



**CATEDRA Nº 1 DE FISIOLÓGÍA HUMANA  
FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNNE**

# **FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO FÍSICO**

**Autor:  
Dr. GUILLERMO O. FIRMAN**

## INTRODUCCIÓN

El ejercicio físico es una actividad que desarrollan todos los seres humanos, en distinto grado, durante su existencia. Como fundamento de su conocimiento y significado es necesario conocer los mecanismos fisiológicos que le sirven de base.

La tendencia al ejercicio y actos locomotores rítmicos es una tendencia natural que tiene rico tono afectivo y produce placer. Esos y otros factores fisiológicos tienen gran importancia en el ejercicio.

Además de placer, el ejercicio mantiene la agilidad corporal, ejerce una influencia psicológica y social profunda; su deficiencia predispone a la obesidad y afecciones metabólicas degenerativas. En síntesis, el ejercicio favorece la salud física y psíquica.

Como sucede en muchos campos biológicos, el exceso es perjudicial y debe evitarse cuidadosamente.

## CLASIFICACIÓN DE LOS EJERCICIOS FÍSICOS

Una primera clasificación de los ejercicios físicos los divide en:

- ◆ Generales: son los no agrupados en el deporte
- ◆ Competitivos

Además se los puede clasificar en:

### A) Según el volumen de la masa muscular:

- **Local:** Ejercicios que involucran menos de 1/3 de la masa muscular total. Por ej. los ejercicios con miembros superiores o inferiores que provocan cambios mínimos en el organismo.
- **Regionales:** Ejercicios en donde participan entre 1/3 y 1/2 de la masa muscular total, por ej. miembros superiores y tronco.
- **Globales:** Ejercicios en donde participan más de la mitad del volumen de la masa muscular total, provocando cambios en el organismo.

### B) Según el tipo de contracción

- **Dinámicos:** También llamados isotónicos. Hay modificación de la métrica del músculo. Puede subclasificarse a su vez en:
  - 1- **Concéntricos:** Cuando la modificación es hacia el centro del músculo.
  - 2- **Excéntricos:** Cuando la modificación es hacia los extremos del músculo
- **Estáticos:** También llamados isométricos. Predomina la energía anaerobia. Estos ejercicios son de escasa duración y provocan serios cambios funcionales en el organismo.

### C) Según fuerza y potencia

- **Ejercicios de fuerza:** Son aquellos en los que se emplea más del 50% de la capacidad de fuerza de un individuo.
- **Ejercicios de velocidad fuerza:** Son aquellos en donde se emplea un 30 a 50% de la fuerza de un individuo.
- **Ejercicios de duración:** No hay empleo de mucha fuerza del individuo, es mínima

### D) Según costos funcionales:

Esta clasificación se realiza en base de algunos indicadores que son:

- **MET:** Consumo de O<sub>2</sub> en ml/min en estado de reposo por kg. de peso.
- **VO<sub>2</sub>:** volumen de consumo de O<sub>2</sub>.
- **FC:** Frecuencia cardíaca
- **VMR:** Equivalente metabólico, en litros/min.

- **T°** : Temperatura en °C
- **Lact.:** Producción de lactato

Actividades	MET	VO <sub>2</sub>	FC	VMR	T°	Lact.
Reposo	1	0,25	70	8	37	10-20
Ligero	6	1,5	120	35	37,5	20
Mediano	8	2	140	50	38	20-30
Pesado	10	2,5	160	60	38	40
Muy pesado	12	3,6	180	80	39	50-60
Agotador	12	3	180	120	39	60

Se forman 2 grandes grupos de ejercicios:

- **Variables:** En estos no se puede decir cual es el gasto energético porque ello depende de varios factores, porque el movimiento que se realiza no es estereotipado sino que puede variar (juegos deportivos, deportes de combate, etc.).

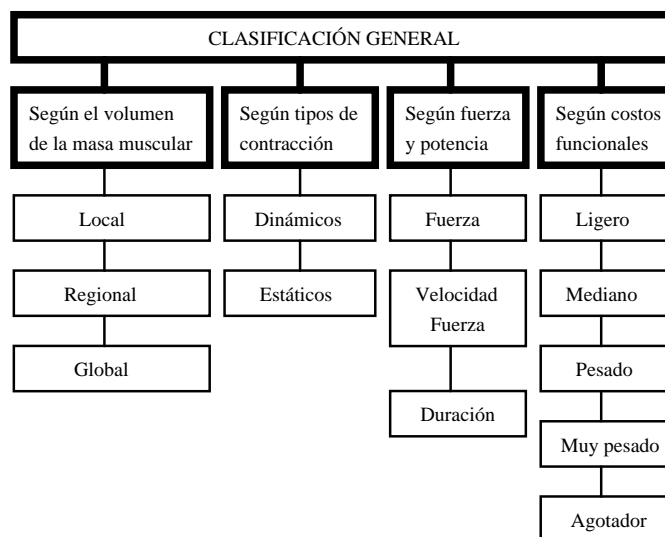
- **Invariables:** Aquí la estructura de los movimientos es fija y siempre igual. No hay nada imprevisto y todo está ordenado perfectamente. Pueden a su vez subdividirse en:

a) Con valoración cuantitativa: Donde hay marcas finales y se expresan con unidades de valoración. Se dividen nuevamente en:

- Cíclicos: Cuando los movimientos se repiten en ciclos reiterados (carrera, marcha, remo, natación, ciclismo), pudiendo ser de potencia anaeróbica o de potencia aeróbica, utilizando para esto criterios energéticos.

- Acíclicos:
  - ◆ Dependientes de velocidad fuerza (saltos y lanzamientos)
  - ◆ Dependientes de fuerza (levantamiento de pesas)
  - ◆ Dependientes de precisión (tiro con arco)

b) Con valoración cualitativa: Se aprecian o valoran según el estilo (patinaje)



### CONTRACCIÓN ISOMÉTRICA E ISOTÓNICA

Se dice que una contracción muscular es isométrica cuando la longitud del músculo no se acorta durante la contracción; es isotónica cuando el músculo se acorta, pero la tensión del mismo permanece constante.

La contracción isométrica no requiere deslizamiento de miofibrillas unas a lo largo de las otras.

Las contracciones isotónicas desplazan una carga, lo cual influye el fenómeno de inercia, incluyendo la ejecución de un trabajo externo.

Cuando una persona está de pie pone en función sus cuádriceps para mantener fijas las rodillas y rígidas las piernas (contracción isométrica). Cuando una persona levanta un peso con sus bíceps, es una contracción isotónica.

En los ejercicios dinámicos (isotónicos) aumenta la precarga y por lo tanto aumenta el volumen minuto cardíaco, y el corazón se va dilatando.

Si hay mayor ejercicio estático (isométrico) el corazón no bombea mucha sangre pero debe luchar contra la resistencia periférica y entonces se hipertrofia, porque la presión arterial aumenta. Por este motivo es que a las personas que sufren de hipertensión arterial se les debe proscribir las actividades estáticas.

Cada músculo del cuerpo está compuesto por dos tipos de fibras: lentas y rápidas, cada una de ellas con características propias:

◆ Fibras rápidas (blancas):

- Fibras mucho más grandes, para una contracción muy potente.
- Retículo sarcoplásmico extenso, para una liberación rápida de calcio.
- Grandes cantidades de enzimas glucolíticas, para la liberación rápida de energía.
- Riego sanguíneo menos amplio, porque el metabolismo oxidativo es menos importante.
- Menos mitocondrias, también porque el metabolismo oxidativo tiene poca importancia.

◆ Fibras lentas (rojas):

- Fibras musculares más pequeñas.
- Están inervadas por fibras nerviosas más pequeñas.
- Sistema vascular más amplio, para que las fibras cuenten con cantidad extra de oxígeno.
- Gran cantidad de mitocondrias, debido a niveles elevados del metabolismo oxidativo.
- Contienen grandes cantidades de mioglobina, almacena oxígeno para las mitocondrias.

Las fibras blancas están adaptadas para contracciones rápidas y poderosas como por ej. saltar; las fibras rojas para actividad muscular continua y prolongada como por ej. una maratón.

## FASES DEL EJERCICIO

Podemos considerar al ejercicio físico como un stress impuesto al organismo, por el cual este responde con un *Síndrome de Adaptación*, y cuyo resultado podrá ser la forma deportiva o la sobrecarga, según sea la magnitud de la carga aplicada. La sobrecarga se produce cuando la magnitud de la carga sobrepasa la capacidad del organismo.

