanos celebrados en ciudades situadas a menor altitud (tabla I) nos demuestran claramente un notable empeoramiento de los tiempos alcanzados en las carreras de resistencia, mientras que parecen mejorar en las de corta distancia, más aún teniendo en cuenta la diferencia de 8 años con los juegos de Sao Paulo, tomados como punto de comparación.

TABLA I

Diferencias en tiempos de las marcas logradas en los Juegos Panamericanos tomando como base los de 1963. a nivel del mar (Sao Paulo)

Carreras	Chicago (1959) 182 m. alt.	Boulder, Col. (1959) 1.631 m. alt.	México (1955) 2.239 m. alt.
100 m.	=	+ 0.2	=
200 m.	-- 0.6	-- 0.4	+ 0.5
400 m.	-- 0.6	-- 0.6	-- 1.3
800 m.	+ 1.1	-- 0.4	+ 1.4
1.500 m.	+ 5.6	+ 4.0	+ 9.7
3.000 m.	-- 11.5	+ 11.4	+ 38.9
5.000 m.	+ 2.7	+ 21.9	+ 1:04,9
10.000 m.	+ 25.1	+ 1:30.3	+ 2:50,5
42.000 m.	+ 1:00.6		+ 32:15,6

La menor presión y densidad del aire pueden justificar las mejorías en las pruebas de corta duración, realizadas prácticamente a base de metabolismo anaerobio. En estas condiciones, la capacidad de esfuerzo es la misma y la resistencia externa, de un aire de menor densidad, está disminuida. Pueden aparecer trastornos de recuperación después del esfuerzo, pero que son previsibles, más bien a partir de las pruebas de 400-800 m. y que luego comentaremos.

A 2.239 m. la pp. del O<sub>2</sub> atmosférico es de 113 mm. Hg. frente a 150 mm. de Hg. a nivel del mar. La saturación de la Hb en estas condiciones es sólo de 92 %, estando ya por debajo del límite inferior del óptimo fisiológico. El aporte de O<sub>2</sub> a los tejidos se hará precario ante un brusco aumento de demanda que se mantenga durante cierto tiempo. Esto va a tener dos consecuencias: el acúmulo de ácido láctico y el que el ATP producido para la resíntesis del fosfágeno queda limitado al obtenido durante la fase anaerobia, de glicólisis, esto es, 3 moléculas de ATP, en vez de 39,

El ácido láctico formado ha de ser oxidado, ya que su acumulación puede llegar a impedir la contracción muscular. Al formar láctico, el organismo va adquiriendo una *deuda de oxígeno* de cuantía proporcional al láctico formado. Esta deuda puede pagarse durante el ejercicio si éste no es fuerte y sostenido al adaptarse el organismo a un mayor consumo de O<sub>2</sub>, o bien al cesar el ejercicio, en la fase de recuperación. La capacidad de realizar esfuerzos mantenidos está relacionada con la de adaptación del sistema de aporte de O<sub>2</sub> al músculo, de forma que se pueda alcanzar un *estado estacionario* donde el O<sub>2</sub> aportado impida un aumento progresivo del láctico por encima de niveles compatibles con el imperativo homeostático.

Es fácil de comprender que una menor saturación de O<sub>2</sub>Hb en la sangre ha de dar lugar a deudas de oxígeno más altas y a dificultad de alcanzar un estado estacionario en los ejercicios fuertes y mantenidos. La fase de recuperación después del ejercicio se encontrará también muy prolongada, e incluso el grado de

agotamiento de los atletas puede ser tal que caigan en el síndrome ya descrito como mal de altura, caracterizado por náusea, vómitos, cefalea y una intensa sensación de debilidad.

La aclimatación a la altitud de la ciudad de Méjico no resolverá el problema, ya que la ventilación pulmonar se aumenta en un 25 %, con una disminución de un 15 % de capacidad aerobia, con lo que gran parte del aporte de  $O_2$  debe ser utilizado por la musculatura respiratoria.

