

# PERFIL FISIOLÓGICO del CORREDOR de MARATÓN

1

Todos los deportes comparten entre sus características aspectos físicos, que vamos a llamar fisiológicos, aspectos técnicos y aspectos psicológicos. Dependiendo de la modalidad deportiva cobran más importancia unos frente a otros, si bien, en una adecuada planificación del entrenamiento destinado a la competición todos deben abordarse.



En el caso del corredor aficionado de maratón, cuyo objetivo sea romper la barrera de las 3 horas ó incluso realizar un tiempo inferior a las 4 h, los aspectos fisiológicos cobran el máximo protagonismo, y es ahí donde nos vamos a centrar. Tal y como hemos comentado antes, al maratoniano “la carretera no le va a regalar nada”, por muy buena técnica y disposición psicológica que tenga en la competición, de manera que es un axioma incontestable la necesidad de entrenar (entrenamiento físico) para alcanzar el objetivo.

Este libro está enfocado esencialmente a los aspectos fisiológicos del entrenamiento, que son los que consideramos esenciales e irrenunciables para el corredor de maratón. En base a esos principios del entrenamiento aplicados a maratón se han diseñado diferentes planes integrales de entrenamiento para diferentes niveles de corredor/a.

Queremos señalar que este libro no se ha proyectado para ser un tratado de fisiología del maratón para profesionales (entrenadores, licenciados en ciencias del deporte, etc.), al contrario, solo pretendemos que el potencial corredor sub-3 (y también el <4h y <3h30min), comprenda las respuestas de su organismo al enfrentarlo al estrés de la carrera de resistencia aeróbica. De esta manera le será más sencillo entender el plan de entrenamiento propuesto y la importancia de cada tarea.

La fisiología nos muestra el funcionamiento del organismo, y la fisiología del ejercicio nos enseña cómo responde y se adapta el organismo durante el ejercicio. De manera que para entender por qué debemos entrenar de una determinada manera, o asumir un determinado plan de entrenamiento, hemos de comprender, aunque sea básicamente, como se comporta nuestro organismo durante la carrera de fondo (resistencia aeróbica) y como consecuencia de ello que necesidades adquiere para llevar a cabo esa actividad.

### Aspectos morfológicos y de composición corporal

La *talla* (en el rango de la normalidad) no es un impedimento, ni es decisiva, a la hora de conseguir nuestro objetivo. Podemos correr a 4'10"/km durante 178 minutos (sub-3) con una talla de 1m 68cm ó de 1m 86cm. Obviamente, hay un perfil “ideal” que podemos ver representado en los grandes campeones de maratón, pero nuestra talla no es modificable con el entrenamiento, ni con la alimentación, así que no vamos a preocuparnos mucho más por este apartado. Frente a la talla, la *masa corporal* (el peso), si es un factor crítico para nues-

tro objetivo. A cada zancada debemos elevar del suelo nuestro cuerpo mediante acciones musculares precisas, y a continuación debemos “aterrizar” soportando y amortiguando nuestra masa corporal, también mediante acciones musculares. Levantar nuestro cuerpo en contra de la gravedad, y aterrizar de nuevo, es la esencia de la carrera, y nos cuesta mucha energía. Es fácil entender pues, que a menor masa corporal (peso), menor será el gasto energético, más económico será correr, menos sufrirán nuestras articulaciones, y por consiguiente más fácil será alcanzar nuestro objetivo.

La masa corporal está determinada por distintos componentes. Algunos son poco modificables (agua, hueso, etc.), mientras que otros si lo son de forma significativa (el tejido graso y el tejido muscular). Por consiguiente, nos interesan estos últimos al ser susceptibles de cambios.

El exceso de grasa y las estructuras óseas voluminosas constituyen un peso muerto para el corredor, por lo que es fácil entender que un menor contenido en grasa corporal y unos huesos más pequeños, otorgarán ventaja para correr en resistencia aeróbica. El tamaño de nuestros huesos no podemos modificarlos, por lo que nos centraremos en el contenido de grasa corporal. Éste se expresa en términos relativos a la masa total del cuerpo, de manera que al enunciar un 15%, queremos decir que el 15% del peso total del individuo es tejido adiposo o grasa.

### ¿Cuál es el contenido de grasa ideal para el corredor de maratón?

Todos los corredores de maratón de alto nivel se caracterizan invariablemente por tener un bajo contenido en grasa en su organismo (aproximadamente un 7,5%). En maratonianos aficionados, que pretenden correr rápido (sub-3), el % de grasa debería situarse en torno al 11% en hombres y 27% en mujeres (*Tabla 1*).

Mujeres	Bajo	Normal	Alto
18-34 años	16	23	28
35-55 años	20	27	33
>55 años	20	27	33
Hombres	Bajo	Normal	Alto
18-34 años	5	10	15
35-55 años	7	11	18
>55 años	9	12	18

Tabla 1. % grasa corporal en población general

El %grasa corporal se puede valorar por diferentes técnicas, siendo la más utilizada la suma de pliegues cutáneos, exploración que se realiza sistemáticamente en los reconocimientos médico-deportivos.

Cuando no haya medios disponibles para valorar el %grasa corporal, se puede calcular el Índice de Masa Corporal (IMC) que expresa la relación entre la masa corporal y la talla ( $IMC = \text{kg}/\text{talla}^2$ ), si bien este índice puede expresar errores de interpretación importantes en deportistas, al no diferenciar el peso muscular del peso graso en el peso total. Valores del IMC en torno a 18,5-24,9, pueden considerarse normales en población general.

