

7.3. Funciones digestivas en el ejercicio

A pesar de su importancia, las modificaciones y adaptaciones producidas por el ejercicio sobre el sistema digestivo han sido poco y mal estudiadas. Su conocimiento es muy útil al objeto de establecer de forma adecuada las diferentes estrategias de preparación dietética del deportista y de aporte de combustibles, agua y sales durante el ejercicio, en los períodos de competición o durante el entrenamiento. Los cambios registrados dependen de las características del esfuerzo, principalmente de su intensidad y duración.

7.3.1. Ejercicio intenso

Se perturban de forma notable las funciones digestivas por:

- Vasoconstricción esplácnica* con fuerte reducción del flujo de sangre por los territorios digestivos, que llega a ser hasta del 60 al 70% en algunos casos, lo que perturba considerablemente la absorción intestinal. Es especialmente destacable si coexiste con un ambiente climático hostil (calor y humedad) y una mala hidratación, porque en este caso la restricción de flujo es todavía mayor. Este efecto es especialmente destacable en niños y adolescentes.
- El *predominio del tono simpático* propio de la actividad física (véase apartado 9.2), altera el peristaltismo gástrico e intestinal y la actividad secretora del páncreas, hígado y mucosa digestiva.
- Los cambios humorales y hormonales del ejercicio, pueden también alterar directa o indirectamente las funciones digestivas.
- La *deshidratación* dificulta la absorción y las secreciones digestivas, favoreciendo el estreñimiento.

En ejercicios extenuantes y de larga duración, sobre todo si se efectúan en posición de pie (como el maratón), pueden aparecer en individuos susceptibles, y sobre todo en las edades juveniles, trastornos digestivos con estreñimiento, cólicos, flatulencias, diarreas poscompeticionales, sensación de ardor gástrico, reflujo gastroesofágico⁴, etc. Son especialmente destacables las hemorragias gastrointestinales que pueden pasar desapercibidas, en forma de *sangre oculta* en las heces, pero que son mucho más frecuentes de lo que se piensa, llegando a afectar al 30% de los participantes en un maratón. Estas pér-

didias de sangre, pueden agravar posibles deficiencias en hierro, especialmente en atletas femeninas. Se explican por diferentes razones: el déficit de irrigación sanguínea (isquemia) por la fuerte vasoconstricción o el estrés psicofísico de la competición, produce *ulceraciones de la mucosa gástrica e intestinal* y también es posible el *sangrado de venas hemorroidales* por causas mecánicas, todo ello favorecido por un posible efecto antiagregante plaquetario de este modelo de esfuerzo, en deportistas entrenados.

7.3.3. Ejercicios de intensidad moderada

En este caso, como que la participación vegetativa simpática no es tan destacable y la vasoconstricción del área esplácnica sólo ligera, tienen un carácter estimulante ligero y favorable sobre la secreción de jugos digestivos y sobre el peristaltismo intestinal y el vaciado gástrico. De ahí que sea útil pasear para una buena digestión y para combatir el estreñimiento.

Algunas de las hormonas y factores humorales vaciados a la sangre en el ejercicio son producidos en órganos de significación digestiva. Estos factores endocrinos, de conocimiento relativamente reciente, parecen jugar un importante papel en la adaptación endocrina y humoral al ejercicio.

7.4. Regulación del equilibrio hidroelectrolítico

El ejercicio altera el contenido hídrico corporal (*isohidria*), la concentración osmótica (*isoosmia*) y el contenido iónico (*isoionía*).

7.4.1. Modificaciones del contenido hídrico corporal (isohidria)

Ingresos y pérdidas de agua deben de hallarse adecuadamente equilibrados en reposo y ejercicio. El ejercicio altera de forma importante el equilibrio hídrico corporal (figura 7.4 y tabla 7.2), con un importante aumento de las pérdidas hídricas por:

- *Sudoración* (prácticamente nula en el sedentarismo).
- *Mayor perspiración insensible* (pérdida de vapor de agua por la piel), a consecuencia del superior flujo sanguíneo cutáneo.

⁴ El contenido gástrico vuelve al esófago produciendo una sensación de quemazón (“pirosis”).

Tabla 5.3. Valores comparados de flujo sanguíneo y de extracción de O_2 en reposo y en el ejercicio intenso entre la circulación coronaria y la muscular esquelética. En el ejercicio, la variación global es claramente inferior en la circulación coronaria, lo que explica la mayor sensibilidad a la hipoxia del músculo cardíaco.

