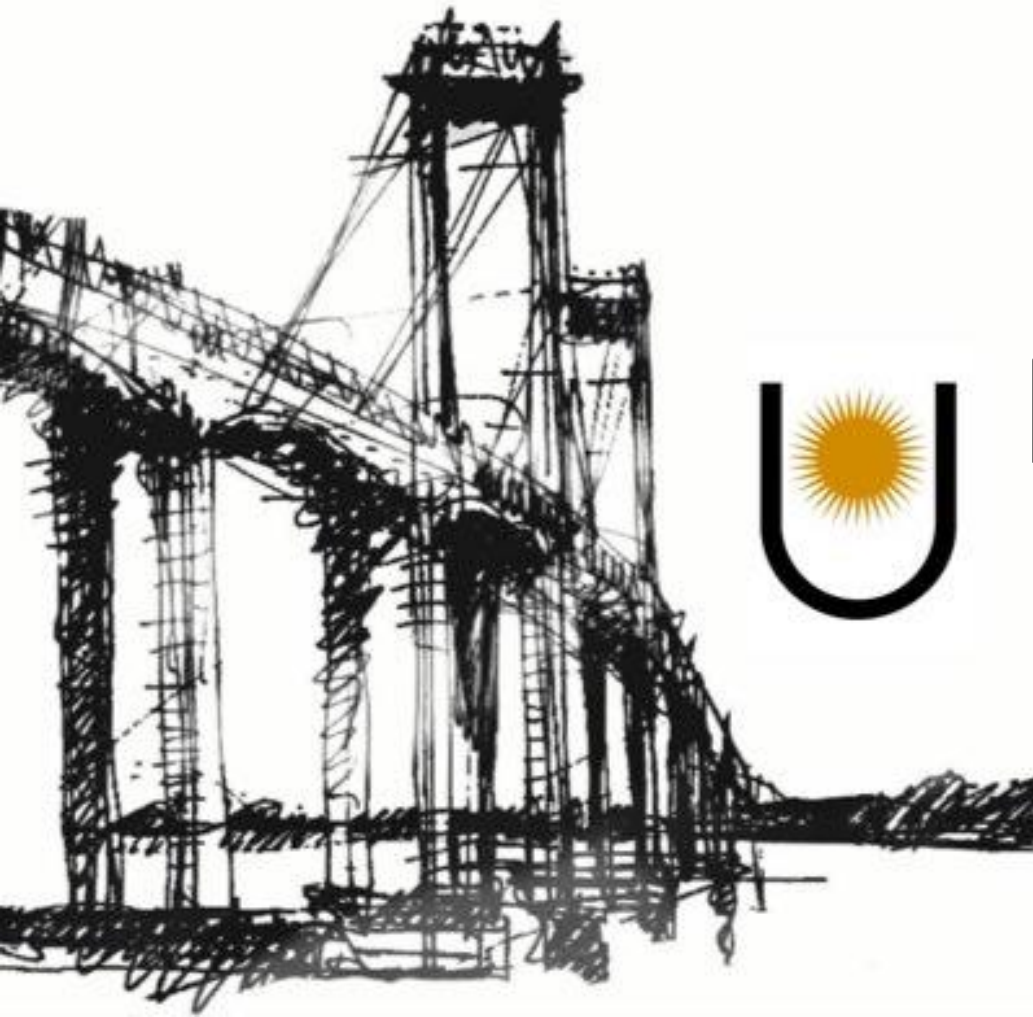


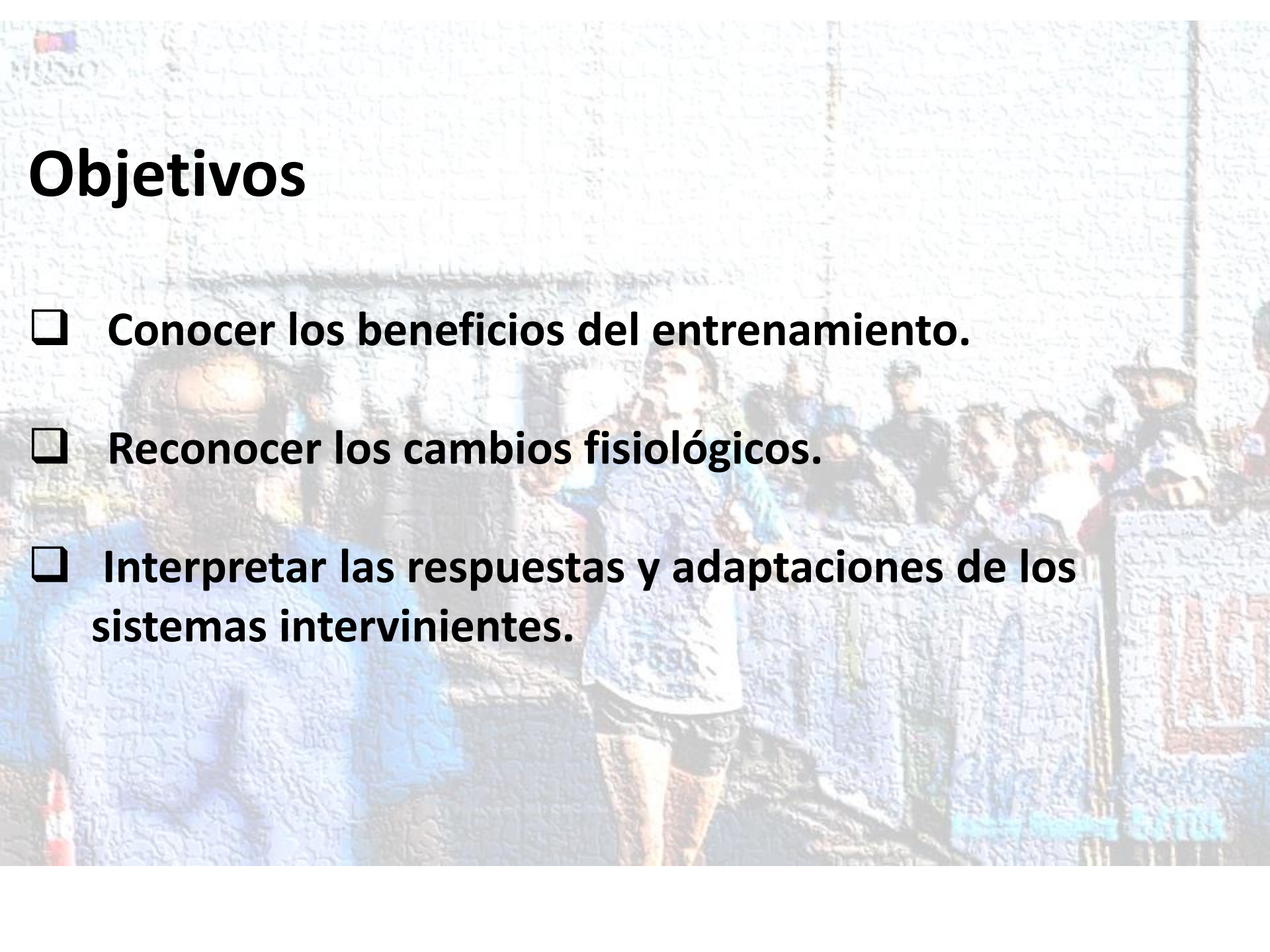


FISIOLOGÍA HUMANA

Fisiología del Ejercicio

Objetivos

- ☐ Conocer los beneficios del entrenamiento.
- ☐ Reconocer los cambios fisiológicos.
- ☐ Interpretar las respuestas y adaptaciones de los sistemas intervinientes.



La fisiología del ejercicio es fundamental para comprender cómo el organismo se adapta y responde al esfuerzo físico.

¿ACTIVIDAD FÍSICA = EJERCICIO FÍSICO?

ACTIVIDAD FÍSICA

cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que exija gasto de energía.

EJERCICIO FÍSICO

variedad de movimientos corporales planificados, estructurados, repetitivos con el objetivo de mejorar o mantener la aptitud física y la salud



EJERCICIO FISICO

A detailed anatomical illustration of a male runner in a dynamic pose, showing the musculature of the legs, torso, and arms. The figure is rendered in a semi-transparent style, highlighting the underlying muscle structure.

**Conjunto de fenómenos
mecánicos resultante del
funcionamiento del
aparato locomotor**

- **músculos**
- **huesos**
- **articulaciones**
- **vasos sanguíneos**
- **nervios.**

Necesita de la cooperación correlacionada y precisa de todos los órganos, aparatos y sistemas de la economía (cardiovascular, respiratorio, nervioso, metabólico endocrino, excretor).

ENTRENAMIENTO