**A diferencia de la talla, que no es decisiva, la masa corporal se convierte en un factor crítico. A menor masa corporal, menor será el gasto energético y más económico será correr.**

El resto de las características morfológicas, si bien son importantes, no están plenamente establecidas como requisitos “imprescindibles” en un corredor de maratón. Así, para una talla dada los maratonianos se caracterizan por piernas más largas y tronco más corto que la media de los individuos; por otra parte, el corredor de resistencia aeróbica suele tener brazos y piernas de diámetros reducidos (especialmente las piernas con bajo desarrollo muscular), con caderas, hombros y tórax estrechos. La escasa participación de la parte superior del cuerpo en la carrera de resistencia aeróbica, no hace aconsejable realizar programas de entrenamiento de la fuerza, que propicien un importante desarrollo muscular (hipertrofia) en brazos y hombros, ya que finalmente solo constituiría una carga para el corredor.

### Edad

Aunque los atletas de elite de maratón alcanzan sus mejores marcas entre los 25 y los 35 años de edad (Tabla 2), a nivel de corredores de resistencia aeróbica populares (que es donde nos centramos en este libro) se pueden alcanzar buenas marcas hasta en la quinta década de la vida.

En el contexto del corredor aficionado, el rango de edad más propicio podemos situarlo entre los 30 y los 45 años.

En cualquier caso, hemos de conocer que fisiológicamente y de forma natural, a partir de los 32-34 años, aproximadamente, se produce de forma general un descenso en la capacidad de consumir oxígeno durante el ejercicio (Figura 1), y por tanto, y dado que el rendimiento en maratón depende esencialmente del consumo de oxígeno, a partir de esa edad nos será más difícil correr rápido. Hay que resaltar, el hecho de que los sujetos que mantienen un elevado nivel de entrenamiento de resistencia aeróbica durante toda su vida, pueden alcanzar la quinta década de vida (50-60 años) con una elevada capacidad aeróbica, estando en disposición de correr por debajo de los 4'10"'/km durante un tiempo prolongado.

Tiempo	Atleta	Edad
2h03:38	Patrick Makau	26
2h03:59	Haile Gebrselassie	35
2h04:27	Duncan Kibet	31
2h04:27	James Kwambai	26
2h04:39	Emmanuel Mutai	27
2h04:55	Paul Tergat	34
2h04:56	Sammy Korir	32
2h05:04	Abel Kirvi	27
2h05:10	Samuel Wanjiru	23
2h05:15	Martin Lel	30

Tabla 2. Edad con la que realizaron su mejor marca los 10 mejores maratonianos actuales

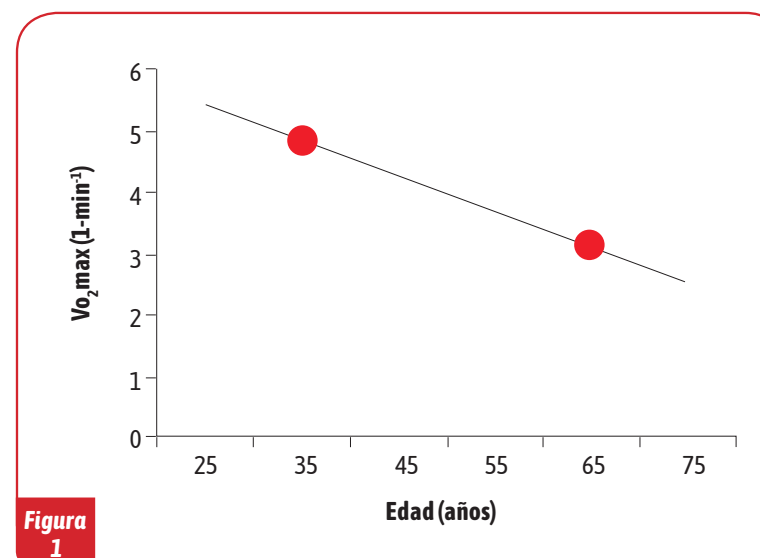


Figura 1

## Características de las fibras musculares

En los músculos locomotores tenemos diferentes tipos de fibras (células) musculares; las hay de contracción rápida y fácilmente fatigables (tipo II) y las hay de contracción lenta y resistentes a la fatiga (tipo I). En la mayoría de las personas ambas están repartidas aproximadamente al 50% en el total de las fibras musculares de los músculos locomotores.

Los corredores de elite de maratón poseen una clara prevalencia de fibras tipo I (>70%) (Tabla 3), hecho que posibilita una gran resistencia a la fatiga muscular. Por consiguiente, el potencial corredor sub-3 necesariamente deberá tener un % alto de fibras tipo I. Afortunada o desafortunadamente, poco podemos hacer para lograr esta alta proporción de fibras lentas, al menos que seamos capaces de poder elegir previamente a nuestros padres, ya que la proporción de fibras musculares está en gran parte determinada genéticamente. La necesidad de poseer una alta proporción de fibras tipo I se va atenuando según vamos incrementando el tiempo destinado a cubrir una maratón.