El *entrenamiento* como actividad corporal puede considerarse como una adaptación a la sobrecarga del ejercicio. Los rendimientos físicos del individuo pueden mejorarse por el ejercicio sistemático, hecho inteligentemente y con arreglo a normas conocidas.

El desarrollo de cualquier actividad requiere un aumento de consumo energético sobre las necesidades basales del organismo. El alcanzar dicho consumo de la forma más económica posible es el resultado (o finalidad última) del *entrenamiento*.

La energía necesaria para la realización de actos motores deriva de la energía química potencial presente en los hidratos de carbono, grasas y proteínas del cuerpo y se hace utilizable por la formación de moléculas más pequeñas con enlaces ricos en energía, rápidamente disponible, mediante una serie de reacciones oxidativas. Durante el ejercicio, el hombre va a «quemar» sus reservas energéticas. Se producirá, por lo tanto, un aumento de consumo de  $O_2$  y de producción de  $CO_2$  y una disminución de sus reservas energéticas. La forma en que el individuo hace frente a esta situación depende de su adaptación al ejercicio, de su entrena-

miento.

En condiciones basales, el consumo de  $O_2$  es de un promedio de 250 ml. por minuto. Si recordamos que el valor calórico del  $O_2$  es de 5 c. litro quemando hidratos de carbono y algo menor para la mezcla con proteínas y grasas, llegamos a la conclusión de que un sujeto en condiciones basales consume aproximadamente 1.20 c/minuto. Disponemos hoy día de datos suficientemente precisos que nos permiten conocer el gasto energético de las actividades más diversas. Este gasto depende de las condiciones ambientales del sujeto y del ejercicio a realizar.

El gasto energético de toda clase de actividades, tanto deportivas como militares y laborales, ha sido cuidadosamente analizado en los últimos años, lo que ha permitido estudiar su rendimiento, así como seleccionar las formas más adecuadas para la ejecución de un ejercicio. Está demostrado, por ejemplo, que la forma más eficaz de caminar en llano es proporcional más a la energía total empleada en recorrer la distancia (calorías por milla) que al ritmo de gasto energético (calorías por hora), de forma que se utilizan menos calorías andando una milla a la velocidad de 3.5 millas por hora, que si se hace más despacio (2.3 millas por hora) o más deprisa (4.6 millas por hora).

El aumento de gasto calórico que produce el ejercicio se va a traducir en un incremento del consumo de  $O_2$ . Habitualmente representamos dicho aumento por la medida directa de consumo de  $O_2$  en un minuto y así, por ejemplo, en carreras de velocidad, ésta incrementa el consumo de  $O_2$  para una misma distancia, en la proporción representada en la tabla 2.

TABLA 2  
Necesidades de oxígeno para correr 120 yardas  
a diferentes velocidades

<i>Velocidad</i>	<i>Necesidades de oxígeno</i>	
	<i>Yardas por segundo</i>	<i>Litros por 120 yardas</i>
5.56	1.83	5.08
6.45	2.71	8.75
7.15	2.94	10.50
7.24	3.08	11.13
7.70	3.85	14.81
8.40	4.33	18.17
9.10	6.27	28.46
9.23	7.36	33.96

La cantidad máxima de  $O_2$  consumida por un sujeto, su capacidad aerobia máxima varía dentro de ciertos límites, pero podemos considerar como cifra promedio la de 4 litros de  $O_2$  por minuto. Se han dado valores excepcionalmente altos para algunos atletas, así DON LASH, quizá el primer atleta estudiado fisiológicamente de forma completa, en los años veinte, tenía una capacidad aerobia máxima de 5,35 l. de  $O_2$  por minuto. Entre los campeones olímpicos suecos de esquí en 1956 había tres con valores de 5,38; 5,49 y 5,88 y, todavía el año pasado, se comunicaban valores de 5,8; 6,0; 5,9 y 5,9 en el equipo alemán de remo, campeón olímpico en Toko, en 1964.