◆ **Carga:** se denomina carga a la fuerza que ejerce el peso de un objeto sobre los músculos.

◆ **Volumen de la carga:** está representada por la cantidad de la misma (kms recorridos, horas de duración).

◆ **Intensidad de la carga:** es el volumen de la carga en función del tiempo.

◆ **Capacidad de trabajo:** denota energía total disponible.

◆ **Potencia:** significa energía por unidad de tiempo.

En el ejercicio físico se producen dos tipos de Adaptaciones:

◆ **Adaptación aguda:** es la que tiene lugar en el transcurso del ejercicio físico.

◆ **Adaptación crónica:** es la que se manifiesta por los cambios estructurales y funcionales de las distintas adaptaciones agudas (cuando el ejercicio es repetido y continuo), por ej. aumento del número de mitocondrias musculares, agrandamiento cardíaco, incremento del consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>), disminución de la frecuencia cardíaca, incremento de la capacidad oxidativa del músculo, etc.

Durante el esfuerzo están presentes las siguientes fases: 1- Fase de entrada  
2- Fase de estabilización  
3- Fase de fatiga  
4- Fase de recuperación

Fase de entrada: es un estado funcional que tiene lugar desde el paso del estado de reposo al de actividad. Se dice que es *heterocrónica*, porque no todas las funciones mecánicas comienzan simultáneamente (Ej. presión arterial, volumen minuto, transporte de O<sub>2</sub>, etc.) En esta fase predominan los procesos *anaerobios*, porque no hay correspondencia entre la oferta y la demanda de oxígeno (ajuste circulatorio inadecuado).

Después de la fase de entrada y antes de la fase de estabilización, se produce un estado de "*Punto Muerto*", donde la capacidad de trabajo disminuye sensiblemente. A continuación viene el llamado "*Segundo aliento*", que es donde comienza la fase de estabilización o estado estable, que es predominantemente *aeróbica* y que si se sobrepasa se produce la fase de fatiga, por agotamiento de las reservas y acumulación del ácido láctico.

Cuando el individuo se encuentra en el "*Punto Muerto*", que ocurre durante los primeros minutos de ejercicio, la carga parece muy agotadora. Puede experimentarse disnea (sensación de falta de aire), pero la dificultad finalmente cede; se experimenta el "*Segundo aliento*". Los factores que provocan esta dificultad puede ser una acumulación de metabolitos en los músculos activados y en la sangre porque el transporte de O<sub>2</sub> es inadecuado para satisfacer las necesidades.

Durante el comienzo de un ejercicio pesado, hay una hipoventilación debido al hecho de que hay una demora en la regulación química de la respiración (falta de adecuación longitud/tensión en los músculos intercostales). Cuando se produce el "*Segundo aliento*", la respiración aumenta y se ajusta a los requerimientos.

Parece que los músculos respiratorios son forzados a trabajar anaerobiamente durante las fases iniciales del ejercicio si hay una demora en la redistribución de sangre. Entonces puede producirse un dolor punzante en el costado. Probablemente sea resultado de hipoxia en el diafragma. A medida que la irrigación de los músculos mejora, el dolor desaparece. Esta teoría no es totalmente satisfactoria. Un desencadenante alternativo de este dolor puede ser un estímulo de origen mecánico de receptores del dolor en la región abdominal. Antes se creía que el dolor era causado por un vaciamiento de los depósitos de sangre en el bazo y la contracción que ocurría en el mismo. En el ser humano el bazo no tiene tal función de depósito. Aun más, personas a quienes se le ha extirpado el bazo (esplenectomizados) pueden experimentar el dolor.

Fase de recuperación: es la que tiene comienzo una vez terminado el ejercicio físico. En esta fase hay una disminución paulatina de la captación de O<sub>2</sub>, con un componente rápido que representa el costo de energía necesaria para formar el ATP y la Fosfocreatina gastados y saturar la mioglobina muscular. Luego hay un componente lento relacionado principalmente con la resíntesis de glucógeno consumido, eliminar el aumento de la temperatura residual y las catecolaminas remanentes. Este período coincide con el aumento del nivel de insulina y de glucagón en sangre, por lo que la captación de glucosa por el músculo es de 3 o 4 veces la de reposo.

## ADAPTACIONES ORGÁNICAS EN EL EJERCICIO

Durante el ejercicio se producen modificaciones adecuadas y coordinadas en todo el organismo, las cuales se detallaran a continuación:

- I. Adaptaciones Metabólicas.
- II. Adaptaciones Circulatorias.
- III. Adaptaciones Cardíacas.
- IV. Adaptaciones Respiratorias.
- V. Adaptaciones en Sangre.
- VI. Adaptaciones en el Medio Interno.

## I - ADAPTACIONES METABÓLICAS

### Sistemas metabólicos musculares

El ATP es la única fuente directa de energía para formar y romper puentes transversales durante la contracción de los sarcómeros. Durante el ejercicio máximo, el músculo esquelético utiliza hasta  $1 \times 10^{-3}$  mol de ATP/gramo de músculo/minuto. Esta velocidad de consumo de ATP es de 100 a 1000 veces superior al consumo de ATP del músculo en reposo. Este último posee solo  $5 \times 10^{-6}$  mol/gramo de ATP acumulados, por lo que habrá depleción de ATP en menos de 1 seg., si no fuera que existen mecanismos para la generación de ATP de considerable capacidad y rapidez.

Los sistemas metabólicos musculares son:

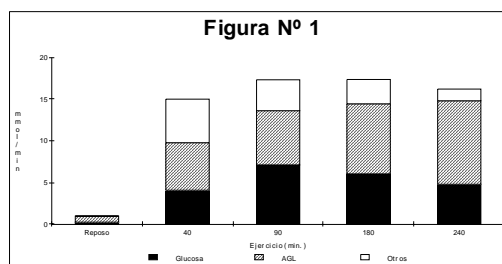
- Reserva de ATP acumulados intracelularmente
- Conversión de las reservas de alta energía de la forma de fosfocreatina a ATP
- Generación de ATP mediante glucólisis anaeróbica
- Metabolismo oxidativo del acetyl-CoA

Con el comienzo del ejercicio de intensidad moderada a grande, la transferencia de fosfato y la glucólisis anaeróbica representan las fuentes iniciales de combustible para reponer el ATP consumido. Los niveles de glucógeno y fosfocreatina descienden rápidamente y aumenta la concentración de lactato en la célula. La preferencia inicial de estas vías metabólicas, está relacionado en parte con la velocidad de las reacciones para la producción de ATP. El metabolismo oxidativo es mucho más lento y además necesita una mayor captación de sustrato y  $O_2$ , los cuales requieren un incremento del flujo sanguíneo. Una vez alcanzado este estado, la generación de ATP puede atribuirse casi por completo a la captación de  $O_2$  y sustratos de la sangre.

Tanto en reposo como en ejercicio, el músculo esquelético utiliza ácidos grasos libres (AGL) como una de las principales fuentes de combustible para el metabolismo aeróbico.

Para el músculo esquelético de cualquier capacidad aeróbica, el transporte de  $O_2$  y sustratos (principalmente AGL) limita el nivel de rendimiento del trabajo submáximo de duración apreciable.

En el músculo en reposo el cociente respiratorio ( $CR = VCO_2 / VO_2$ ) se acerca a 0,7 (normal en el organismo en reposo = 0,82), lo cual indica una dependencia casi total de la oxidación de AGL. La captación de glucosa representa menos del 10% del consumo total de  $O_2$  por el músculo (figura y cuadro N°1).



**Cuadro N° 1**

Ejercicio (min.)	0	40	90	180	240
Consumo Glucosa (%)	4	27	41	36	30
AGL (%)	96	38	37	49	61
Otros (%)	0	35	22	15	9

Durante la fase inicial del ejercicio el glucógeno muscular constituye la principal fuente de energía consumida.

El índice de glucogenólisis muscular es más elevado durante los primeros 5 a 10 minutos. Si el ejercicio continúa los sustratos llevados por la sangre se convierten en fuentes cada vez más importante de energía.

Entre los 10 a 40 minutos aumenta de 7 a 20 veces la captación de glucosa, representando el 30 al 40% del consumo de O<sub>2</sub> total, equiparada a la proporcionada por los AGL.