Preparación para perfeccionar el desarrollo de una actividad, especialmente para la práctica de un deporte.

Ejercicios Repetitivos y Progresivos

Elevar la capacidad de trabajo

Mejora Rendimiento (limitado)

para provocar un efecto observable y medible

Involucra el perfeccionamiento de la habilidad, fuerza y resistencia de los órganos intervinientes.

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO



Los efectos del entrenamiento son **REVERSIBLES** con el tiempo
Para mantener sus beneficios , mantener ininterrumpidamente la ejercitación

EFFECTOS DEL ENTRENAMIENTO



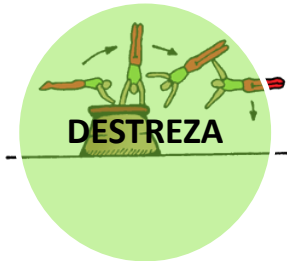
FUERZA

Mayor desarrollo muscular,
Mayor disponibilidad de unidades motoras.



RESISTENCIA AL ESFUERZO

Facilidad para aportar O_2 y nutrientes energéticos
ingresa mayor cantidad de aire a los pulmones y
El corazón bombea mayor cantidad de sangre por unidad de tiempo.



DESTREZA

Coordinación neuromuscular, mayor velocidad de movimiento
(sincronización de músculos agonistas y antagonistas),
Empleo del músculo más adecuado y en su justa medida

LAPSO APARICION FATIGA

Fatiga: capacidad de trabajo disminuida consecuencia de un esfuerzo.
Se caracteriza por la disminución del glucógeno muscular y aumento
del ácido láctico.

ESPECIFICIDAD ADAPTATIVA

El sistema muscular sometido a
Trabajos intensos en períodos breves desarrolla **POTENCIA**, pero
Ejercitado ligeramente durante períodos largos generará **RESISTENCIA**.