El consumo de  $O_2$  puede aumentar, pues, con el ejercicio, de 15 a 20 veces sobre el valor basal. Aun así la demanda de  $O_2$  en un ejercicio violento excede con mucho esta capacidad aerobia creándose una situación peculiar, característica del «motor» muscular: el trabajo con energía proporcionada en anaerobiosis y la adquisición de una «deuda de oxígeno». En la figura anterior veíamos que corriendo a una velocidad de 9 m. por segundo, el consumo de  $O_2$  era casi de 34 litros por minuto. A tal velocidad, la carrera de 120 yardas viene a durar 10 segundos, luego durante este tiempo se han consumido (34/6) 5,6 litros de  $O_2$  y en 10 segundos la capacidad aerobia (suponiendo 5 litros por minuto la del sujeto) habría sido de 833 ml. En estas condiciones, el atleta considerado había adquirido una deuda de oxígeno de 4,76 litros de  $O_2$ , un poco menos de un tercio de la deuda máxima tolerable, ya que, si bien la deuda mayor comunicada es de 22,8 litros después de una carrera de 10.000 m. su valor medio suele encontrarse entre 15 y 20 litros de  $O_2$ .

En resumen, pues, el ejercicio requiere un mayor aporte de  $O_2$  al músculo, que debe cubrirse por un reajuste de su transporte desde los pulmones (sangre y aparato cardiovascular) y por un incremento de captación a nivel del aparato respiratorio. Va a producir cambios significativos en el «motor» propiamente dicho, al sistema muscular, tanto morfológicos como funcionales y, como consecuencia de éstos, una situación metabólica transitoria en la que el organismo trabaja en deuda de oxígeno, que debe pagar en la fase de recuperación que sigue al ejercicio.

Todos y cada uno de estos factores se van a modificar con el entrenamiento. El individuo entrenado será capaz de enfrentarse con el ejercicio en forma más económica que el no entrenado por una adecuación más perfecta del aporte de  $O_2$  y una mejor utilización del gasto energético a los fines del ejercicio. El entrenamien-

to va a dar lugar a respuestas adaptativas, físicas y funcionales, tanto en el sistema muscular como en los sistemas encargados del aporte de  $O_2$  y eliminación de  $CO_2$ , respiratorio y cardiovascular. Aparte de ello e indirectamente, todas las funciones orgánicas en mayor o menor grado van a verse afectadas por el entrenamiento.

El entrenamiento produce en el sistema muscular un mayor desarrollo, un aumento de la duración y fuerza de contracción. El aumento del tamaño muscular, traducido en su mayor área de sección, se hace a expensas de fibras musculares ya existentes pero poco desarrolladas por falta de uso, y por un considerable aumento del número de capilares.

El aumento de la fuerza de contracción se obtiene por el trabajo sistemático frente a resistencias (pesas, resortes o el peso del mismo cuerpo) progresivamente aumentadas. El máximo grado de fuerza de contracción que puede alcanzarse depende de los individuos. Puede predecirse por examen morfológico que los sujetos con sistema óseo pequeño o los altos y delgados alcanzarán su límite antes que los macizos con osamenta grande.

Parece ser que el músculo no sólo aumenta de tamaño con el entrenamiento, sino que también modifica su composición química cuantitativamente. Se produce un aumento de mioglobina, conocido desde 1926, de glicógeno y, posiblemente, de fosfocreatina. En una palabra, se logran condiciones que favorecen un aporte más fácil de  $O_2$ , una mayor reserva de contracción anaerobia y la posibilidad de una actividad más prolongada.

El entrenamiento sistemático puede conducir a un enorme desarrollo de fuerza muscular, hecho conocido vulgarmente. Han causado gran impacto entre los especialistas en educación física los estudios de MULLER y cols. en Alemania (1957) demostrando la eficacia de las contracciones isométricas en el entrenamiento muscular. Según ellos, una sola contracción isométrica diaria de 6 segundos de duración utilizando 2/3 de la máxima fuerza desarrollable, da los mejores resultados en la obtención de fuerza muscular. La repetición de la contracción no sería más eficaz. Aunque ASA obtiene mejores resultados con la repetición de las contracciones, está sin embargo, de acuerdo con MULLER en la supremacía de las contracciones isométricas sobre las isotónicas para la mejoría de la fuerza muscular. Estos estudios son la base de los ejercicios de contracción isométrica que hoy día se utilizan ampliamente en clínica.