	Reposo	Ejercicio intenso	F. variación
Circulación coronaria			
Flujo sanguíneo ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	0.25	1	4
Extracción O_2 (mL/ 100 mL sangre)	15	20	1.3
Global Δ (flujo x extracción)			5.2
Circulación músculo			
Flujo sanguíneo ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	1	20	20
Extracción O_2 (mL/ 100 mL sangre)	5	15	3
Global Δ (flujo x extracción)			60

sible a cualquier alteración de las coronarias y sufre hipoxia tisular con mucha mayor facilidad que el esquelético, con el agravante de que la posibilidad de metabolismo anaerobio del miocardio es muy limitada. Por ello son importantes las pruebas de esfuerzo para valorar la salud y la permeabilidad de las arterias coronarias.

También se modifican los combustibles utilizados por el miocardio.

- En *reposo*, se consumen esencialmente ácidos grasos libres circulantes por la sangre (representan el 70-80% del total energético); el resto de combustible son por orden de importancia: glucosa (oxidada aeróbicamente), lactato sanguíneo procedente del metabolismo muscular, cuerpos cetónicos y aminoácidos.
- En *ejercicios submáximos*, aumenta la participación relativa de los ácidos grasos y disminuye la del resto, especialmente la de lactato.
- En *ejercicios físicos intensos*, disminuye la participación relativa de los ácidos grasos y aumenta la del lactato sanguíneo, usualmente a elevadas concentraciones plasmáticas por causa de la actividad física, pudiendo incluso circunstancialmente ser el combustible mayoritario.

5.1.6. Modificaciones cardiovasculares en ejercicios de endurance de muy larga duración

En ejercicios muy prolongados, la frecuencia cardíaca va aumentando de forma gradual, a pesar de que no se modifique o incluso pueda disminuir ligeramente la potencia desarrollada. A este efecto, especialmente notable si la prueba se efectúa en un clima cálido y húmedo, se le denomina *cardiovascular drift* y fundamentalmente obedece a la necesidad de aumentar las pérdidas de calor. Hay vasodilatación cutánea y aumenta el flujo de sangre por la piel, con reducción del volumen de sangre disponible para los territorios activos. Baja la repleción ventricular y el volumen sistólico, de modo que para conservar el mismo valor de gasto cardíaco se hace necesario aumentar la frecuencia (figura 5.19). Con la vasodilatación cutánea, la presión sanguínea arterial tiende a reducirse, provocando como respuesta compensadora un aumento del tono de inervación simpática sobre el corazón, que explica en parte este incremento de la frecuencia. Una buena hidratación del deportista, al favorecer las pérdidas calóricas, retarda y minimiza este fenómeno.

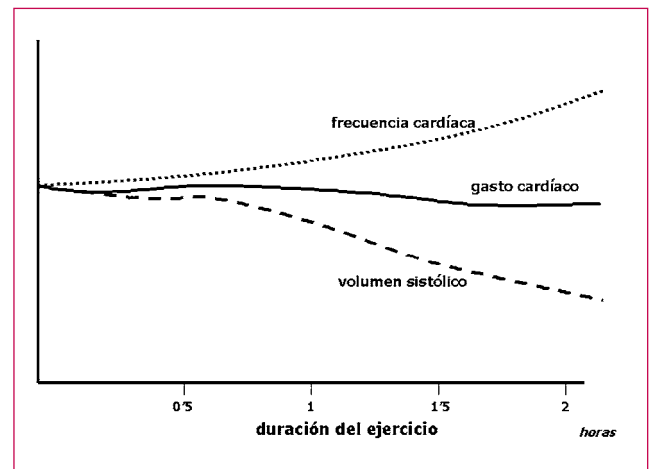


Figura 5.19. En ejercicios de larga duración, para mantener el mismo VMC, va aumentando la fc, por la progresiva disminución del Vs.

5.2. Adaptación cardiovascular al ejercicio isométrico, anaeróbico o de potencia

La respuesta cardiovascular en este tipo de ejercicios es muy diferente a la descrita para los ejercicios dinámicos. Por su gran variabilidad y las dificultades de protocolización y eva-

a través del proceso de autorregulación local de la nefrona, dependiente de sistema renina-angiotensina (véase pág. 147) y de la actividad del simpático.

Tal como se esquematiza en la figura 7.3, la disminución del flujo de orina a nivel del túbulo distal de la nefrona, por la