ENERGÍA QUÍMICA

25% TRABAJO

75% CALOR

MOTONEURONAS TÓNICAS

MOTONEURONAS FÁSICAS

Músculo

Fibra lenta

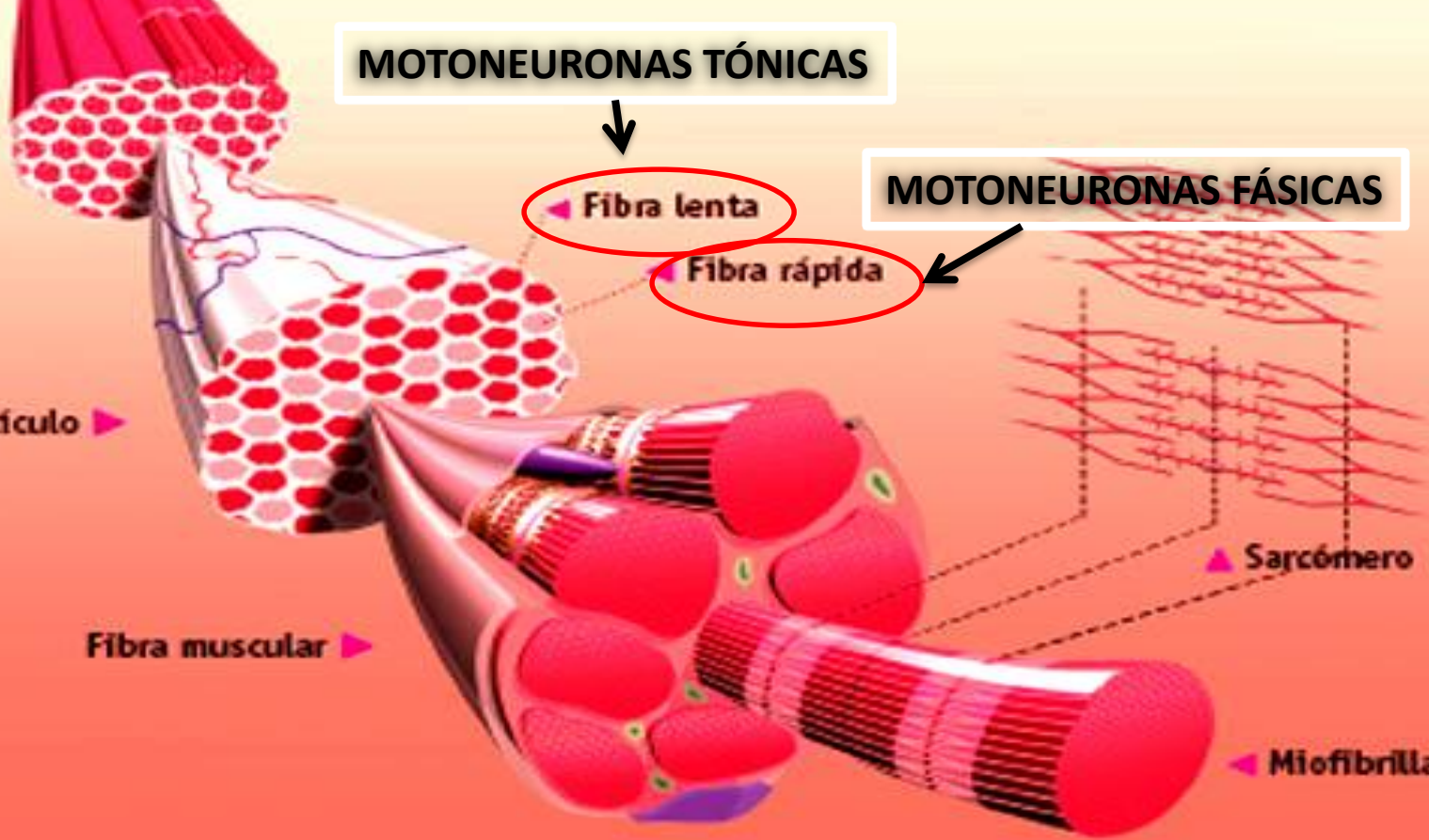
Fibra rápida

Fascículo

Fibra muscular

Sarcómero

Miofibrilla



DIFERENCIAS ENTRE FIBRAS RAPIDAS Y LENTA

CARACTERÍSTICAS	RÁPIDAS (BLANCAS) MOTONEURONAS FÁSICAS	LENTAS (ROJAS) MOTONEURONAS TÓNICAS
Resistencia a FATIGA	Menor	Mayor
Combustible Principal	Glucosa	Ácidos Grasos
Metabolismo	GLUCÓLISIS ANAEROBICA	FOSFORILACIÓN OXIDATIVA
Rendimiento Energético	2 ATP/mol glucosa	36 ATP/glu >100ATP/AG
Riqueza de sustratos	PCr-Gg pocos Lip y Mio	Mio, TG, AGL, AA (-Gg)
Densidad de capilares	BAJA	ALTA
Mitocondrias-Gránulos	ESCASO	ABUNDANTE
Velocidad de contracción	Mayor	Menor
Utilización específica	Ejercicios de Potencia	Ejercicios de Resistencia

Los Sistemas Metabólicos Musculares durante el Ejercicio

1 – Fosfágenos

8'' – 10''