Si el ejercicio continúa más de 40 minutos la utilización de glucosa alcanza su pico máximo entre los 90 y 180 minutos, declinando luego, aumentando progresivamente la utilización de AGL, que a las 4 hs. alcanza el 61%.

El aumento de la utilización de la glucosa está asociado con un aumento de la excreción de alanina del músculo, que es proporcional a la intensidad del ejercicio efectuado. Si se prolonga el ejercicio pueden ser importantes combustibles energéticos los aminoácidos de cadena ramificada (leucina, isoleucina y valina) que son excretados por el hígado y captados por el músculo, donde se obtienen de 32 a 42 moles de ATP por cada mol de aminoácidos.

En conclusión: durante ejercicios prolongados la utilización de combustibles está caracterizada por una secuencia trifásica, en la cual predomina como sustrato principal para brindar productos de energía el glucógeno muscular, la glucosa sanguínea y los AGL sucesivamente.

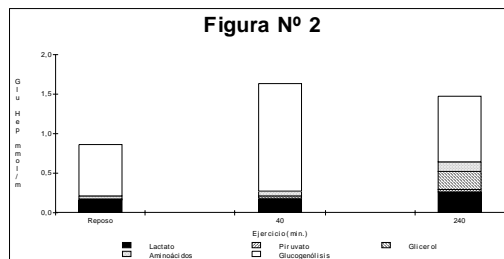
### Regulación de la glucemia en el ejercicio

En el ejercicio de corta duración de liviana a moderada intensidad, la concentración de glucosa en sangre prácticamente no se modifica en relación a la glucemia en reposo. Si es intenso puede observarse una elevación leve de la glucemia (20 a 30 mg/dl)

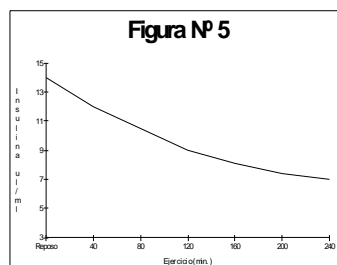
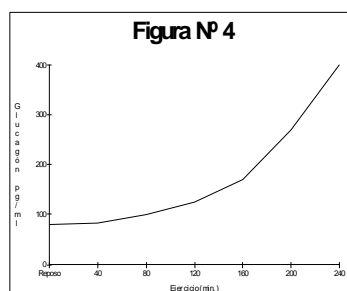
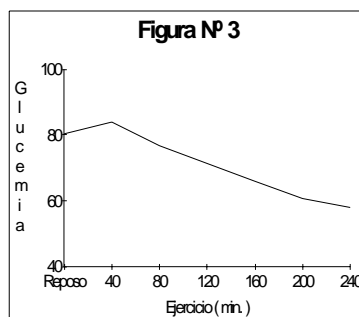
En el ejercicio prolongado (más de 90 minutos) la glucemia desciende entre 10 a 40 mg/dl (Figura N° 3).

El hígado representa el único sitio de producción y liberación de glucosa al torrente sanguíneo y debe tratar de equilibrar el consumo de glucosa por parte del músculo.

En reposo el índice de producción de glucosa hepática es de 150 mg/min, del cual el 75% es glucogenólisis y el resto es gluconeogénesis a partir de alanina, lactato, piruvato y glicerol. El ejercicio de corta duración el aumento de liberación de glucosa hepática es a expensas de la glucogenólisis. A medida que el ejercicio se prolonga hay mayor dependencia de la captación del precursor gluconeogénico para mantener la producción de glucosa hepática (Figura N° 2)



La respuesta hormonal al ejercicio se caracteriza por descenso de insulina y aumento de glucagón. Además aumentan la somatotrofina, adrenalina, noradrenalina y cortisol. La importancia fisiológica de alteración del medio hormonal en el ejercicio se relaciona más con el estímulo de producción hepática de glucosa que con el aumento de utilización de esta (figuras N° 4 y 5).



## Recuperación posterior al ejercicio

### a) Metabolismo de la glucosa

El efecto inmediato del metabolismo de la glucosa en fase de recuperación es iniciar la reposición de las reservas de glucógeno en el músculo y en el hígado.

En período de recuperación temprana hay una rápida elevación de insulina que disminuye la liberación de glucosa hepática hasta niveles basales. El glucagón se mantiene elevado y contribuye al aumento de la captación hepática de precursores gluconeogénicos, principalmente lactato y piruvato y en menor grado alanina.

El músculo mantiene la captación de glucosa 3 a 4 veces superior a los niveles basales.

A las 12 - 14 hs. posteriores al ejercicio las reservas de glucógeno muscular aumentan el 50% o más, aún en ausencia de ingesta alimentaria. Esto se explica por la acelerada gluconeogénesis hepática y su liberación posterior al torrente sanguíneo.



## **b) Catabolismo y anabolismo proteico**

Durante el ejercicio existe catabolismo proteico para obtener sustratos para la gluconeogénesis.

Finalizado el estado de contracción muscular se produce un aumento de la respuesta anabólica, y si se repiten las sesiones de ejercicio el efecto a largo plazo se manifiesta con una hipertrofia muscular.

Similar fenómeno ocurre con las reservas de glucógeno.

## **II - ADAPTACIONES CIRCULATORIAS**

Durante el ejercicio, el mayor requerimiento de O<sub>2</sub> por los músculos que se contraen es satisfecho por un aumento del aporte sanguíneo a los músculos, esto es posible porque el corazón bombea más sangre por minuto y porque ocurren adaptaciones circulatorias, que desvían gran parte del torrente sanguíneo desde tejidos menos activos hacia los músculos.

Estas adaptaciones circulatorias no se circunscriben solamente a los músculos esqueléticos porque aumenta el requerimiento de O<sub>2</sub> del corazón y porque se debe evitar que se desvíe sangre desde el encéfalo hacia los músculos.

Por supuesto, el flujo sanguíneo a través de los pulmones debe aumentar en la misma proporción que el flujo en la parte sistémica de la circulación, pero sin que la velocidad se acelere tanto como para dificultar el intercambio gaseoso adecuado. Estos grandes cambios adaptativos de la circulación obedecen a la interacción de factores nerviosos y químicos.

### **Presión sanguínea**

Uno de los importantes ajustes durante el ejercicio es el aumento de la presión sanguínea arterial (PA), la cual provee la fuerza conducente para incrementar el flujo sanguíneo a través de los músculos. Al mismo tiempo la PA excesivamente alta durante el reposo puede reducir seriamente la tolerancia de un individuo al ejercicio.

El aumento del volumen sistólico (VS) del corazón hace que se expulse mayor volumen de sangre hacia la aorta durante la sístole. Si la resistencia periférica (RP) de las arteriolas permanece constante, la distensión de las arterias debe aumentar para dar cabida a esa masa de sangre, y la presión sistólica se eleva a un nivel mayor antes de que el flujo de salida pueda equilibrar el flujo de entrada. La presión diastólica se incrementa en menor grado, porque la mayor distensión sistólica de los vasos ocasiona una retracción diastólica más rápida y, en consecuencia, la presión puede caer hasta alcanzar casi el nivel diastólico normal.

El aumento de la frecuencia cardíaca (FC) eleva fundamentalmente la presión diastólica, al reducir el tiempo disponible para la caída de la presión en la diástole.

Si la elevación de la PA por vasoconstricción generalizada se asocia con vasodilatación localizada en un órgano aislado, se producen condiciones ideales para que se incremente el flujo sanguíneo a través de dicho órgano.

La PA es afectada por la postura corporal; al pasar una persona del decúbito a posición parada se produce caída momentánea de la presión a consecuencia del menor retorno venoso. Esto activa el reflejo del seno carotídeo, el cual origina una pronta vasoconstricción de los vasos espláncnicos, con elevación consecutiva de la PA que asegura el flujo al cerebro. Esta compensación generalmente

sobrepasa la marca anterior, y la PA es comúnmente entre 10 y 15 mmHg más alta que en posición de decúbito.

También la FC aumenta con el cambio de la postura.

La elevación mínima, o la ausencia de elevación de la FC, y el aumento moderado en la PA al adoptar posición erecta, son interpretados como signos de ajuste circulatorio adecuado.