Deporte	% de fibras lentas	% de fibras rápidas
Fondo	60-90	10-40
Velocidad	25-45	55-75
Levantamiento de pesas	45-55	45-55
Sedentarios	47-53	47-53

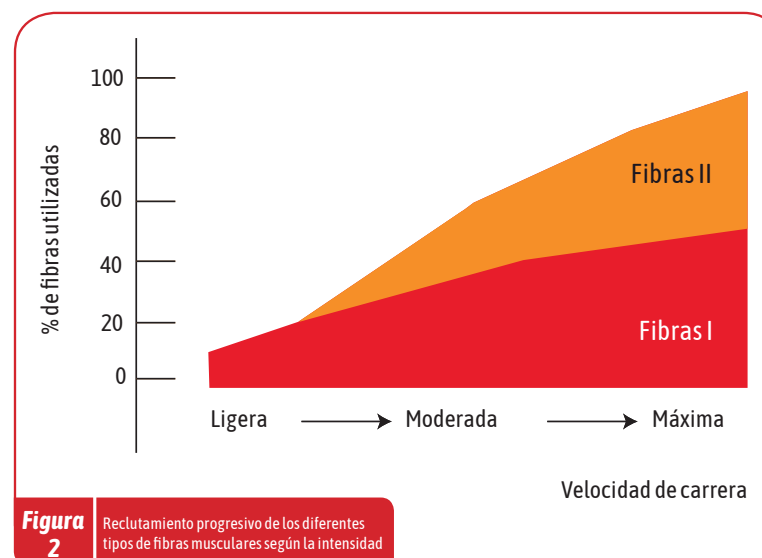
Tabla 3. Porcentaje de fibras lentas (I) y rápidas (II) en deportistas de alto nivel en diferentes actividades deportivas

El hecho de poder correr o no por debajo de las 3 horas en maratón, está íntimamente relacionado con la proporción de fibras musculares tipo I (lentas) que tengamos, y sobre todo con las adaptaciones que logremos en esos músculos por medio del entrenamiento. Solo entrenando adecuadamente esas fibras musculares podremos alcanzar nuestro objetivo.

Los corredores de elite de maratón poseen una clara prevalencia de fibras tipo I (>70%)

Por otra parte, conocer nuestra tipología muscular con exactitud exige la realización de una biopsia muscular. Así que, a efectos prácticos y aunque la técnica no es muy invasiva o cruenta, la gran mayoría de los corredores desconocerá a lo largo de su vida la proporción de fibras I y II que poseen sus músculos.

Las fibras musculares tipo I, son células muy resistentes a la fatiga ya que utilizan esencialmente el metabolismo aeróbico para conseguir energía para la contracción, por lo que no producen productos relacionados con la fatiga muscular, como el ácido láctico producido sobre todo por las fibras tipo II. Cuando corremos, nuestro sistema nervioso “ordena” la participación de unas fibras musculares u otras en función de la fuerza que haya que aplicar (en el caso de la carrera para correr más rápido o más lento). De tal manera que si imaginamos un protocolo en el que partiendo de velocidades lentas vayamos incrementando progresivamente la velocidad de carrera, en las velocidades más lentas (menos tensión/fuerza muscular requerida) las fibras reclutadas serán mayoritariamente (aunque no exclusivamente) las fibras lentas (tipo I); conforme la velocidad aumente, más fibras tipo I participarán, hasta llegar a una velocidad en las que a las tipo I se comenzarán a unir progresivamente las fibras II, que serán reclutadas en su



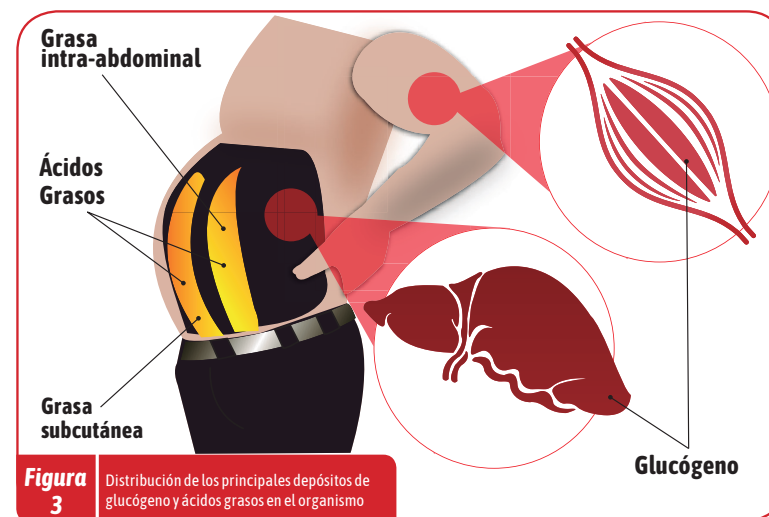
totalidad a velocidad máxima (Figura 2). Pues bien, el ritmo de carrera de maratón se desarrolla en la zona de transición entre el reclutamiento de las fibras musculares I y II, habiéndose denominado a esa zona *transición aeróbica-anaeróbica*. Es fácil entender que si la participación de las fibras II se relaciona con la fatiga, el corredor de maratón debe tratar de reforzar a todos los niveles las capacidades de las fibras tipo I, ya que con ello retrasará la necesidad de reclutar a las fibras tipo II, y con ellos retrasará la fatiga, por lo que podrá correr más tiempo a una determinada velocidad. Como adelanto a lo que luego se abordará, debe quedar claro que *solo podremos mejorar la función de las fibras I, si en el entrenamiento implicamos a las fibras I durante un tiempo suficiente*. Evidentemente, poseer una alta proporción de fibras tipo I, condiciona distintas expresiones de la función muscular. Así, la velocidad de reacción del maratoniano no será su punto fuerte, ni tampoco la fuerza explosiva. Los corredores de maratón con alta proporción de fibras tipo I, serán por tanto resistentes a la fatiga (fuerza resistencia), pero “lentos” en las tareas que requieren potencia muscular. Por otra parte, la capacidad de hipertrofiar un músculo con alta proporción de fibras lentas (tipo I) es muy limitada, lo que justifica el morfotipo típico del corredor de maratón.