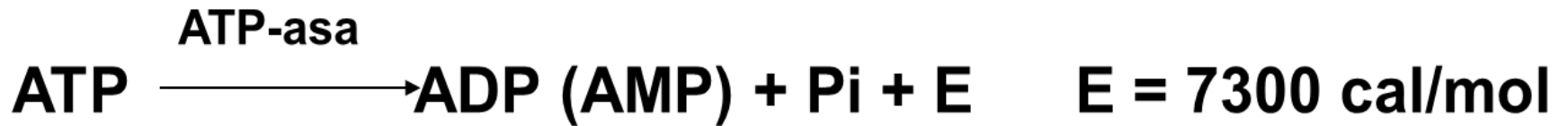
2 – Glucógeno – Ácido Láctico

1,3' – 1,6'

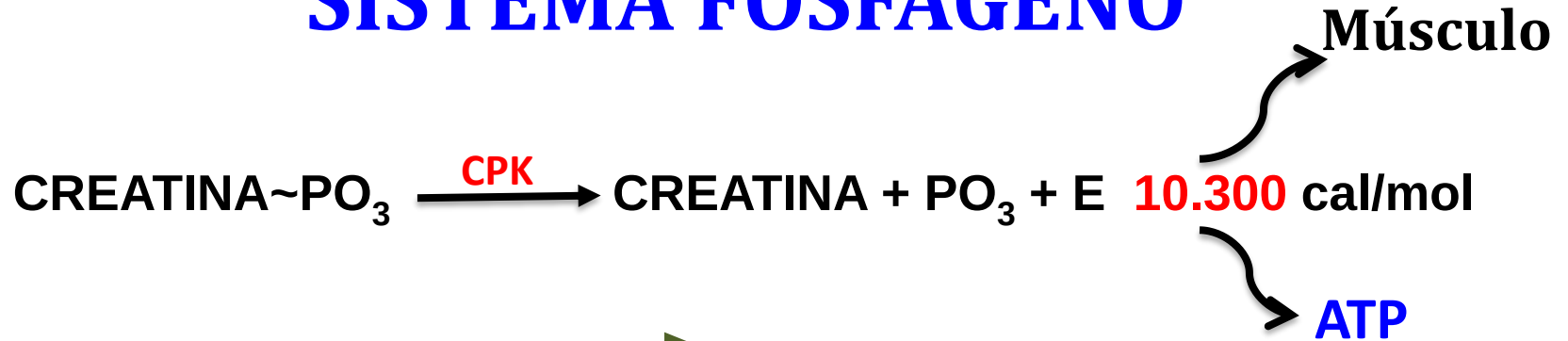
3 - Aeróbico

Ilimitado (nutrientes)

ADENOSINA ---PO₃~PO₃~PO₃



SISTEMA FOSFÁGENO



Usain Bolt: 9,58'' – 9,63''