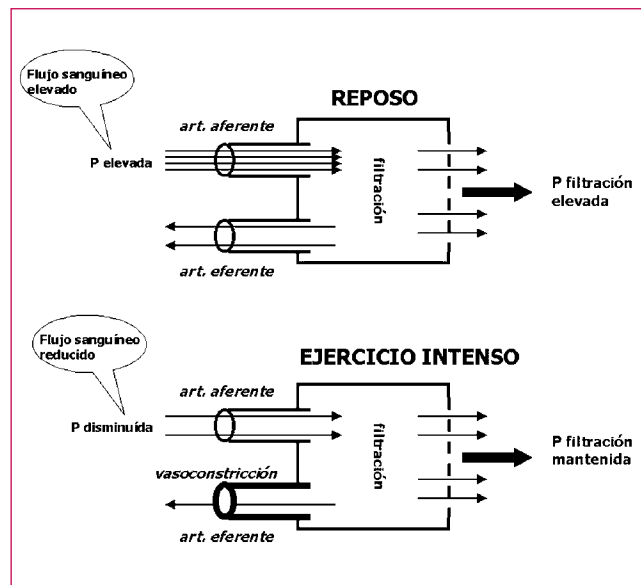


Figura 7.3. Mecanismo de autorregulación local. En el ejercicio físico, la reducción del flujo de sangre y de formación de orina, desencadena una fuerte vasoconstricción sobre la arteriola eferente, lo que incrementa la filtración y permite restablecer parcialmente la tasa de formación de orina.

menor filtración glomerular, estimula la mácula densa del aparato yuxtaglomerular. En respuesta a esta estimulación se produce *vasoconstricción limitada a la arteriola eferente*, manteniéndose constante el calibre de la arteriola aferente (o disminuyendo sólo de forma ligera). De esta forma se mantiene la presión de filtración y no disminuye tanto el volumen del filtrado. Contribuye a mantener la filtración, el aumento de la permeabilidad de las membranas de filtración, en respuesta a la fuerte reducción del flujo sanguíneo, con paso a la orina primitiva de algunos constituyentes, que normalmente no se hallan presentes (proteínas de tamaño medio y con carga negativa).

El hecho de que en el perro y en otros animales no se produzcan modificaciones importantes del FPR ni la TFG durante el ejercicio físico, hace pensar que la *bipedestación* juega un papel destacado. En el ejercicio en posición de decúbito los cambios son de mucha menor importancia o no se producen en absoluto.

7.2.2. Reabsorción tubular en el ejercicio físico

También se producen cambios en las funciones de reabsorción tubular:

- Reabsorción de agua.** En general, en ejercicios intensos de larga duración, aumenta la reabsorción de agua, en parte por la mayor *secreción de hormona antidiurética (ADH)* (véase apartado 9.3.4). Por el contrario, otras veces se forma orina diluida, al parecer por disminución de la reabsorción de agua. Es difícilmente explicable esta menor capacidad de concentración de la orina, en particular si coexiste con aumento de la ADH plasmática, aunque se atribuye a las diferencias de rehidratación durante el esfuerzo, o a la distinta susceptibilidad individual frente al estrés hídrico o térmico.
- Reabsorción de electrolitos.** Durante el esfuerzo, la eliminación urinaria de Na^+ se halla en general disminuida, lo que hace pensar en un incremento en su reabsorción. Sería relativamente independiente de la acción hormonal de la aldosterona (ver 9.3.3), porque si bien aumenta en ejercicios de larga duración, no lo hace en los intensos de corta duración, a pesar de disminuciones semejantes en la eliminación de Na^+ . Paralelamente a las modificaciones de la excreción de Na^+ , se han demostrado cambios en la eliminación urinaria de Cl^- explicables por idéntico mecanismo. La respuesta dista mucho de ser única; en algunos ejercicios se han señalado aumentos destacados de la eliminación de Na^+ y Cl^- por la orina, de difícil explicación e interpretación.
- Reabsorción de compuestos orgánicos.** Se han descrito ligeros aumentos de la reabsorción tubular de glucosa o aminoácidos, siempre poco destacables. Más interés tienen las modificaciones registradas en la reabsorción proteica. En ejercicios extenuantes suelen producirse *proteinurias de esfuerzo*, atribuibles a una disminución de la reabsorción de las presentes en el filtrado glomerular.

Sin embargo, en general, el mecanismo responsable de estas proteinurias de esfuerzo es distinto. Por ejemplo, los notables incrementos de la concentración urinaria de mioglobina después de ejercicios intensos y prolongados, especialmente de carácter violento o explosivo, se encuentran en estrecha correlación con el aumento de su concentración plasmática. No son atribuibles a una disminución de su reabsorción, sino más bien a un incremento de filtración, por el mayor contenido plasmático. Por lo tanto, cabe pensar que las proteinurias consecutivas a ejercicios intensos y prolongados, se explican por el incremento en la permeabilidad de la membrana de filtración a proteínas de dimensiones elevadas, cuyo paso es normalmente muy restringido. En el ejercicio físico

Para atender satisfactoriamente la mayor demanda de O_2 y producción de CO_2 de los territorios musculares activos, junto a las adaptaciones cardiovasculares son necesarias las adaptaciones respiratorias. Aumenta la ventilación, el flujo sanguíneo pulmonar, la difusión de los gases respiratorios y el volumen de gases transportado por la sangre. En este capítulo se estudia este conjunto de adaptaciones, producidas siempre en estrecha relación con las del sistema cardiovascular.