Al cesar el entrenamiento disminuye la fuerza muscular, pero puede persistir la ganancia lo-

grada simplemente por ejercicios adecuados una vez por semana. La tendencia a aumentar de peso del atleta que cesa en sus entrenamientos se debe principalmente a que, a pesar de la disminución del gasto diario energético, sigue manteniendo el mismo apetito y, en consecuencia, queda sometido a una ingesta energética excesiva.

La cantidad de  $O_2$  que llega al músculo en el ejercicio está aumentada por dos factores: una mayor cesión de  $O_2$  por volumen dado de sangre capilar y un mayor aporte por aumento del volumen/minuto cardíaco. Puede aparecer un aumento transitorio de la capacidad de transporte de  $O_2$  propiamente dicha, en ejercicios violentos de corta duración, en los que se comprueba un aumento hasta del 20 % del número de eritrocitos circulantes. La vuelta a las cifras normales es la regla general si el ejercicio continúa o bien al cesar aquél. Durante el ejercicio no parece, pues, que aparezca un aumento de la capacidad de transporte de  $O_2$  por volumen dado de sangre.

El entrenamiento produce en una primera fase una mayor destrucción de hematíes en personas sedentarias que comienzan a practicar un ejercicio violento. Se sigue a ello un incremento de actividad de la médula ósea, más roja en los atletas.

En realidad, no parece que haya modificaciones sustanciales en el número funcional de hematíes producido por el entrenamiento. Los datos existentes son contradictorios y han de tenerse en cuenta las variaciones de volumen sanguíneo que se producen durante el ejercicio.

En el estudio de ROBINSON y HARMÓN (1941) y ROBINSON (1961) se comprueba con el entrenamiento una ligera disminución (5,7 por ciento) de la capacidad de combinación de la  $HbO_2$  en estado basal, pero no parece que, en términos generales, el entrenamiento afecte a la capacidad de transporte de  $O_2$  por la sangre. En el estudio de ASTRAND (1963) las jóvenes suecas estudiadas presentaban un aumento de un 19 % al final del período de entrenamiento.

Como promedio para un hombre normal, a nivel del mar y con un contenido de 14,7 gr. de Hb %, 100 ml. de sangre arterial transportan 20 ml. de  $O_2$  (19,7 por la Hb, y 0,3 en solución). El paso de  $O_2$  del aire alveolar a la sangre y de ésta a los tejidos va a depender de las respectivas presiones parciales de  $CO_2$ , de las respectivas presiones parciales de  $O_2$  y del pH de la sangre, condicionado especialmente por las tensiones parciales de  $CO_2$ , de acuerdo

con las conocidas curvas de disociación de la Hb.

Lo que nos interesa a fines expositivos es que no todo el  $O_2$  que lleva la sangre arterial va a ser «descargado» en los tejidos. En reposo, únicamente pasan a los tejidos 6 ml. de  $O_2$  por 100 de sangre; quedan, pues, en la sangre venosa, 14 vol. de  $O_2$  por 100. En el ejercicio, el mayor consumo tisular de  $O_2$  rebaja a este nivel su presión parcial; ello da lugar a un paso mayor de  $O_2$  por cada 100 ml. de sangre. Este aumento de la capacidad de «descarga» de  $O_2$  a nivel tisular es un factor importante de ajuste del sistema de aporte de  $O_2$  y viene medido por el coeficiente de utilización de  $O_2$  definido por KROGH.