Durante el ejercicio el **ATP** se mantiene casi **constante**

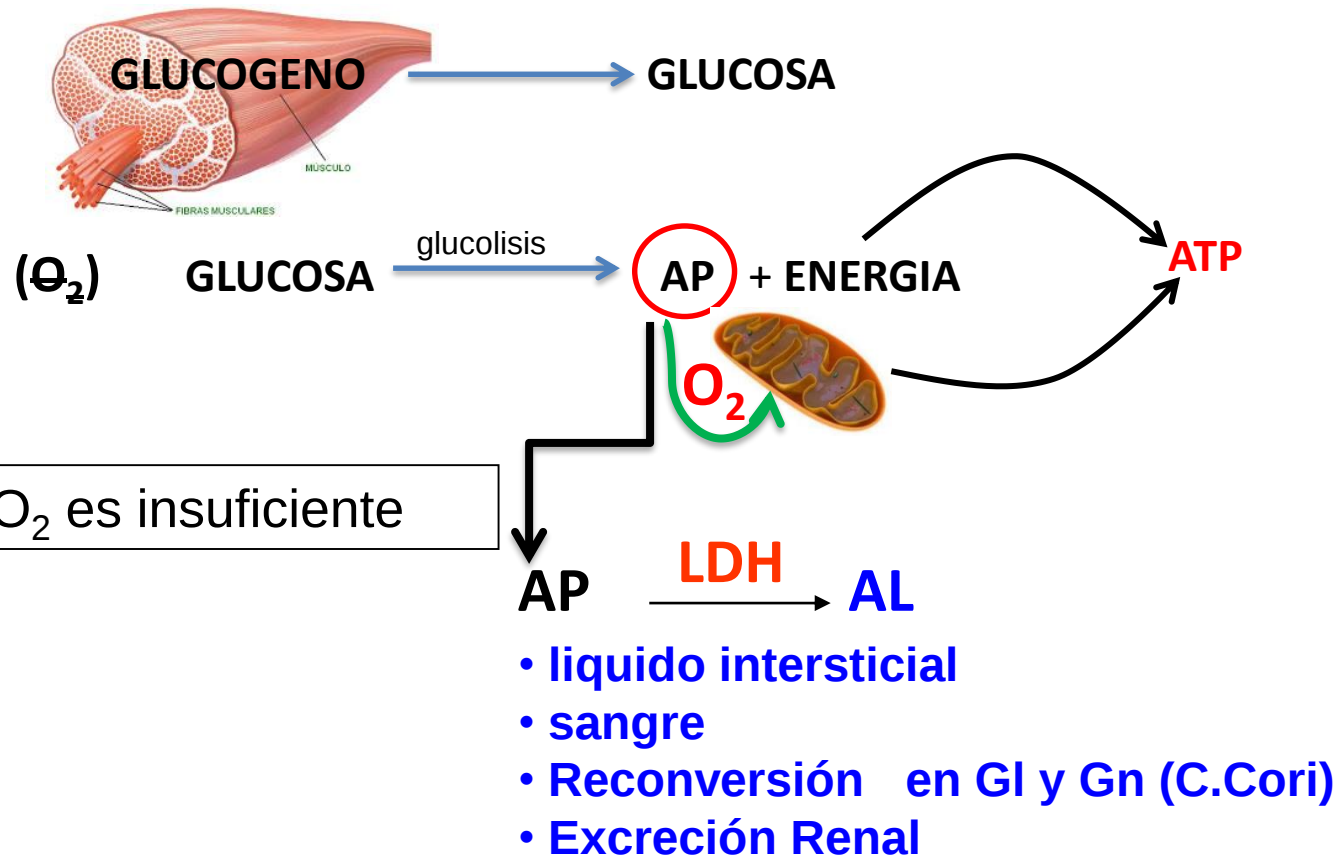
La **Fosfocraetina**: disminuye

Esfuerzos moderados
↓ aprox. un 50%

En esfuerzos intensos
↓ casi un 100%

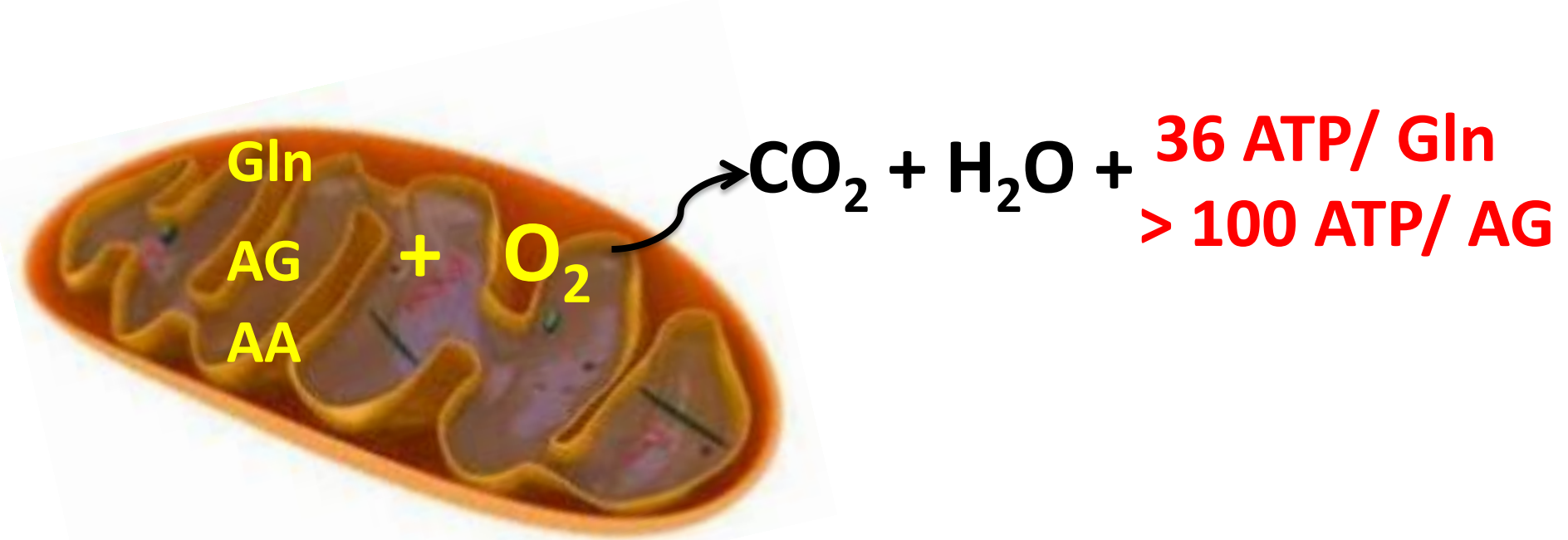
SISTEMA DEL GLUCÓGENO (Gg) Y ÁCIDO LÁCTICO (AL) ANAEROBICO

Gran parte del Ggn muscular se transforma en AL y, cuando esto ocurre, se forman cantidades considerables de ATP sin que haya consumo de oxígeno.



Rápido
Brinda energía para 1,3' – 1,6' de actividad muscular intensa
(carrera de 600-700 mts)