### **Control del flujo sanguíneo en los órganos**

La adecuación del flujo sanguíneo a las necesidades metabólicas de los tejidos comprende dos procesos distintos, aunque relacionados: dilatación de las arteriolas en los tejidos activos y constricción compensatoria de arteriolas en tejidos menos activos (piel y órganos abdominales). El corazón y el cerebro, en cambio requieren una rica provisión de sangre en todo momento y por eso no participan en la vasoconstricción compensatoria del ejercicio.

Cuando es necesario, el flujo sanguíneo a través de los tejidos puede elevarse aún más por incremento del volumen minuto (VM). El calibre de los vasos es regulado por factores nerviosos, mecánicos y químicos.

### **Control del flujo sanguíneo a través de los músculos esqueléticos**

**Factores nerviosos:** En reposo los vasos musculares tienen un alto grado de vasoconstricción, que persiste de eliminar la inervación vasomotora.

Los músculos esqueléticos reciben fibras vasomotoras exclusivamente de la división simpática del SNA de dos tipos:

- ◆ adrenérgicas: vasoconstrictoras, con débil acción sobre el músculo esquelético
- ◆ colinérgicas: vasodilatadoras, sin embargo no hay pruebas experimentales de que estas fibras tengan acción sobre el músculo esquelético.

Los vasos musculares presentan además receptores  $\beta_2$ , que producen vasodilatación.

**Factores mecánicos:** Compresiones extrínsecas producidos por los músculos en contracción.

**Factores químicos:** Muchas pruebas indican que la vasodilatación en el músculo esquelético se debe a la acción directa de modificaciones químicas locales sobre los vasos sanguíneos, estos agentes serían:

- ◆ Falta de  $O_2$  (hipoxia tisular)
- ◆ Mayores concentraciones de  $CO_2$  y ácido láctico
- ◆ Liberación de potasio intracelular y de histamina
- ◆ Compuestos de adenina provenientes de la desintegración del ATP