El coeficiente de utilización de KROGH es el cociente entre la cantidad de oxígeno captada por los tejidos de un determinado volumen de sangre (100) y la cantidad total de  $O_2$  contenida en ese volumen. En condiciones de reposo es de  $6/20 = 0,3$ . A nivel de los capilares musculares, las condiciones metabólicas producidas por el ejercicio facilitan la «descarga» del  $O_2$  arterial: la  $ppO_2$  tisular disminuye y aumentan el  $CO_2$  y el láctico (el pH local), así como la temperatura, factores que facilitan aun más la disociación de la Hb. En ejercicio violento, el coeficiente de utilización del  $O_2$  se multiplica por 3 (es de 0,7 a 0,9). La sangre capilar cede  $O_2$  como máximo hasta el punto de que en esas circunstancias el contenido en  $O_2$  de la sangre venosa es apenas detectable.

En hombres entrenados, en mejores condiciones físicas, el coeficiente de utilización para un trabajo moderado aumenta menos que en los no entrenados. Ello se traduce en que la saturación de  $O_2$  en la sangre venosa de estos últimos es considerablemente menor.

La capacidad de aumentar el coeficiente de utilización de  $O_2$  se utiliza como un mecanismo de urgencia. Cuando el volumen/minuto aumenta suficientemente por el ejercicio, como sucede en los entrenados, es menor el aumento del coeficiente de utilización de  $O_2$ .

El otro factor a considerar, el aporte de una mayor cantidad de sangre, es con mucho, el decisivo en el ajuste a una mayor demanda de  $O_2$  producida por el ejercicio. Las modificaciones orgánicas y funcionales que se establecen por el ejercicio continuado en el aparato cardiovascular, han sido bien estudiadas.

El músculo cardíaco puede aumentar de tamaño, hipertrofiarse, si se le somete a un incremento de esfuerzo de forma sostenida. Esto sucede patológicamente en las lesiones valvulares como un mecanismo de compensación. Sucede

también en sujetos normales sometidos a esfuerzos físicos grandes y de larga duración. El corazón grande de los esquiadores de fondo, de los ciclistas, de los corredores de marathón se conoce con el nombre de «corazón de atleta» y ha provocado gran controversia acerca de su significación funcional, fisiológica o patológica. Los especialistas están hoy, en general, de acuerdo en que la hipertrofia cardíaca de los atletas sanos es completamente fisiológica. Es difícil determinar por estudios a rayos X si el corazón se ha hipertrofiado o no. Hay que tener en cuenta que, siendo un órgano hueco, el aumento de masa muscular puede muy bien no reflejarse en la proyección roentgenográfica. Los estudios directos en animales demuestran, sin lugar a dudas, la hipertrofia miocárdica por el ejercicio intenso y continuado.

Lo que son muy significantes son los cambios funcionales cardíacos que se obtienen por entrenamiento. El volumen/minuto aumenta durante el ejercicio. En reposo es de unos 5 litros y llega a ser de 20 litros en sujetos no entrenados y, en los atletas, hasta de 40 litros. El volumen/minuto viene dado por la frecuencia del pulso y el volumen sistólico. Ambos aumentan durante el ejercicio, pero en forma distinta para los sujetos entrenados en el ejercicio físico que para los que hacen una vida más sedentaria.

Se discute si el entrenamiento modifica la frecuencia basal del pulso. Los datos existentes son contradictorios. Por un lado, por ejemplo, ROBINSON y HARMON encuentran en muchachos una disminución de 12,3 % en la frecuencia basal del pulso después de 6 meses de entrenamiento intensivo; por otro, el pulso basal no difería del de los no entrenados en el experimento de entrenamiento intensivo, que luego comentaremos más ampliamente. Llevado a cabo por ASTRAND y cols. (1963) con 30 muchachas suecas seleccionadas entre las mejores nadadoras y de edades comprendidas entre los 12 y los 16 años.

El entrenamiento da lugar a un menor aumento de la frecuencia del pulso por la acción de un esfuerzo (moderado). En el experimento citado de ROBINSON y HARMAN, corriendo en «cinta sin fin» durante 5 minutos a la velocidad de 188 metros por minuto y con una pendiente de 8,6 %, los nueve sujetos estudiados alcanzaban un promedio de 200 pulsaciones por minuto al comienzo del entrenamiento, mientras que a los 3 meses, el mismo ejercicio provocaba un aumento menor, hasta 185 pulsaciones únicamente.