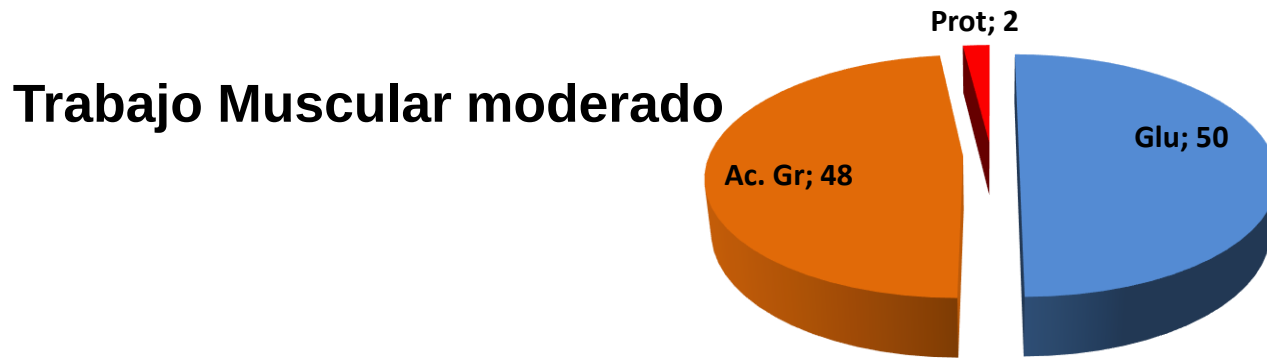
SISTEMA AEROBICO



Vía lenta, pero brinda energía duradera para ejercicios prolongados

NUTRIENTES QUE SE UTILIZAN DURANTE LA ACTIVIDAD MUSCULAR

ELEMENTO	REPOSO	EJERCICIO (min)			
		40	90	180	240
Ácidos Grasos Libres (%)	96	38	37	49	61
Glucosa (%)	4	27	41	36	30



Ejercicio prolongado: aumenta la utilización de grasas

Depósitos de Glucógeno se agotan en 90' de ejercicio.
La FATIGA coincide con la depleción de Gg
quedando aún disponibles gran cantidad de AGL.

Recuperación de los sistemas metabólicos del músculo después del ejercicio



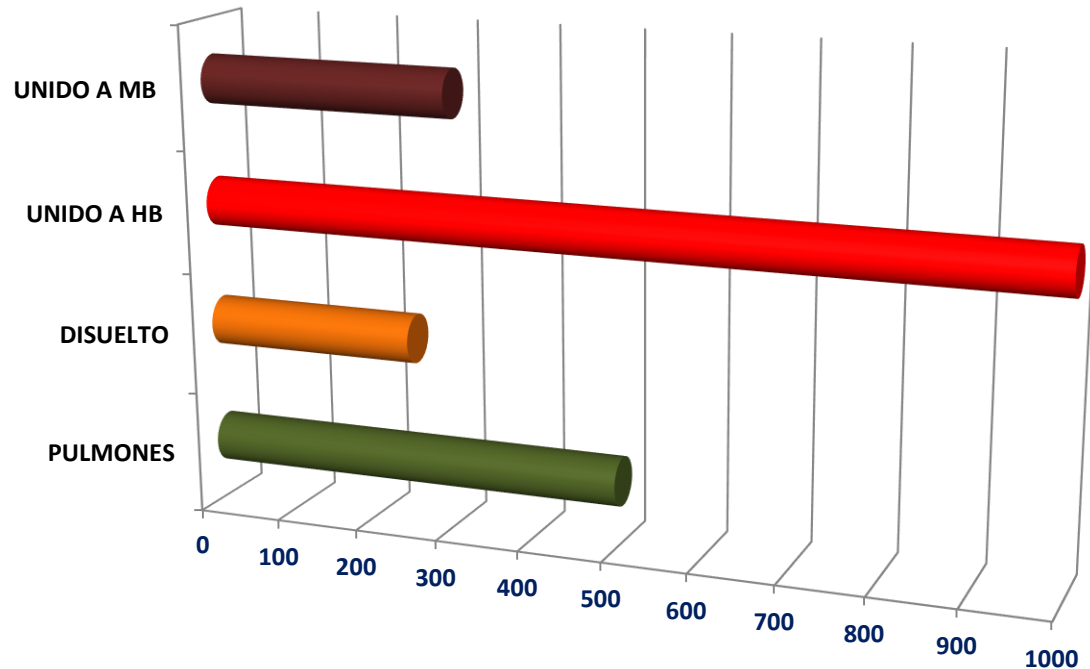
La reconstitución del sistema del Ácido Láctico (AL)

- Eliminar excesos de AL ya que provocan FATIGA extrema

Cuando se dispone de Energía suficiente del metabolismo oxidativo el AL se elimina:

1. pequeña porción del **AL** → **AP** que se metaboliza por la vía oxidativa en todos los tejidos del cuerpo
2. **AL** en hígado se reconvierte en **Glucosa**, que se utilizara para reponer Glucógeno.