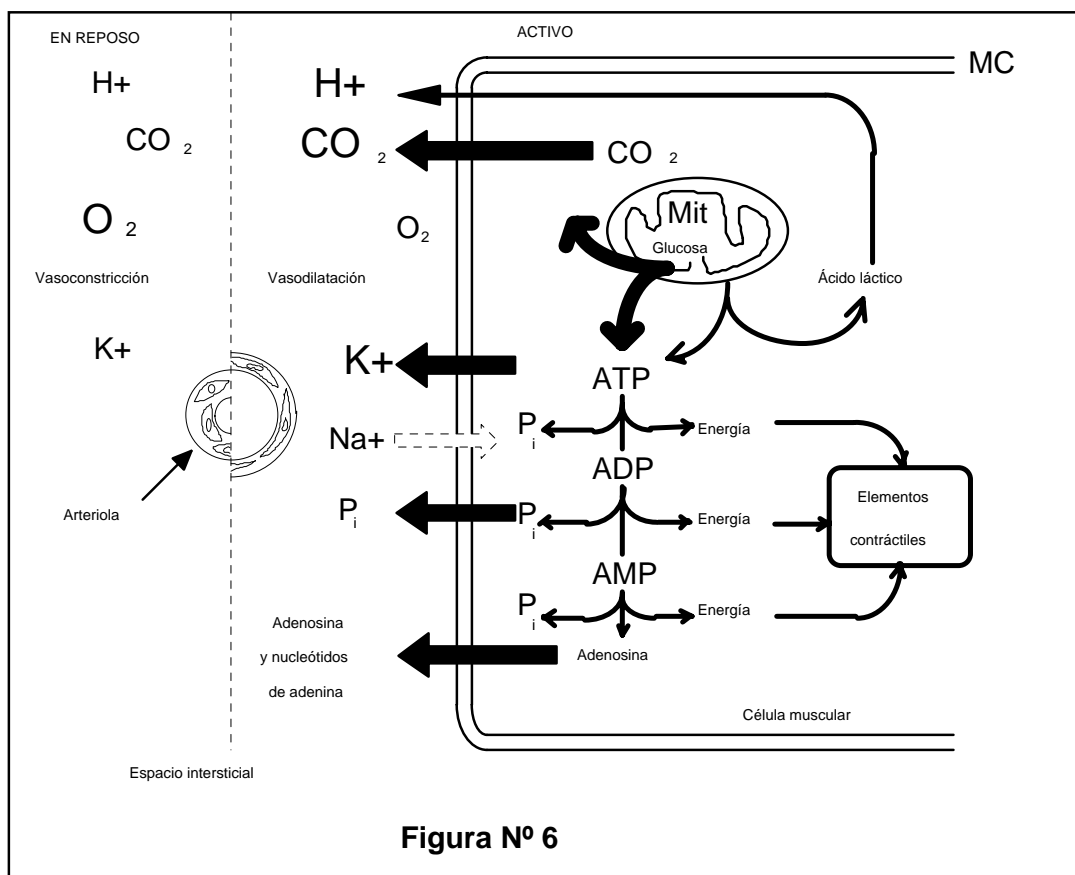


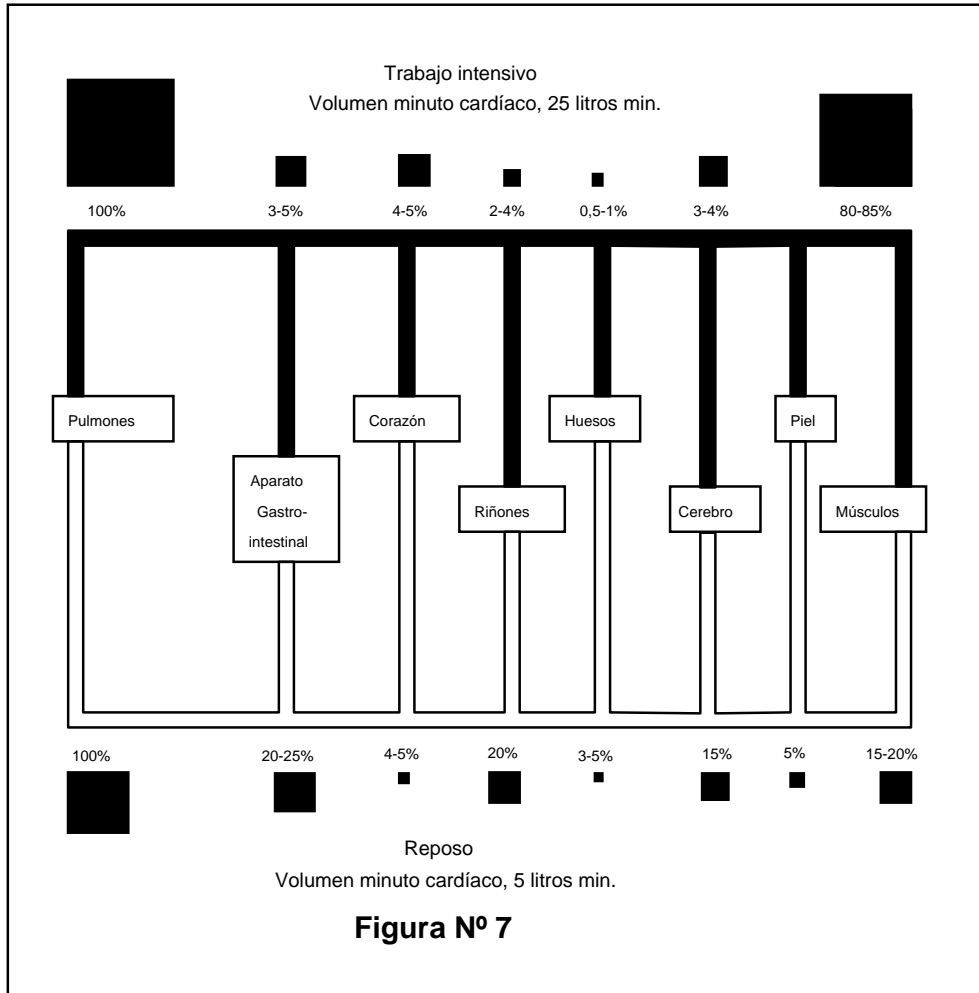
Figura Nº 6

En la figura Nº 6 se esquematizan los cambios principales del fluido intersticial durante la contracción de las células musculares. Cuando el músculo está inactivo (izquierda) las arteriolas están contraídas, la concentración de metabolitos y  $\text{CO}_2$  en el líquido intersticial es baja y se usa poco  $\text{O}_2$ . Cuando los músculos se vuelven activos (derecha): 1) la despolarización de la membrana celular (MC) aumenta la concentración de  $\text{K}^+$  en el espacio extracelular; 2) la regeneración de adenosin trifosfato (ATP) por las mitocondrias (Mit) aumenta la producción de  $\text{CO}_2$ , el cual difunde hacia el espacio extracelular; 3) la producción anaerobia de ATP en el citoplasma da como resultado la formación de ácido láctico, el cual difunde lentamente fuera de la célula; 4) la mayor cantidad de ácido láctico y  $\text{CO}_2$  causa un aumento en la concentración de  $\text{H}^+$  en el fluido extracelular y por ende una disminución del pH; 5) la hidrólisis del ATP a difosfato (ADP) y monofosfato (AMP) y adenosina, con liberación de fosfato inorgánico ( $\text{P}_i$ ), aumenta la concentración de adenosina y nucleótidos de adenina en el espacio extracelular; 6) la osmolaridad del fluido extracelular aumenta. Cada uno de estos cambios puede causar la relajación de las células de músculo liso contraídas y es probable que su combinación sea responsable del ajuste sanguíneo a las necesidades metabólicas de los tejidos. (Las mayores concentraciones y osmolaridad están simbolizadas por las letras más grandes).

### Sitio de la vasoconstricción compensadora durante el ejercicio

Durante el ejercicio, junto con la dilatación de los vasos en los músculos, hay vasoconstricción en órganos abdominales. El flujo sanguíneo disminuye por debajo de los niveles en reposo, por ej. en el riñón el FSR disminuye entre el 50 al 80%. Los vasos de la piel se contraen inicialmente, pero si el ejercicio continúa se dilatan para eliminar el calor excesivo que se produce en la contracción muscular. Además se pierde líquido por sudor con la consiguiente deshidratación y con ello, aumento del hematocrito.

El resultado final es una derivación de sangre desde los órganos abdominales hacia los músculos activos, corazón, piel y un pequeño cambio en el flujo sanguíneo de otras regiones del cuerpo. Este mecanismo derivador, junto con el aumento del VM, elevan el flujo sanguíneo en los músculos en actividad 75 veces más, por lo que el consumo de O<sub>2</sub> se puede incrementar de 0,16 ml de O<sub>2</sub> /100 gr/min en reposo hasta 12 ml de O<sub>2</sub> en ejercicio.



En la figura N° 7 se muestra como las arteriolas y capilares están dispuestos en circuitos acoplados en paralelo entre las arterias (arriba) y las venas. El volumen minuto puede aumentar 5 veces cuando se pasa de un ejercicio común a uno extenuante. Las cantidades indican la distribución relativa de la sangre hacia los diversos órganos en reposo (escala inferior) y durante el ejercicio (escala superior). Durante el ejercicio la sangre circulante es desviada primariamente hacia los músculos. El área de los cuadrados negros es aproximadamente proporcional al volumen minuto del flujo sanguíneo. No se incluye una estimación del flujo sanguíneo del 5 a 10 % hacia los tejidos adiposos en reposo, aproximadamente un 1 % durante un trabajo pesado.

### Flujo sanguíneo en los músculos en actividad

En reposo, los músculos esqueléticos constituyen el 40% del peso corporal y reciben solamente el 15% del VM. Sus arteriolas están contraídas por el tono intrínseco de su músculo liso, además de

su inervación vasoconstrictora simpática. Gran parte de los capilares musculares se encuentran cerrados (se abren y se cierran alternadamente respondiendo a la actividad rítmica de los esfínteres precapilares).

Los cambios circulatorios en el ejercicio se los puede dividir en dos etapas:

◆ **1ª Etapa:** Al comenzar el ejercicio la FC y el VM cardíaco empiezan a aumentar, y las arteriolas de los músculos esqueléticos se dilatan por impulsos vasodilatadores colinérgicos del sistema nervioso simpático. Al mismo tiempo, el flujo sanguíneo de los órganos abdominales y de la piel se reduce por acción de las fibras vasoconstrictoras simpáticas adrenérgicas. La sangre se desvía hacia los músculos, pero sin tener en cuenta la distinción entre los músculos que habrán de entrar en actividad o no.

◆ **2ª Etapa:** En los músculos en actividad hay aumento de la temperatura local y eliminación de productos metabólicos y otros agentes químicos, que ejercen acción directa sobre las arteriolas y contribuyen a su dilatación, aumentan selectivamente el flujo sanguíneo en los músculos activos. simultáneamente se contraen las arteriolas de los músculos inactivos por desaparición de la influencia simpática vasodilatadora y reaparición de la constricción intrínseca normal.

El VM en reposo es de 5 litros y en ejercicio puede elevarse a 20 litros. El músculo esquelético recibe en reposo 0,8 litros del VM, y alrededor de 16 litros en ejercicio, por lo que el aumento total del flujo sanguíneo es de 20 veces. El suministro de O<sub>2</sub> es más elevado todavía (75 veces mayor) debido a que se extrae una fracción de O<sub>2</sub> mayor.

Uno de los resultados del entrenamiento deportivo sería la disminución del VM durante el ejercicio submáximo debido a la derivación más eficiente de la sangre hacia los músculos.

### **Flujo sanguíneo a través del corazón, pulmones y cerebro durante el ejercicio**

La actividad funcional cardíaca aumenta notablemente por lo que el flujo sanguíneo coronario debe incrementarse en proporción. El flujo sanguíneo pulmonar debe ser paralelo al retorno venoso (RV) y la velocidad del flujo sanguíneo no debe incrementarse indebidamente para que la hematosis sea razonablemente completa.

El requerimiento de O<sub>2</sub> del cerebro varía poco al pasar del reposo al ejercicio, pero debe ser adecuado en todo momento.

Las arteriolas del corazón, cerebro y pulmones no participan en la vasoconstricción compensadora. En el corazón y cerebro, el principal factor determinante del flujo sanguíneo es el nivel de la PA. Además, los vasos coronarios se dilatan por disminución del tono vasoconstrictor y en menor medida por los metabolitos ácidos.

Solamente disminuye el flujo coronario en la breve fase isométrica de la sístole por compresión de los vasos.

El flujo sanguíneo pulmonar aumenta pero sin elevación de la PA pulmonar, esto se debe a una disminución de la resistencia del circuito menor post-apertura pasiva de los capilares que estaban parcial o totalmente cerrados.

### **Modificación de la PA en el ejercicio**

Durante la transición del reposo al trabajo se puede producir un descenso momentáneo de la PA, que dura pocos segundos debido a la vasodilatación generalizada inicial en los músculos. A este le sigue el aumento paulatino de la PA, que llega al máximo en el 1er minuto; este valor es proporcional a la intensidad del trabajo. En lo sucesivo, mientras el trabajo continúe invariable, la presión suele descender con lentitud.

Durante el trabajo moderado, se observa un descenso de la FC, debido a una adaptación más eficiente de la circulación muscular.

Durante el trabajo intenso otro factor más contribuye al descenso paulatino de la presión, sería la reducción de la RP, que resulta de la vasodilatación a nivel de la piel.

Al cesar el ejercicio la PA disminuye bruscamente, y llega a un valor mínimo en 5 a 10 seg., pero luego vuelve a ascender. La caída inicial se atribuyó al éstasis sanguíneo en los vasos dilatados de la musculatura, además de la supresión del efecto de bombeo de los músculos actuantes; la recuperación parcial secundaria se debe a vasoconstricción refleja.

### **III - ADAPTACIONES CARDÍACAS**

En los períodos de reposo, los músculos almacenan sustancias nutritivas en cantidades suficientes como para iniciar y mantener el ejercicio hasta que se puedan movilizar las reservas, pero no tienen capacidad de almacenar O<sub>2</sub>, por lo que el aumento de las necesidades de O<sub>2</sub> debe ser satisfecho de dos maneras:

- ◆ Incremento del flujo sanguíneo para los músculos activos
  - Desviando sangre desde zonas menos activas
  - Aumentando el VM
- ◆ Incrementando la extracción de O<sub>2</sub> de la sangre

Se considera que el aumento del VM es la más importante de las respuestas adaptativas para incrementar la entrega de O<sub>2</sub> a los músculos en actividad siendo el factor que suele establecer el límite superior de la capacidad para el ejercicio.