Algo interesante a remarcar hace referencia a la influencia de la edad en la proporción y características de las fibras musculares. Así, debido a modificaciones que acontecen en nuestro sistema nervioso central conforme envejecemos, nuestras fibras musculares irán tomando un patrón de contracción más lento según avanza la edad; es decir, la relación “funcional” de fibras I/II, aumenta según vamos cumpliendo años, y además esto es algo que no podemos evitar, ni siquiera con el entrenamiento. En definitiva, nos hacemos más lentos. Debido a lo anterior, es por lo que los atletas de elite de resistencia aeróbica de pruebas como los 1500, 5000 o 10000 m, se van pasando en muchas ocasiones a pruebas de mayor duración, y por consiguiente más lentas, para poder seguir en la élite del atletismo. La ventaja de esta “transformación funcional” es que podemos mantener unas buenas marcas en maratón hasta edades avanzadas de la vida, algo que no sería posible en pruebas como los 100, 200 ó 400 metros, o en el salto de altura o de longitud. Debido a modificaciones que acontecen en nuestro sistema nervioso central conforme envejecemos, nuestras fibras musculares irán tomando un patrón de contracción más lento.

## Características metabólicas o energéticas

La tipología muscular marca el perfil metabólico de los músculos del corredor de maratón. Para llevar a cabo la contracción muscular que permite correr es necesario generar energía en las llamadas rutas metabólicas. Estas se dividen en dos grandes vías: las rutas *aeróbicas*, que en presencia de oxígeno pueden obtener energía (ATP = adenosín-trifosfato), y las rutas *anaeróbicas*, que pueden obtener energía (ATP) sin la presencia de oxígeno. Las fibras musculares lentas ó tipo I, son fibras esencialmente aeróbicas con sistemas desarrollados para conseguir energía en presencia de oxígeno a partir de las grasas, los hidratos de carbono e incluso de las proteínas. Por su parte, las fibras tipo II, tienen desarrollado especialmente las rutas anaeróbicas de obtención de energía, pudiendo generar ATP solo a partir de los hidratos de carbono, produciendo además ácido láctico como producto final de la reacción.

Como hemos comentado anteriormente, el perfil típico del corredor de maratón, se enmarca en un predominio de fibras tipo I, y por tanto con un desarrollo importante de las rutas aeróbicas de obtención de energía durante el ejercicio. De estas vías o rutas metabólicas las más importantes para el corredor de maratón sub-3 son las del metabolismo de las grasas e hidratos de carbono.



Así, dos son los combustibles principales durante la carrera de maratón, los hidratos de carbono y las grasas (ácidos grasos). Los hidratos de carbono se almacenan en nuestro organismo en forma de glucógeno, esencialmente en el hígado y en los músculos esqueléticos, mientras que los ácidos grasos lo hacen formando el tejido adiposo, que se acumula debajo de la piel (subcutáneo), entre las vísceras (abdominal) o en el interior de los músculos (intramuscular). (Figura 3). El glucógeno tiene una máxima capacidad de almacenamiento, de manera que aunque nos alimentemos correctamente, las reservas se agotarían en unas 2-2,5 h de carrera a ritmo de ~15 km/h. Por otra parte, sabemos que el agotamiento del glucógeno implica invariablemente fatiga (entendiendo por fatiga el hecho de tener que disminuir el ritmo de carrera, no necesariamente detenerse), así que si agotamos las reservas de glucógeno la fatiga está asegurada y nuestro objetivo no podrá alcanzarse. Pues bien, el entrenamiento del corredor de maratón tiene como uno de sus principales objetivos, “acostumbrar” o “facilitar” el consumo de ácidos grasos (grasas) como fuente de energía, de tal manera que conforme más grasa sea capaz de utilizar más glucógeno ahorrará, más tarde se producirá (si se produce) el agotamiento de las reservas de glucógeno, y más tarde aparecerá la fatiga muscular.

El llamado “muro” del maratón, o “pasar el muro”, hace referencia al momento en que los corredores se vacían de glucógeno (fatiga) y deben proseguir su carrera utilizando casi exclusivamente las grasas, lo que ocasiona unas malas sensaciones y lo que es más importante y decisivo, un descenso muy significativo en el ritmo de carrera.

Por tanto, el entrenamiento debe provocar adaptaciones que se traduzcan en una mejor y más precoz utilización de las grasas (hasta 7 veces mayor que en un sedentario), con una menor utilización de los hidratos de carbono, retrasando con ello su depleción. Esta adaptación, quizás una de las más importantes del corredor de maratón, solo se conseguirá a base de horas de entrenamiento a baja/moderada intensidad (entrenamiento con-

## Las rutas metabólicas más importantes para la obtención de energía en un corredor de maratón: metabolismo de las grasas e hidratos de carbono

tinuo extensivo, Fase I). Por tanto, a base de volumen y no de intensidad. Este concepto es clave para el corredor sub-3. Por consiguiente, como veremos más adelante, rodajes de 30 km a ritmo moderado, y un acúmulo de kilómetros suficiente a la semana (~100 km), serán obligados en nuestro plan de entrenamiento propuesto.

En resumen, el perfil metabólico del corredor de maratón es de claro predominio aeróbico, con importantes adaptaciones que favorecen el metabolismo de las grasas junto con los hidratos de carbono, con el fin de ahorrar el consumo de estos últimos, y con ello retrasar la fatiga muscular.