El volumen/minuto, el rendimiento cardíaco,

es el producto de dos factores: el volumen sistólico y la frecuencia de la contracción.

El volumen/minuto aumenta durante el ejercicio por aumento de los dos factores: el volumen sistólico y la frecuencia del pulso, pero el aumento de cada factor depende del tipo de ejercicio y de la aptitud física del sujeto, aptitud que puede mejorarse significativamente por el entrenamiento.

El aumento del volumen sistólico durante el ejercicio se debe a un mejor vaciamiento ventricular, a la disminución del volumen residual, ya que el tamaño diastólico del corazón disminuye durante el ejercicio. Ello se ha podido demostrar con técnicas especiales, experimentalmente y sin lugar a dudas, en los últimos años, lo que ha hecho perder a la ley de STARLING su carácter de regulador exclusivo del volumen sistólico.

El volumen sistólico aumenta con el ejercicio en cuantía distinta para los atletas y los sujetos no entrenados. De un volumen/minuto de 4 litros el atleta puede llegar a alcanzar valores hasta de 40 litros, mientras que los sujetos no entrenados llegan únicamente a unos 20 litros y ello sucede con un menor aumento de la frecuencia del pulso por parte del atleta. Se deduce simplemente que su volumen sistólico ha de ser considerablemente mayor que en el sujeto no entrenado. Baste imaginar que un atleta con un volumen/minuto de 30 litros y una frecuencia de pulso de 180 tiene un volumen sistólico de 166 ml, mientras que la misma frecuencia en un sujeto no entrenado suele, como máximo acompañarse de un volumen/minuto de 20 litros, logrado con un volumen sistólico de 111 ml.

El mayor volumen sistólico del atleta viene explicado por varios factores: un mejor vaciamiento sistólico, con disminución del volumen residual, una contracción más enérgica provocada por aumento de presión arterial y una mayor facilitación de retorno de sangre venosa al corazón con un llenado diastólico más eficaz.

El mayor volumen/minuto traduce una mayor capacidad de transporte de  $O_2$  a los tejidos. La captación de  $O_2$  a nivel del alveolo pulmonar va a estar aumentada por el ejercicio.

La ventilación pulmonar se define por el volumen/minuto respiratorio que viene dado por la frecuencia respiratoria y el volumen de aire oscilante. En reposo, y como promedio, el volumen/minuto respiratorio es de 16 x 500 igual a 8 litros/minuto (suele oscilar entre 3 litros y 10 litros/minuto). Con el ejercicio el



volumen minuto respiratorio aumenta hasta valores de 110-120 litros/minuto, en casos excepcionales hasta de 150 litros minuto durante esfuerzos de corta duración. Este aumento se logra por incremento de la frecuencia respiratoria y del volumen de aire oscilante, esto es, de la profundidad respiratoria.

Existe una relación lineal entre el aumento de volumen respiratorio y el consumo de oxígeno por minuto, que se mantiene después de cesar el ejercicio durante la fase de recuperación de la deuda de oxígeno. La relación queda rota cuando hay una sobrecarga excesiva; en estas condiciones, la ventilación aumenta por encima del incremento de consumo de  $O_2$ . Este exceso ventilatorio, debido probablemente a estímulo central por acúmulo excesivo de ácido láctico, no es útil al organismo, ya que se ofrece a la sangre una cantidad de  $O_2$  superior a la que puede transportar. Este hecho nos indica que el factor limitante en la capacidad máxima de transporte de  $O_2$  es el aparato cardiovascular, ya que llegado éste al máximo de su rendimiento, el sistema respiratorio puede todavía aumentar su capacidad de ofrecimiento de  $O_2$ .