#### **VM cardíaco**

El VM en sujetos en reposo varía con la postura. En decúbito dorsal es de 4-6 litros/min., en posición de pie o sentado, la influencia de la gravedad disminuye el RV y la reducción consecutiva del VM es de 1-2 lt/min. La reducción del VM es a expensas del volumen sistólico (VS), dado que la FC suele aumentar ligeramente.

Durante el ejercicio, los deportistas entrenados pueden llegar a tener un VM de más de 30 lts durante ejercicios máximos, y los no entrenados alrededor de 20 lts. El aumento del VM se debe al incremento del VS y de la FC. Como la FC máxima en el ejercicio extenuante es prácticamente igual en entrenados y sedentarios, el mayor incremento alcanzado en deportistas es debido a su mayor capacidad de incrementar el VS.

#### **Regulación del VS**

Durante el ejercicio, el mayor VS podría obedecer al lleno más completo del ventrículo, al vaciado más efectivo o a ambas causas.

Se demostró que el mayor VS no obedece al mayor llenado ventricular, sino al vaciado más completo. Esto requiere un incremento de la fuerza de contracción (efecto inotrópico positivo) que depende de los impulsos nerviosos aceleradores del simpático y por las aminas simpáticas que transporta la sangre al corazón.

Las personas no entrenadas presentan los siguientes valores de VS:

	REPOSO	EJERCICIO MÁXIMO
DECÚBITO DORSAL	100ml	125ml
POSICIÓN ERECTA	60-70ml	125ml

Con entrenamiento, el VS máximo aumenta hasta unos 150 ml y en atletas del más alto nivel el VS máximo alcanzó en promedio a 189 ml.

### **Retorno venoso (RV)**

Una persona en posición erecta, en ausencia de mecanismos compensadores por efecto de la gravedad, se estancaría sangre en los miembros inferiores. Esto no ocurre porque existen mecanismos eficientes que compensan, ellos son:

- ◆ Vasoconstricción refleja de las venas de las piernas
- ◆ Acción de masaje de los músculos esqueléticos (bomba muscular): Cuando la masa muscular que rodea las venas se contraen, estas se colapsan y su contenido es expulsado hacia afuera, y por la presencia de las válvulas venosas, que impiden el retroceso del flujo sanguíneo, la columna sanguínea asciende hacia el corazón. Cuando los músculos se relajan la vena se llena nuevamente. De esta manera actúan los músculos como una "bomba impelente".

Este es más efectivo con movimientos rápidos y rítmicos (carrera, remo) que en contracciones estáticas y sostenidas de los músculos (levantamiento de pesas).

- ◆ Movimientos respiratorios: Durante la inspiración disminuye la presión en la cavidad torácica y aumenta la presión en el abdomen; estas presiones también se ejercen sobre las paredes de las venas, por lo que hay aspiración de sangre, progresando esta hacia el corazón. Durante la espiración los efectos de la presión se invierten, se vacían las venas torácicas en el corazón derecho y permite el llenado de las venas abdominales.

Durante el ejercicio, esta influencia es elevada por la profundidad y frecuencia de los movimientos respiratorios. Este mecanismo no se presenta en los ejercicios de "esfuerzo sostenido" (levantamiento de pesas) donde aumenta tanto la presión torácica tanto como la abdominal.

### **Frecuencia cardíaca (FC)**

La FC cardíaca normal oscila entre 60 y 100 latidos/min., es 5 a 10 latidos/min mayor en las mujeres que en los hombres. El promedio durante el reposo es de 78 en los hombres y 84 en las mujeres.

Se dice que hay tendencia a que la FC sea más baja en sujetos que tienen buena aptitud física que en los no atletas.

Se produce un ligero incremento en la FC al pasar del decúbito a la posición erecta, la cual tiende a equilibrar el descenso del VS por disminución del RV por efecto de la gravedad.

Durante el ejercicio existe un aumento evidente de la FC, esto depende de la velocidad y duración del ejercicio, el contenido emocional, la temperatura ambiente y humedad, y la aptitud física del sujeto. Se han registrado cifras superiores a 200 latidos/min durante el ejercicio.

Durante el ejercicio máximo la FC media culmina a los 10 años de edad y luego disminuye alrededor de un latido/min cada año.

Existe una relación directa entre la FC máxima y la captación de O<sub>2</sub>.

La aceleración cardíaca comienza al iniciar el ejercicio, e incluso antes en coincidencia con la puesta con la puesta en tensión de los músculos por influencia de la corteza cerebral sobre el centro de la FC ubicada en el bulbo raquídeo, y luego de unos pocos segundos, continúa con una elevación más gradual hasta el máximo nivel que puede aparecer al cabo de 4 a 5 min (pudiendo variar entre menos de 1 min hasta más de 1 hora)

La máxima FC, en la fase estable del ejercicio, tiene una significativa relación con la cantidad de trabajo realizado. Los sucesivos incrementos suelen ser menores cuando se aproximan a valores límites (200 latidos/min).

El tipo de ejercicio influye sobre el incremento de la FC. Existe la mayor aceleración en ejercicios de velocidad (carreras) y la menor en ejercicios de fuerza (lanzamientos). En ejercicios de resistencia (carreras de fondo) la FC fue intermedia.

El tiempo requerido para que la FC se normalice después del ejercicio depende de la intensidad del trabajo, de su duración y de la condición física del sujeto.

Los factores fisiológicos que determinan el retardo en la recuperación después del ejercicio son los siguientes:

- ◆ Persistencia de factores que elevan la FC (aumento de la temperatura corporal y de la concentración de ácido láctico en sangre)

- ◆ Respuestas reflejas a la rápida cesación del ejercicio con la consiguiente éstasis sanguínea en los vasos musculares dilatados, disminución del RV, disminución del VS, disminución de la PA y aumento de la FC.

### **Regulación de la FC**

La FC se halla regulada por factores químicos y nerviosos.

El impulso que excita al corazón se origina en el nodo sinoauricular independientemente del sistema nervioso, pero este último desempeña un papel importante en la regulación de su actividad.

El nodo sinoauricular tiene inervación de 2 tipos:

- ◆ Los nervios vagos que disminuyen la FC
- ◆ Los nervios aceleradores o simpáticos que la aumentan

En reposo existe influencia constante del vago denominadas "*tono vagal*", impulsos que se originan en el centro cardioinhibidor del bulbo raquídeo que actuaría como freno para la FC.

Durante el ejercicio el aumento de la FC es causado por una disminución de la acción inhibitoria del vago. Durante ejercicios agotadores el incremento de la estimulación simpática recién adquiere importancia, ya que en reposo su influencia es poco significativa.

Factores adicionales, como el aumento de la temperatura corporal y de la secreción de adrenalina, ejercen acción directa sobre el corazón. La descarga del centro cardioinhibidor se produce a través de reflejos, cuyos impulsos aferentes se originan en los senos aórticos y carotídeos.

También es influenciado por la corteza cerebral y otros centros superiores, este sería el origen del aumento psíquico de la FC segundos antes de iniciarse el ejercicio.

Ciertos reflejos que se originan en las articulaciones y los músculos durante su contracción contribuyen a producir aumentos en la FC y en la respiración.

### **Adaptaciones circulatorias en el ejercicio isotónico e isométrico**

Existen diferencias cuali-cuantitativas entre el ejercicio dinámico o isotónico y el ejercicio estático o isométrico.

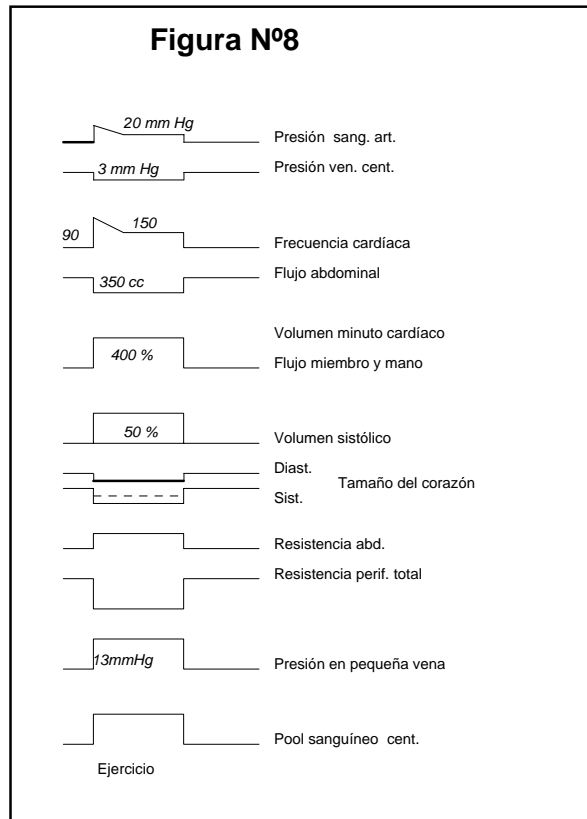
En el ejercicio dinámico existe un gran aumento del VM y la FC, con elevación moderada de la PA (170 mm Hg P.sist./100 mm Hg P. diast.) y una reducción neta de la RP. Esto se debe al aumento del consumo de O<sub>2</sub> por el músculo.