6.1. Flujo sanguíneo y circulación pulmonar en el ejercicio

La circulación pulmonar es un circuito de baja presión, baja velocidad y baja resistencia. En el ejercicio físico el flujo sanguíneo pulmonar aumenta considerablemente, pero a diferencia de lo que ocurre en la circulación mayor, la presión sanguínea y la velocidad de la sangre se modifican poco; el aumento del flujo se logra principalmente por disminución de las resistencias.

6.1.1. Flujo sanguíneo pulmonar

El flujo sanguíneo pulmonar aumenta en *la misma cuantía que el de la circulación sistémica*, pasando desde los valores de 5 a $6 L \cdot min^{-1}$ de la situación de reposo a cifras siete u ocho veces superiores en ejercicios intensos. Estos incrementos se corresponden con los de la ventilación alveolar que comentamos más adelante. Con el incremento de flujo de sangre, en los capilares pulmonares aumenta el área disponible para el intercambio de gases. Hay efectos de reclutamiento y de distensión de vasos alveolares, semejantes a los que explican el espectacular aumento del flujo sanguíneo en la musculatura activa (figura 6.1).

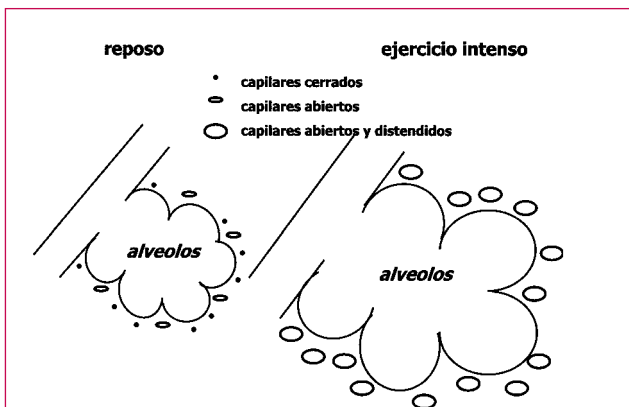


Figura 6.1. Efectos de reclutamiento y distensión de arteriolas y capilares.

Por una serie de mecanismos reguladores poco conocidos, este superior flujo sanguíneo pulmonar es dirigido precisamente hacia las zonas pulmonares con un mayor nivel de ventilación. Estos mecanismos mantienen una buena relación ventilación-perfusión en el conjunto de los dos pulmones y a nivel de cada segmento y territorio pulmonar en concreto.

6.1.2. Resistencias pulmonares

El circuito pulmonar es un territorio de *baja resistencia*. Las paredes de las arterias pulmonares son mucho más delgadas que las de la circulación mayor y su contenido en fibras elásticas y musculares es pobre; las arteriolas son mucho menos contraíbles por la escasez de músculo liso. Las venas pulmonares son muy fácilmente distensibles y en reposo, cumplen funciones de almacenamiento de la sangre, llegando a contener hasta 1 L.

Con el ejercicio estos depósitos se vacían, lo que permiten incrementar el volumen efectivo de sangre circulante (*volemia activa*). Por la naturaleza de las paredes de los vasos pulmonares, los incrementos de la presión de impulsión de la sangre, provocan un efecto de distensión de los vasos, con gran disminución de las resistencias sanguíneas (figura 6.2). El circuito queda así protegido de circunstanciales incrementos de presión sanguínea.

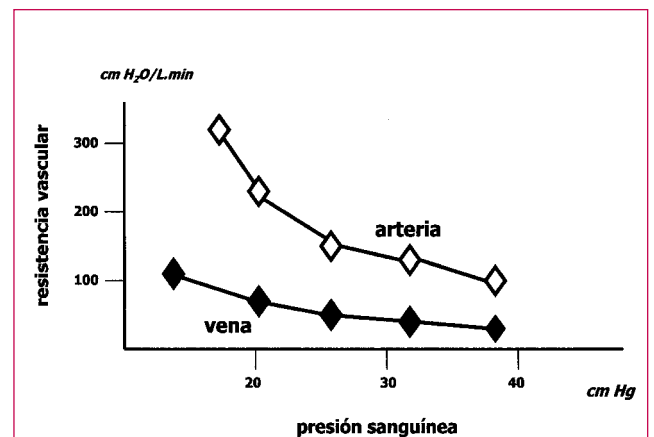


Figura 6.2. Modificación de las resistencias vasculares pulmonares en función de la presión sanguínea.

6.1.3. Presión sanguínea pulmonar

La circulación pulmonar es un circuito de *baja presión*, en reposo y también en ejercicio. La presión sanguínea pulmonar