Reserva de Oxigeno



0,5 l en los pulmones

0,25 l disuelto en líquidos corporales

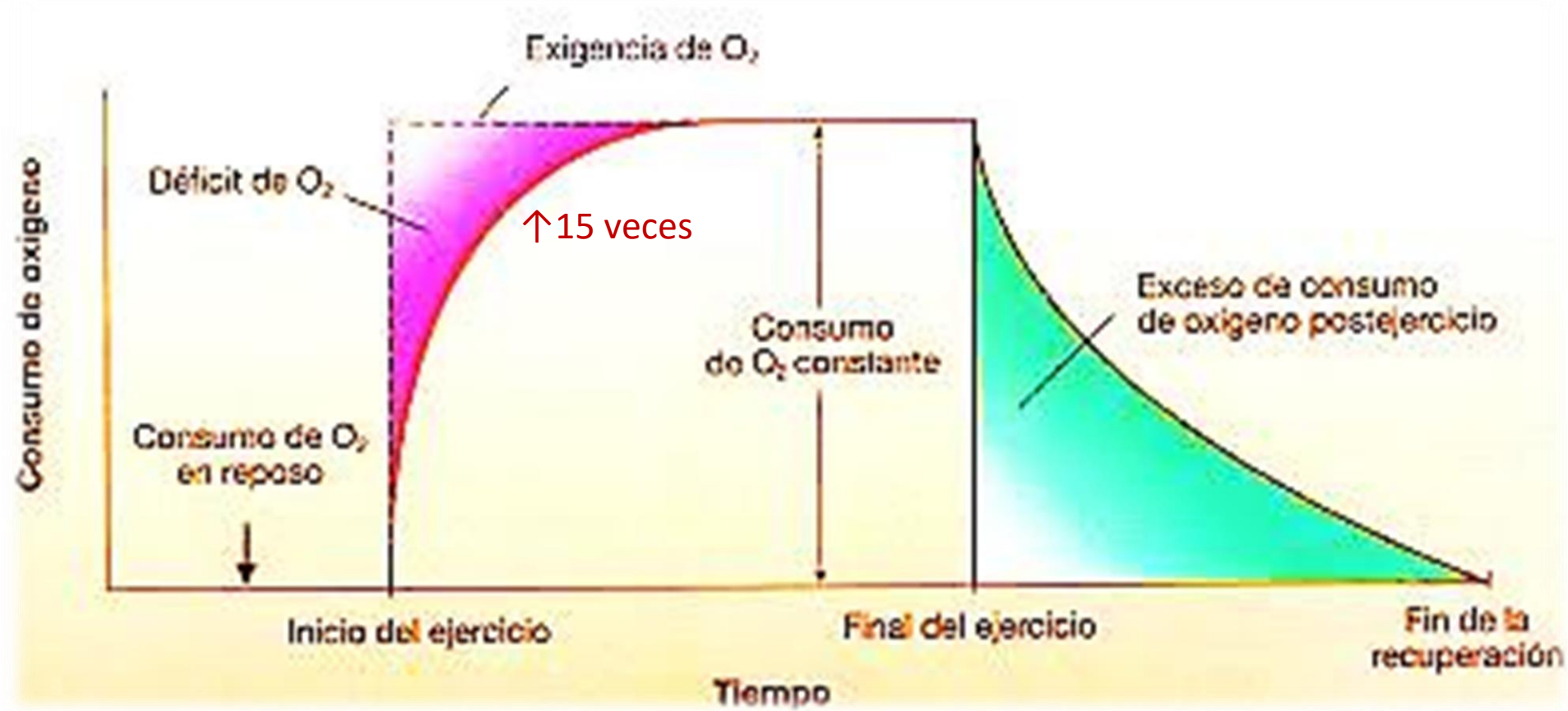
1,0 l unido a la Hemoglobina

0,3 l unido a la Mioglobina

RECUPERACIÓN DEL SISTEMA AERÓBICO DESPUÉS DEL EJERCICIO

Incluso durante las etapas iniciales del ejercicio intenso, se pierde una parte de la capacidad de generar energía aeróbica debido a:

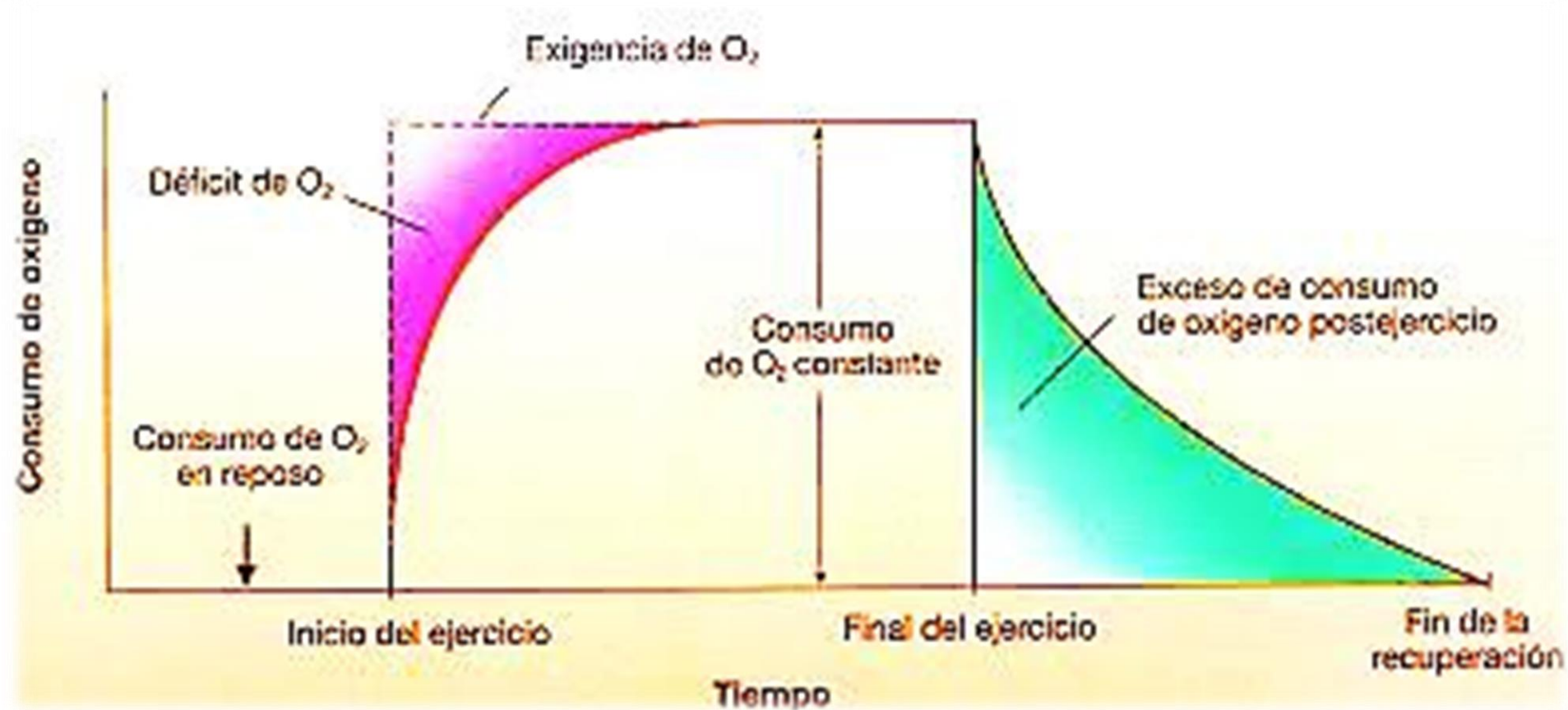
- **La deuda de Oxígeno**
- **La disminución de Gg muscular**