## Características cardiocirculatorias

Un sistema cardiovascular adaptado es decisivo para el corredor de resistencia aeróbica, de tal manera que las largas sesiones de entrenamiento persiguen entre otros objetivos, por un lado, generar una potente bomba cardiaca, y por otro, establecer un sistema de distribución de la sangre eficaz, que permita llevar oxígeno y nutrientes a todos los tejidos del organismo, especialmente a los protagonistas del mismo, los músculos locomotores.

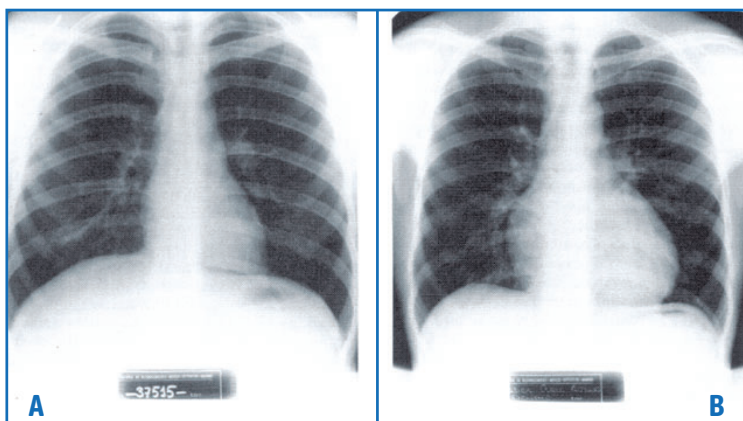
Frente a lo que durante muchos años se consolidó como un hecho irrevocable, esto es, corazones de gran tamaño en corredores de resistencia aeróbica, y que incluso a nivel popular dio origen en el pasado a expresiones como “*me han dicho que tengo un corazón que no me cabe en la caja*”, al referirse a las exploraciones efectuadas, hoy día, debido a la mejora de las técnicas de imagen, conocemos muy bien la estructura, morfología y función del corazón del deportista de resistencia aeróbica.

Así, podemos afirmar, que aunque es cierto que se produce de forma fisiológica un aumento del tamaño del corazón (hipertrofia cardiaca) como resultado de los años de entrenamiento, este crecimiento se enmarca en los límites considerados fisiológicos en el ámbito clínico. Es decir, el entrenamiento de resistencia aeróbica no justifica universalmente hipertrofias del corazón por encima de los límites clínicamente establecidos.

El corazón del corredor de maratón se caracteriza por tener unas paredes (músculo cardiaco) fuertes y algo hipertrofiadas, con cámaras (ventrículos y aurículas) amplias para poder albergar elevados volúmenes de sangre, y proyectarlos a continuación a todo el árbol vascular. Pero quizás la adap-

tación más importante y a la vez decisiva del corazón de un deportista de resistencia aeróbica, radique en su capacidad de llenarse fácilmente de sangre (lo que se conoce técnicamente como *compliance* o distensibilidad). Podemos decir, que el corazón de un maratoniano es un corazón fácilmente distensible (elástico), de cavidades amplias, y a la vez fuerte en su contracción. En definitiva, un corazón capaz de llenarse más (en relación a un sedentario), y contraerse más fuerte, llevando más sangre oxigenada hacia todos los tejidos del organismo (*Figura 4*)

Este perfil o adaptación cardiaca, solo se conseguirá con años de entrenamiento, y con mucho volumen de trabajo, es decir, muchos kilómetros recorridos.



**Figura 4.** Dos radiografías de tórax, en las que se aprecia la diferencia de tamaño entre las siluetas cardiacas de un sujeto sedentario (A) y un corredor de maratón (B)

Tomado de López Chicharro J y Fernández Vaquero A. Fisiología del Ejercicio. 3ª ed. Ed. Panamericana, 2006

El sistema circulatorio también se adapta de forma importante al estímulo del entrenamiento, y lo hace a varios niveles. En primer lugar, la distribución de la sangre oxigenada desde el corazón hacia los tejidos se realiza de manera más eficaz por medio de vasos sanguíneos más dilatados, que favorecen el paso de la sangre por su luz. En segundo lugar, el retorno de la sangre venosa al corazón, una vez realizado el intercambio de oxígeno y nutrientes en los tejidos, está favorecido por un sistema venoso más elástico y con mayor tono. Y en tercer lugar, y esto es muy importante, el vo-

**El corazón del corredor de maratón se caracteriza por tener unas paredes cardiacas fuertes, amplias cámaras donde albergará grandes volúmenes de sangre y especialmente una desarrollada capacidad de distensión.**

lumen de la sangre (volumen plasmático) aumenta como consecuencia del entrenamiento, de manera que el corredor de maratón tiene más sangre circulando por el árbol vascular que un sujeto no entrenado. Un mayor volumen sanguíneo aporta muchas ventajas, entre las que podemos destacar: 1) posibilita o permite que el corazón pueda lanzar más sangre oxigenada a los tejidos al poder llenarse más; y 2) permite mayores tasas de sudoración como mecanismo termorregulador (el sudor proviene de un ultrafiltrado del volumen plasmático), antes que el volumen de sangre alcance un nivel crítico que pueda afectar al llenado cardiaco, y con ello al volumen de sangre que sale del corazón en cada contracción, y con ello a la oxigenación de los tejidos e instauración de fatiga.

Estas adaptaciones circulatorias, favorecen valores de tensión ó presión arterial generalmente menores que en sujetos no entrenados, especialmente de las cifras de presión arterial diastólica. Por tanto, podemos decir que el entrenamiento de resistencia aeróbica facilita el control de la presión arterial, que generalmente muestra valores ligeramente por debajo de los límites “normales” establecidos (PASistólica  $\approx$  110-120 mmHg; PA-Diastólica  $\approx$  60-75 mmHg).