Por el contrario, el ejercicio estático lleva a un pronunciado aumento de la PA (300 mm Hg P. sist./150 mm Hg P. diast.) y la RP. El aumento del VM es solo moderado y se debe casi por



completo al aumento de la FC, esto se relaciona no solamente con el consumo de O<sub>2</sub> sino también con el porcentaje de desarrollo de tensión máxima.

En la figura N° 8 se resumen las respuestas hemodinámicas al ejercicio moderado en el hombre.

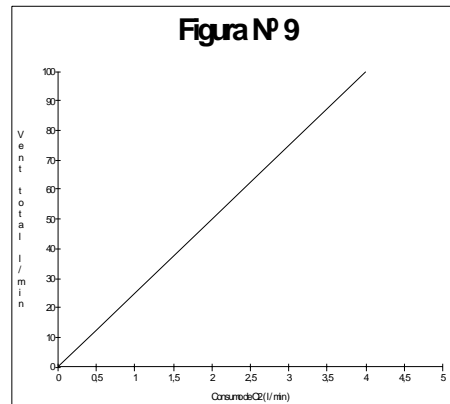


#### IV - ADAPTACIONES RESPIRATORIAS

##### Consumo de O<sub>2</sub> y ventilación pulmonar

El consumo normal de O<sub>2</sub> para el varón adulto joven en reposo es de 250 ml/min, pero en condiciones extremas este valor puede llegar a 3600 ml/min sin entrenamiento, 4000 ml/min con entrenamiento deportivo, y 5100 ml/min en un corredor de maratón masculino.

El consumo de O<sub>2</sub> y ventilación pulmonar total aumenta unas 20 veces desde el estado de reposo al de ejercicio de intensidad máxima (figura N° 9)



La capacidad respiratoria máxima es cerca del 50% mayor que la ventilación pulmonar real durante el ejercicio máximo, ello brinda un elemento de seguridad para los deportistas dándoles ventilación adicional en caso de ejercicios a grandes alturas, ambientes muy cálidos o anomalías en el sistema respiratorio.

### **Efecto del entrenamiento sobre la VO<sub>2</sub> máx.**

El consumo de O<sub>2</sub> bajo un metabolismo aeróbico máximo (VO<sub>2</sub> máx.) en períodos cortos de entrenamiento (2-3 meses) solo aumenta el 10%. Sin embargo los corredores de maratón presentan un VO<sub>2</sub> máx. alrededor del 45% superior al de las personas no entrenadas. En parte ese valor superior corresponde a determinación genética, es decir, son personas que tienen mayor tamaño torácico en relación al tamaño corporal y que poseen músculos respiratorios más fuertes.

### **Capacidad de difusión de Oxígeno**

Se incrementa al triple de su valor la capacidad de difusión entre el estado de reposo (23 ml/min) y el de ejercicio máximo (64 ml/min), esto se debe principalmente a que el flujo sanguíneo a través de los capilares pulmonares es muy lento e incluso nulo durante el estado de reposo, mientras que en el ejercicio el incremento del flujo sanguíneo en los pulmones hace que todos los capilares se hallen perfundidos al máximo, lo que brinda mayor superficie donde el O<sub>2</sub> puede difundir.

### **Gases sanguíneos**

Tanto la PO<sub>2</sub> como la PCO<sub>2</sub> se mantienen casi normales, lo que indica gran capacidad del sistema respiratorio para suministrar aireación adecuada de la sangre incluso durante el ejercicio máximo. En el ejercicio la respiración se estimula principalmente por mecanismos neurógenos: por estímulo directo del centro respiratorio, por las mismas señales que se transmiten desde el cerebro a los músculos para producir movimientos, y por señales sensoriales hacia el centro respiratorio generadas en los músculos en contracción y las articulaciones en movimiento.

## **V - ADAPTACIONES EN LA SANGRE**

### **Efectos del ejercicio sobre los eritrocitos.**

El recuento de glóbulos rojos de la sangre con frecuencia está aumentado en los primeros momentos del ejercicio, probablemente por simple hemoconcentración (transferencia de líquido sanguíneo a los tejidos). Durante ejercicios más prolongados el líquido pasa a la sangre por lo que hay hemodilución. Un esfuerzo muy agotador puede causar incremento de la destrucción de los glóbulos rojos como consecuencia de compresiones capilares por la contracción muscular y el aumento de la velocidad del flujo sanguíneo, sobre todo en personas de hábitos sedentarios que practican en forma esporádica actividades físicas.

### **Modificaciones de los glóbulos blancos durante el ejercicio.**

El ejercicio de cualquier naturaleza aumenta el recuento leucocitario. En los primeros instantes del ejercicio intenso el aumento relativo de los leucocitos se debe sobre todo al mayor número de linfocitos, pero si el ejercicio se prolonga la elevación consecutiva depende casi exclusivamente del incremento de neutrófilos. Este aumento se produce muy rápidamente y se han registrado cifras de 35.000/mm<sup>3</sup> (normal 5.000 a 10.000/mm<sup>3</sup>). La explicación más razonable es que gran número de células, que durante el reposo permanecen adheridas a las paredes de los vasos, son arrastradas a la circulación por el aumento del volumen y la velocidad del flujo sanguíneo.

Cuando mayor es el grado de stress asociado con el ejercicio, mayor es la elevación del recuento de glóbulos blancos. Un stress de cualquier tipo (ejercicio agotador, excitación, ansiedad, etc.) determina mayor secreción de hormonas de la corteza suprarrenal, y uno de los efectos causados por éstas es la disminución del número de eosinófilos de la sangre.

### **Coagulación de la sangre y fibrinólisis**

El ejercicio acentúa la coagulación de la sangre, acompañado de mayor actividad fibrinolítica. Inmediatamente después del ejercicio se acorta el tiempo de coagulación, normalizándose a las pocas horas, probablemente por aumento de la actividad del factor antihemofílico. El aumento de la actividad fibrinolítica se debe a la mayor concentración de un activador del plasminógeno.

## **VI - ADAPTACIONES DEL MEDIO INTERNO**

### **Regulación del volumen y la composición de los compartimientos líquidos**

El agua corporal total (ACT) está determinada por el equilibrio entre el ingreso de agua (incluyendo la contenida en los alimentos y la producida durante el metabolismo) y la pérdida hídrica con la orina, heces, sudor y aire espirado. El equilibrio se mantiene con ajustes adecuados entre esos distintos factores cuando hay modificaciones, por ej., si se pierde excesiva cantidad de agua con la sudoración, disminuye la excreción urinaria; y si ingresa agua en exceso, por la misma vía se incrementa la excreción.

Los dos factores de regulación más importantes en el mantenimiento del equilibrio hídrico son:

- ◆ Ingestión voluntaria de agua, controlada por la sensación de sed.
- ◆ Excreción de orina, controlada por la ADH

## **Alteración del equilibrio líquido en el ejercicio agudo**

Durante el ejercicio se produce hemoconcentración, o sea, mayor concentración de glóbulos rojos, hemoglobina y proteínas plasmáticas.

El mecanismo básico consiste en el paso de líquido desde la sangre hacia los espacios hísticos por el incremento de la presión sanguínea en los capilares musculares, junto con la elevación de la presión sistólica durante el ejercicio. Si se agrega a ello transpiración excesiva, esta pérdida de agua contribuirá a la hemoconcentración, a menos que se equilibre mediante la disminución de la excreción renal de agua, o por la mayor ingestión voluntaria de agua. Finalmente, hay pruebas de que el aumento del metabolismo celular, por transformación de las moléculas grandes en otras pequeñas con el consiguiente aumento en el número de partículas, puede contribuir a la absorción osmótica de líquido por las células a expensas del agua de los compartimientos intersticial y vascular.