El entrenamiento va a modificar los mecanismos de adaptación del aparato respiratorio al ejercicio. El volumen/minuto respiratorio *basal* no difiere entre los adultos entrenados y no entrenados. Sin embargo, la frecuencia respiratoria es más baja, luego el mantenimiento en reposo de un mismo volumen respiratorio se hace en los entrenados a expensas de un aumento de volumen del aire oscilante. En efecto, el entrenamiento da lugar a una mayor expansión de la cavidad torácica a expensas, principalmente, de una superior movilización diafragmática. Sin embargo, no parece afectar la capacidad vital de los adultos. No así en los adolescentes, en los que el ejercicio da lugar a un mayor desarrollo del tórax durante el período de crecimiento.

SCKWARTZ y cols. demostraron ya en 1928 que el ejercicio regular daba lugar en los adolescentes a un aumento de su capacidad vital, que en sus experimentos era de 130 ml. a los cuatro meses de entrenamiento, frente a 20 ml. de los controles. En todo un curso, los estudiantes activos en deporte ganaron 625 ml. frente a los 295 ml. de los que hacían vida sedentaria.

Contra lo que pueda parecer, la capacidad vital, per se, no es un índice de una mejor aptitud física para el ejercicio. Atletas entrenados en pruebas de resistencia no tienen capacidades vitales excepcionales. La capacidad vital de la mayor parte de los corredores de

marathón está dentro de los límites promedios, lo que confirma que en los adultos el ejercicio prolongado no aumenta obligatoriamente el espacio respiratorio de los pulmones.

Al comienzo de un ejercicio aumenta la frecuencia y profundidad respiratorias. La frecuencia alcanza un estado estacionario en 2-4 minutos y la profundidad en 3-5 minutos. Con una sobrecarga excesiva continúa aumentando la frecuencia (y el volumen/minuto) si bien disminuye la profundidad respiratoria.

El aumento de frecuencia suele ser hasta unas 30 respiraciones por minuto, si bien en natación se alcanzan 60 ó más, ya que el nadador tiende a respirar con cada brazada.

Una respiración demasiado rápida es fatigosa e ineficaz, ya que reduce el aire oscilante e impone una gran carga a los músculos respiratorios. Para mover un litro de aire se necesita un gasto de  $O_2$  de 0.8 a 2 ml. Un volumen/minuto de 100 litros supone un consumo sólo para los músculos respiratorios de 200 ml. de  $O_2$ , equivalente al consumo basal de todo el organismo. En competiciones atléticas, el ahorro de la mayor cantidad posible de este  $O_2$  de los músculos respiratorios puede ser un factor decisivo en la obtención de mejores marcas.

Los individuos entrenados respiran más económicamente que los no entrenados. Su volumen/minuto respiratorio no se modifica con el entrenamiento, pero la frecuencia respiratoria disminuye. El individuo entrenado ventila mejor sus pulmones, tanto en reposo como, sobre todo, durante el ejercicio.

Los músculos respiratorios responden al ejercicio con las mismas modificaciones que el resto del sistema muscular: se contraen con más fuerza y resisten más tiempo esta contracción. La sensación de opresión torácica que presenta el no entrenado después de un ejercicio violento, desaparece en el entrenado, así como no se encuentra en éste el ritmo de CHEYNE STOKES que se comprueba frecuentemente en los no entrenados, después de ejercicios fuertes.

Un ejercicio, acto motor, hemos visto que supone un aumento de demanda de  $O_2$  (y de eliminación de  $CO_2$ ) que se va a cubrir por una adaptación respiratoria y cardiovascular realizada más económicamente por los entrenados que por los sujetos no habituados al ejercicio.

Pero aún hay más: el mismo acto motor, repetido inteligentemente, termina por hacerse con un juego muscular más económico. El aprendizaje del movimiento elimina o disminuye la participación excesiva de grupos musculares innecesarios que, sin contribuir a un me-

por rendimiento, aumentan el consumo calórico y, por ende, la demanda de  $O_2$ . Este factor de coordinación, importante en la fisiología del trabajo, es decisivo en la fisiología del deporte. Es donde puede radicar la superioridad individual, impredecible, de los atletas excepcionales.