El entrenamiento de resistencia aeróbica facilita el control de la presión arterial, que generalmente muestra valores ligeramente por debajo de los límites “normales” establecidos.

### Características pulmonares

La *capacidad vital pulmonar* del corredor de maratón, es decir, el volumen máximo de aire que se puede espirar después de haber efectuado una inspiración máxima, suele estar significativamente aumentado en comparación con los sujetos de la misma edad, talla y peso, lo que refleja adaptaciones en el sistema pulmonar debido al entrenamiento.

Los músculos respiratorios de los atletas de fondo son más fuertes y resistentes que los de los sujetos no entrenados, pudiendo vencer mejor la resistencia de las vías aéreas y del tórax a expandirse.

En este punto es importante señalar, que el corredor sub-3 va a tener que soportar tasas de ventilación pulmonar en un rango de 80-110 litros/minuto (dependiendo del tamaño corporal) durante algo menos de 180 minutos. Para los corredores algo más lentos (<3h30min y <4 h) el trabajo muscular respiratorio requerido será mayor. Esto significa que los músculos respiratorios van a realizar un trabajo importante con un gasto de energía notable con el fin de poder introducir suficiente volumen de aire en los pulmones para oxigenar la sangre.

El entrenamiento de carrera obliga tanto a músculos locomotores, como a músculos respiratorios a contraerse sucesivamente durante tiempo prolongado lo que facilita conseguir adaptaciones a ambos niveles. No obstante, se ha observado que los músculos respiratorios pueden adaptarse mejor con un entrenamiento específico de ese territorio muscular, y con ello a ser más eficientes y necesitar menos sangre oxigenada y energía para el mismo trabajo respiratorio. Dado que los músculos locomotores y los respiratorios compiten por el oxígeno de la sangre, y dado que este es limitado en su oferta, al necesitar menos oxígeno un músculo respiratorio adaptado, el resultado será que el músculo locomotor podrá disponer de más oxígeno y con ello realizar más trabajo (correr más rápido), y sobre todo retrasar la fatiga. Este aspecto es esencial en el corredor de maratón, y es por ello por lo que en nuestro programa de entrenamiento se contempla el *entrenamiento específico de músculos respiratorios*.

**Como los músculos locomotores y los respiratorios compiten por el mismo flujo de sangre y oxígeno, si conseguimos que los segundos se hagan más eficientes, se podrá disponer de más sangre y oxígeno para los músculos locomotores que son los que soportan directamente la velocidad de carrera**

## Características de la sangre

El hecho más relevante que acontece en la sangre como adaptación al entrenamiento de fondo, y que ya hemos descrito anteriormente, es el aumento del volumen plasmático. Este puede aumentar hasta un 30% en relación a estados pre-entrenamiento, debido a la retención de agua que acontece en respuesta al aumento de la reabsorción renal de sodio. Este incremento del volumen plasmático provoca un fenómeno de dilución de los glóbulos rojos circulantes (más líquido para igual número de elementos formes o células), no siendo infrecuente observar valores de hematocrito (relación entre líquido plasmático y células rojas o hematíes) de menos del 40% en corredores de maratón, con concentraciones de hemoglobina de 14 g/l.

Esta adaptación (hematocrito bajo) observada en corredores de resistencia aeróbica, también se observa en otros mamíferos sometidos a entrenamiento aeróbico, y tiene como objetivo hacer la sangre menos viscosa y por tanto más fácilmente “movible” por el corazón. Ello permite una mejor oxigenación de los músculos activos durante la carrera.

Otras importantes adaptaciones que se observan en la sangre como consecuencia del entrenamiento aeróbico hacen referencia a las concentraciones plasmáticas de los triglicéridos y colesterol, provocando lo que se ha denominado un “perfil cardiosaludable”. Los cambios más significativos se dan en descensos de los niveles de triglicéridos y lipoproteínas de baja densidad (LDL-C, o “colesterol malo”), junto con aumentos de las lipoproteínas de alta densidad (HDL-C, o “colesterol bueno”).

Debido a que estos cambios están ligados al entrenamiento de resistencia aeróbica, el corredor de maratón suele tener un perfil lipídico de bajo riesgo cardiovascular, con lo que la incidencia de eventos coronarios es baja.

## Capacidad y Potencia Aeróbica ( $VO_{2max}$ )

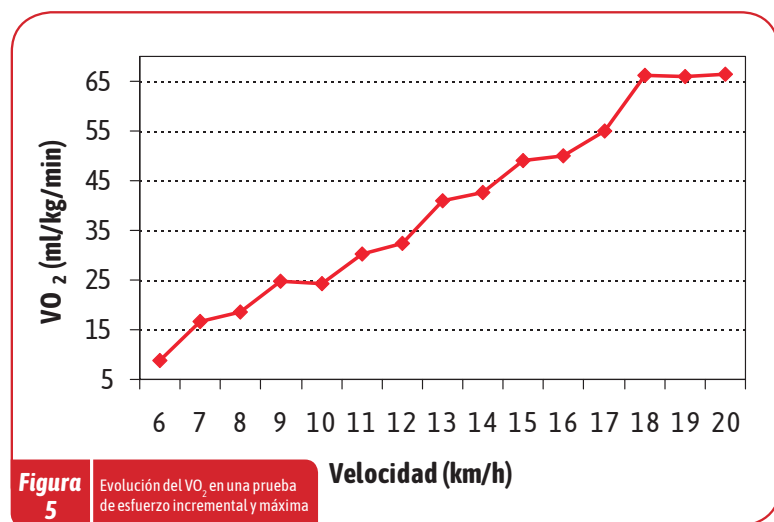
En fisiología del ejercicio hay dos aspectos claves para el corredor de maratón, la potencia aeróbica o consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2max}$ ) y la transición aeróbica-anaeróbica o umbral aeróbico. El primero de ellos es excluyente del rendimiento en maratón, el segundo es en gran medida, determinante del mismo. El primero es de carácter marcadamente genético, el segundo es sensible a los efectos del entrenamiento.