## **Deshidratación durante el ejercicio**

En los deportes la pérdida de agua está muy aumentada por la transpiración y el aire espirado, y por la dificultad de su reposición durante el ejercicio.

Durante la actividad intensa, especialmente en climas cálidos, la pérdida de agua puede llegar a cifras muy altas (hasta el 8% del peso inicial). Esto trae como resultado un deterioro en el rendimiento que se manifiesta por la elevación de la temperatura rectal y de la frecuencia del pulso (indicadora del esfuerzo adicional de los mecanismos de regulación térmica y cardiovasculares requeridos durante el ejercicio) y el agotamiento precoz.

Durante el ejercicio prolongado en tiempo caluroso hay que beber agua con frecuencia para reponer líquido corporal que se pierde con el sudor, pero el cuerpo no retiene el agua si ésta no se acompaña de sal (el consumo de agua conduce a una pérdida similar por orina). Si el peso disminuye más del 3% durante el ejercicio, hay que aumentar el consumo de sal. Se debe reponer constantemente bebiendo agua salada, que se prepara mezclando 2 cucharaditas de sal común en 4 litros de agua (volumen de sal al 0,1%). Debe beberse como mínimo 1 litro de agua salada por hora cuando se transpira demasiado.

## **Función renal durante el ejercicio**

La alteración de la función renal causada por el ejercicio depende fundamentalmente de la respuesta cardiovascular, que deriva la sangre desde los órganos viscerales y la piel hacia los músculos en actividad. El flujo sanguíneo renal (FSR) suele ser menor durante el ejercicio y hasta una hora después de realizado, y la magnitud de esa disminución se relaciona con la intensidad del ejercicio y con el grado de agotamiento producido.

Durante el ejercicio la excreción renal de agua disminuye, debido a que la secreción de ADH aumenta, al principio como consecuencia del stress y de estímulos emocionales, y más adelante por la deshidratación que puede causar la transpiración intensa.

El resultado es una disminución de la velocidad de formación de orina debido a uno de los siguientes factores o ambos:

- ◆ Disminución del filtrado glomerular por la reducción del FSR
- ◆ Aumento de la resorción tubular del líquido filtrado por la mayor secreción de ADH

Además de la conservación del agua corporal, los riñones tienen un papel importante en la eliminación del ácido (lactato y piruvato) producidos en exceso durante el ejercicio vigoroso. Esto se demuestra midiendo el pH de la orina, que cae extraordinariamente durante el ejercicio intenso y, sobre todo, después de éste.

## **EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO PARA EL EJERCICIO DINÁMICO**

El entrenamiento comprende el perfeccionamiento de la habilidad, fuerza y resistencia.

El entrenamiento de resistencia aumenta la capacidad aeróbica máxima, es decir, la captación máxima de O<sub>2</sub>. Esta define la capacidad funcional del sistema cardiovascular y refleja el producto del VM cardíaco y la diferencia de O<sub>2</sub> arterio-venoso, se desprende que un cambio del consumo de O<sub>2</sub> máximo debe reflejar un cambio correspondiente en el VM cardíaco máximo.

El entrenamiento aumenta el tamaño y número de las mitocondrias por gramo de músculo; el nivel de actividad enzimática mitocondrial por gramo de proteína mitocondrial; la capacidad del músculo de oxidar las grasas, hidratos de carbono y cetonas; y la capacidad de generar ATP. El efecto neto de estos cambios en el músculo es un aumento de la capacidad para la extracción de O<sub>2</sub> periférico (diferencia arterio-venosa de O<sub>2</sub> aumentada) y una reducción de la producción de lactato (mayor capacidad aeróbica) a cualquier carga de trabajo dada.

A nivel cardiovascular el efecto del entrenamiento se caracteriza por una disminución de la FC y de la PA y un aumento del VS a una carga de trabajo submáxima dada. La descarga simpática es menor, la RP total es menor, y la necesidad de sustrato del músculo en ejercicio se satisfacen en mayor medida por extracción que por aumento de la perfusión y de la presión de la perfusión.

En consecuencia, los requerimientos de O<sub>2</sub> del corazón son menores a una carga de trabajo dada, porque la FC, la postcarga, el grado de acortamiento y la velocidad de acortamiento son menores.

En el cuadro siguiente se resumen los efectos del entrenamiento sobre los órganos y sus funciones.

ÓRGANO O FUNCIÓN	EFEECTO	ÓRGANO O FUNCIÓN	EFEECTO
<i>Órganos locomotores</i>		Concentración de lactato en sangre:	
Fuerza de hueso y ligamentos	I	Reposo	s/e
Grosor del cartilago articular	I	Ejercicio submáximo	D
Masa muscular (hipertrofia)	I o s/e	Ejercicio máximo	I o s/e
Número de células musculares	s/e	Flujo sanguíneo local, músculo:	
Composición de la fibra	s/e?	Ejercicio submáximo	D
Fuerza muscular	I	Ejercicio máximo	I
ATP, fosfocreatina muscular	I o s/e	Presión arterial	
Actividad enzimática "anaerobia" en el músculo	I o s/e	Reposo	s/e o D?
Actividad de enzima oxidativa en el músculo	I	Ejercicio submáximo	s/e? o D?
Mioglobina	I	Ejercicio máximo	I? o s/e?
Densidad capilar en el músculo	I	<i>Respiración</i>	
Arterias colaterales en el músculo	I	Volúmenes pulmonares:	
Capacidad buffer en el músculo	I	Adultos	s/e
<i>Circulación</i>		Adolescentes	I? o s/e?
Volumen cardíaco	I o s/e	Ventilación pulmonar:	
Peso del corazón	I o s/e	Reposo	s/e?
Densidad capilar en el corazón	I	Ejercicio submáximo	s/e o D
Colaterales coronarias	I? o s/e	Ejercicio máximo	I
Volumen sanguíneo, hemoglobina total	I	Aire "tidal" (volumen corriente)	
Capacidad buffer	s/e	Reposo	I? o s/e
Concentración de hemoglobina	s/e o D	Ejercicio submáximo	I? o s/e
Concentración de proteínas plasmáticas	s/e	Ejercicio máximo	I? o s/e?
Eflujo cardíaco:		Ritmo respiratorio:	
Reposo	s/e	Reposo	s/e o D?
Ejercicio submáximo	s/e o D?	Ejercicio submáximo	s/e o D?
Ejercicio máximo	I	Ejercicio máximo	I
Frecuencia cardíaca:		Capacidad de difusión:	
Reposo	D	Reposo	s/e
Ejercicio submáximo	D	Ejercicio submáximo	s/e
Ejercicio máximo	s/e o D?	Ejercicio máximo	I
Volumen latido:		<i>Varios</i>	
Reposo	I	Densidad corporal	
Ejercicio submáximo	I	Sangre:	
Ejercicio máximo	I	Colesterol sérico	
Diferencia a-VO <sub>2</sub> :		Triglicéridos séricos	
Reposo	s/e	HDL	
Ejercicio submáximo	I? o s/e?	I: Incremento	
Ejercicio máximo	I o s/e	s/e: Sin efecto	
Captación de oxígeno		D: Disminución	
Reposo	s/e	?: Probablemente	
Ejercicio submáximo	s/e o D		
Ejercicio máximo	I		

## BIBLIOGRAFÍA

1. Astrand - Rodahl, Fisiología del Trabajo Físico, 3ª Edición 1992 Editorial Panamericana.
2. Best y Taylor, Bases Fisiológicas de la Práctica Médica, 12ª Edición 1994 Editorial Panamericana
3. Curso de Fisiología y Bioquímica del Ejercicio, La Habana (Cuba) Diciembre 1993
4. Guyton, Tratado de Fisiología Médica, 8ª Edición 1991 Editorial Interamericana Mc Graw Hill
5. Harrison, Principios de Medicina Interna, 11ª Edición 1987 Editorial Interamericana Mc Graw Hill
6. Morehouse - Miller, Fisiología del Ejercicio, 9ª Edición 1986 Editorial El Ateneo
7. Smith - Thier, Fisiopatología, 2ª Edición 1991 Editorial Panamericana