La participación del sistema nervioso en la adaptación al ejercicio que supone el entrenamiento, no se limita a este papel coordinador motor, decisivo, sino que domina todo el cuadro de reajuste de funciones orgánicas. Un acto motor voluntario se origina en el cerebro y en su ejecución interviene todo el sistema nervioso que, además, prepara al cuerpo para la sobrecarga de ejercicio.

Incluso antes de comenzar el ejercicio, sobre todo si es competitivo, y ante su anuncio, aumentan la frecuencia respiratoria y el pulso y la adaptación vascular se hace evidente por vasoconstricción esplácnica y periférica: se desvía el flujo sanguíneo hacia los músculos, que al comenzar a contraerse, van a constituirse en origen de estímulos que, por vía nerviosa o química, modulan a su vez la actividad del siste-

ma nervioso central. Este mecanismo de autoadaptación va a permitir alcanzar un estado estacionario a un nivel mayor de actividad, caracterizado por los ajustes funcionales que hemos someramente repasado.

Si la sobrecarga es excesiva, el equilibrio se rompe: el exceso de ácido láctico, el más característico de los catabolitos que se acumulan, estimula desafortunadamente los centros bulbares. se produce una hiperventilación antieconómica que acelera el desequilibrio, ya que, a pesar de ella, no se puede sobrepasar la capacidad aerobia máxima, más deuda de  $O_2$ , condicionadas por el límite de adaptación cardiovascular. Un acúmulo de láctico por encima de 250 miligramos por ciento (excepcionalmente, 300) obliga a la cesación del esfuerzo.

En la educación física propiamente dicha de masas juveniles, no se debe llegar a estos extremos, propios de competiciones atléticas emulativas, no siempre recomendables. Pero el entrenamiento físico puede, incluso, llegar a ser intenso con efectos siempre beneficiosos, cuando se hace de forma racional.

## RIASSUNTO

L'autore inizia il suo lavoro denotando la capacità di adattamento dell'uomo a stimoli proprie ó ambiental. Continua facendo un giudizio critico del miglioramento del rendimento sportivo, in rapporto con il miglioramento fisico della specie umana, intimamente collegata alle migliori condizioni igieniche, mediche e sociali della comunità, e un miglior uso delle possibilità individuali di rendimento.

Segue poi con uno studio comparativo della progressione di rendimento in rapporto con la biotipologia, insistendo nella necessità di una selezione di individui secondi le caratteristiche tipologiche e di sesso, non disprezzando le circostanze tecniche e ambientali in cui ha luogo l'attività fisica. Su questo ultimo punto l'autore fa una serie di considerazioni sulle speciali circostanze biologiche che concorrono alla prossima Olimpiade in città del Messico.

In seguito studia i meccanismi di adattamento provocati dall'allenamento e l'azione di questo su i diversi organi e sistemi, ma specialmente in rapporto alle modificazioni metaboliche avute durante lo sforzo e la sua ripercussione nella adattamento generica e specifica dell'individuo alla attività sportiva.

## RÉSUMÉ

L'auteur commence son travail en remarquant la capacité d'adaptation de l'être humain à des stimulations, bien propres, bien de l'ambiance. Il fait un jugement critique sur l'amélioration expérimentée dans les rendements sportifs par rapport avec une amélioration physique de l'espèce humaine, très influencée par des meilleures conditions hygiéniques, médicales et sociales de la communauté, et par un meilleur profit des possibilités individuelles de rendement.

Il suit avec un étude comparatif de la progression du rendement par rapport avec la biotypologie. Il preconise la nécessité de sélectionner les sujets d'après ses caractéristiques typologiques et de sexe, sans mépriser les caractéristiques techniques et de l'ambiance dans lesquelles l'activité physique se déroule. Sur ce dernier point, l'auteur fait une série de considérations sur les spéciales circonstances biologiques des Jeux Olympiques de Mexico.

Il étudie les mécanismes d'adaptation par l'entraînement et ses effets sur les différents organes et systèmes, spécialement en ce qui concerne aux altérations métaboliques expérimentées pendant l'effort et sa répercussion dans l'adaptation générique et spécifique du sujet à l'activité sportive.