El oxígeno es necesario para producir la energía suficiente para sostener la contracción muscular en carrera de resistencia, donde la ruta metabólica aeróbica es la gran protagonista. Es fácil entender pues, que si somos capaces de consumir mucho oxígeno en los músculos activos, generaremos gran cantidad de energía por unidad de tiempo, y podremos correr más rápido durante un tiempo prolongado.

En reposo consumimos oxígeno a una tasa de alrededor de 0,2-0,3 l/min, mientras que durante el ejercicio a máxima intensidad, la tasa puede llegar a los 3-6 l/min, lo cual depende entre otros factores, del género, de la edad, del estado de entrenamiento aeróbico y sobre todo y especialmente de la herencia recibida de nuestros padres. La abreviatura del oxígeno consumido es:  $VO_2$ , y en fisiología se denomina consumo de oxígeno. El  $VO_2$  se puede expresar en valores absolutos (litros de  $O_2$  por minuto, l/min), o en valores relativos al peso corporal (ml  $O_2$ /kg/min), resultando este último de más utilidad en la valoración del corredor de resistencia aeróbica. Cuando sometemos a un sujeto a un test de esfuerzo hasta el agotamiento, el valor más alto de  $VO_2$  obtenido en la prueba se denomina consumo máximo de oxígeno, y se expresa como  $VO_{2max}$  (Figura 5).

Las mujeres tienen valores más bajos que los hombres debido a diferencias fisiológicas en el sistema cardiovascular y en la composición de la sangre.



**Figura 5** Evolución del  $VO_2$  en una prueba de esfuerzo incremental y máxima

Por otra parte, aunque de manera lenta, el  $VO_{2max}$  disminuye progresivamente desde la 2ª década de vida aproximadamente, de manera que un mismo individuo tendrá menores valores de  $VO_{2max}$  a los 50 años que a los 30 años, algo decisivo de cara al rendimiento en maratón. Por consiguiente, el objetivo de bajar de 3 h en maratón será más complicado de conseguir con 45 años que con 32, lo que no significa que no se pueda alcanzar.

Respecto a la herencia o influencia genética en los valores del  $VO_{2max}$ , los estudios realizados estiman en un 75-80% la vinculación a la genética, por lo que queda únicamente un 25-30% ligado a los efectos del entrenamiento. Es por ello, por lo que se considera al  $VO_{2max}$  o Potencia aeróbica máxima un factor excluyente para el rendimiento en maratón. Por poner un ejemplo, un atleta que tenga un  $VO_{2max}$  de 50 ml/kg/min puede esperar que el entrenamiento acreciente este valor un 20% hasta alcanzar 60 ml/kg/min. Estos valores estarían un 18-20% por debajo del  $VO_{2max}$  que muestran los grandes campeones, así que podemos concluir sin ninguna duda a equivocarnos, que un atleta con un  $VO_{2max}$  de 60 ml/kg/min, nunca ganará la Maratón de New York, por poner un ejemplo.

### La genética es el mayor determinante del $VO_{2max}$ (75-80%) con una influencia mucho menor del factor entrenamiento (20-25%)

En el caso que nos ocupa, es decir, bajar de 3 h en maratón, las cifras “exigibles” de  $VO_{2max}$  no son tan altas como para ganar una Maratón internacional, así que la buena noticia es que con un  $VO_{2max}$  de 60 ml/kg/min, se puede y se debe bajar de 3 h siempre que el entrenamiento sea el adecuado. En el apartado “Requerimientos fisiológicos para bajar de 3 h en maratón” que abordaremos más adelante, reflejaremos los valores mínimos de  $VO_{2max}$  necesarios para abordar con garantías de éxito nuestro objetivo sub-3. Para los objetivos de <3h30min y <4 h, la exigencias de valores de  $VO_{2max}$ , también disminuyen significativamente pudiendo alcanzar ambos objetivos con  $VO_{2max}$  de 55 y 50 ml/kg/min, respectivamente.

Como comentamos al inicio de este capítulo, el  $VO_2\text{max}$  es un factor excluyente, mientras que la Capacidad Aeróbica (transición aeróbica-anaeróbica o umbral aeróbico) es el factor determinante de nuestro rendimiento en maratón, estando vinculado directamente a los efectos del entrenamiento. Así que, entrenar bien hará que tengamos buenos valores de umbral aeróbico, lo que constituye una excelente noticia.

El  $VO_2\text{max}$  es un factor excluyente, mientras que la Capacidad Aeróbica (transición aeróbica-anaeróbica o umbral aeróbico) es el factor determinante de nuestro rendimiento en maratón

La capacidad aeróbica o umbral aeróbico hace referencia al porcentaje del  $VO_2\text{max}$  ( $\%VO_2\text{max}$ ) que se puede utilizar durante un tiempo prolongado sin entrar en fatiga, y es un concepto clave para nuestro objetivo sub-3.

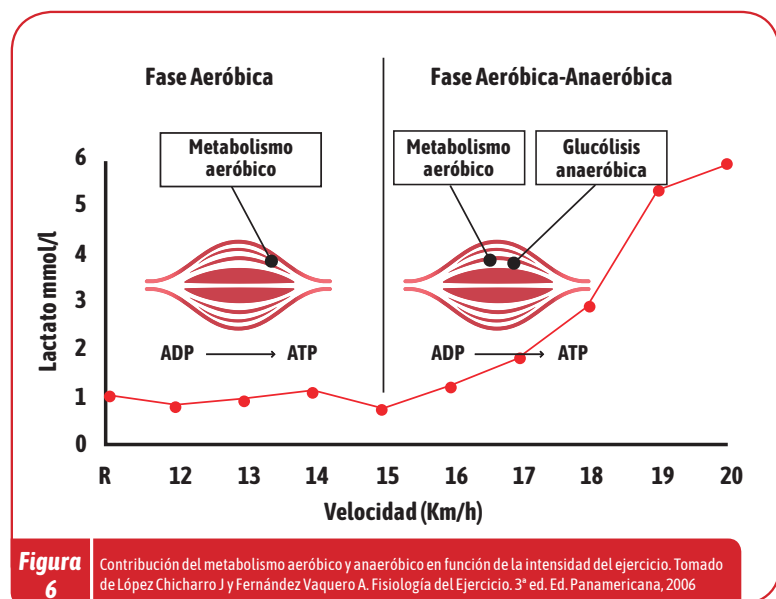
Ser capaz de sostener  $VO_2$  cercanos a los valores de  $VO_2\text{max}$  depende, como comentamos antes, del estado de entrenamiento del atleta. Trataremos de explicarlo de forma sencilla: como comentamos anteriormente, los músculos implicados en la carrera pueden generar energía para sostener la contracción muscular por dos rutas metabólicas diferentes, aeróbica y anaeróbica. Pues bien, nuestras células musculares van a tratar siempre de

generar esa energía mediante las rutas aeróbicas, ya que de su desarrollo no se derivan productos que causen fatiga muscular. Sin embargo, esas rutas aeróbicas tienen una importante limitación, ya que si bien son capaces de generar mucha energía a lo largo del tiempo, son menos capaces de generar mucha energía por unidad de tiempo. De tal manera que cuando la exigencia de energía es muy elevada al tener que sostener ritmos de contracción elevados (correr rápido), las rutas aeróbicas no son capaces de generar energía a ese ritmo, por lo que van a ser “ayudadas” ó “complementadas” por las rutas anaeróbicas, que aunque producen menor energía total, producen mucha energía por unidad de tiempo. La mala noticia para el corredor de maratón es que cuando sus sistemas aeróbicos reclaman la ayuda de las rutas anaeróbicas para poder correr más rápido, se comienzan a producir productos derivados del metabolismo anaeróbico (ácido láctico, esencialmente) que van a provocar fatiga muscular de forma progresiva. Es decir, la duración de la carrera en estas condiciones será limitada en el tiempo (Figura 6).

Por consiguiente, y sin saber nada de entrenamiento, comprendemos que hemos de reforzar y mejorar la eficiencia de nuestras rutas aeróbicas para que esa “demanda de ayuda energética” anaeróbica se produzca lo más tarde posible; con ello podremos correr más rápido sin entrar en fatiga. Así, podemos adelantar ya que el corredor sub-3 realizará toda la carrera sin apenas rebasar el llamado umbral aeróbico o transición aeróbica-anaeróbica. Lo mismo acontecerá en los corredores de <3h30 min y <4 h.

Conforme más cerca situemos el umbral aeróbico (expresado como  $VO_2$ ) del  $VO_2\text{max}$ , mejor entrenados estaremos y más cerca nos encontraremos de nuestro objetivo. Conseguirlo depende esencialmente del entrenamiento (Figura 7).

Veamos un ejemplo de la importancia del Umbral aeróbico. Si el  $VO_2$  de un atleta fuera de 1,5 l/min mientras corre a 12 km/h, y su  $VO_2\text{max}$  fuera de 3 l/min, estaría utilizando  $1,5/3 \times 100 = 50\% VO_2\text{max}$ . Otra persona que utilizara el mismo  $VO_2$  para correr a la misma velocidad (1,5 l/min), pero que tuviera un  $VO_2\text{max}$  de 4 l/min, solo utilizaría  $1,5/4 \times 100 = 37,5\% VO_2\text{max}$ , por lo que el ejercicio le resultaría mucho más fácil de sostener aún cuando energéticamente les costara lo mismo. Por consiguiente el  $\%VO_2\text{max}$  es una medida de gran utilidad para conocer el estado de entrenamiento de un



atleta, siendo una de las variables más demandadas por los entrenadores. Valores superiores al 70%VO<sub>2</sub>max del umbral aeróbico son considerados muy buenos/excelentes para cualquier atleta independientemente del valor de su VO<sub>2</sub>max. Está claro que el atleta de elite combina un muy elevado valor de VO<sub>2</sub>max (Potencia aeróbica) con un muy elevado %VO<sub>2</sub>max para el umbral aeróbico (Capacidad aeróbica), dando como resultado una velocidad de carrera sostenida en el tiempo muy elevada.



Figura 7. Evolución del Umbral aeróbico con el entrenamiento

El corazón del corredor de maratón se caracteriza por tener unas paredes cardíacas fuertes, amplias cámaras donde albergará grandes volúmenes de sangre y especialmente una desarrollada capacidad de distensión