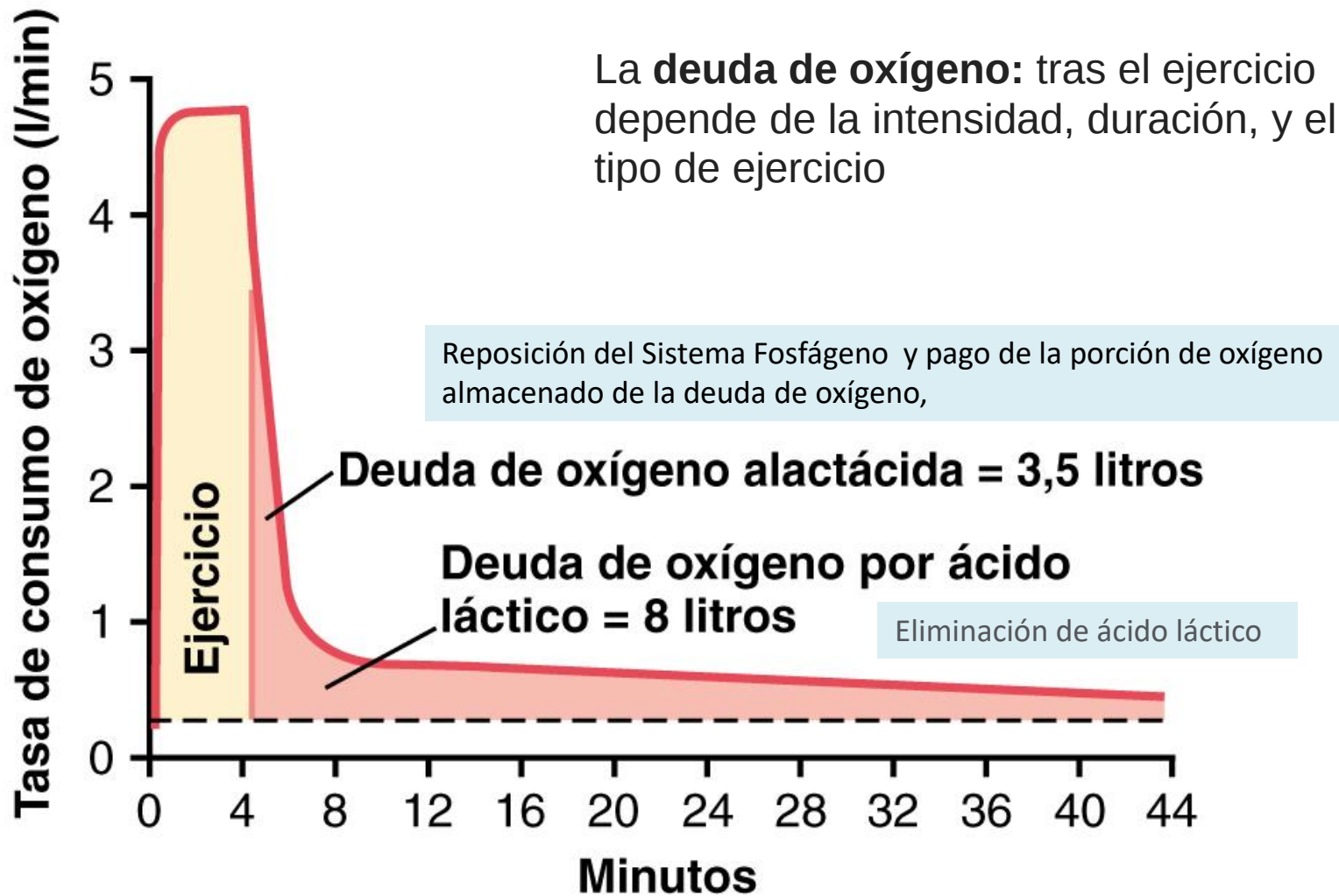


El **consumo de oxígeno** representa el volumen de **oxígeno** consumido en la unidad de tiempo (minuto)

En **reposo** el VO_2 (adulto) es de 3 a 3.5 ml/kg/min.

Realizando un **ejercicio intenso** y atleta sano el $\text{VO}_2 \approx 60$ a 70 ml/kg/min



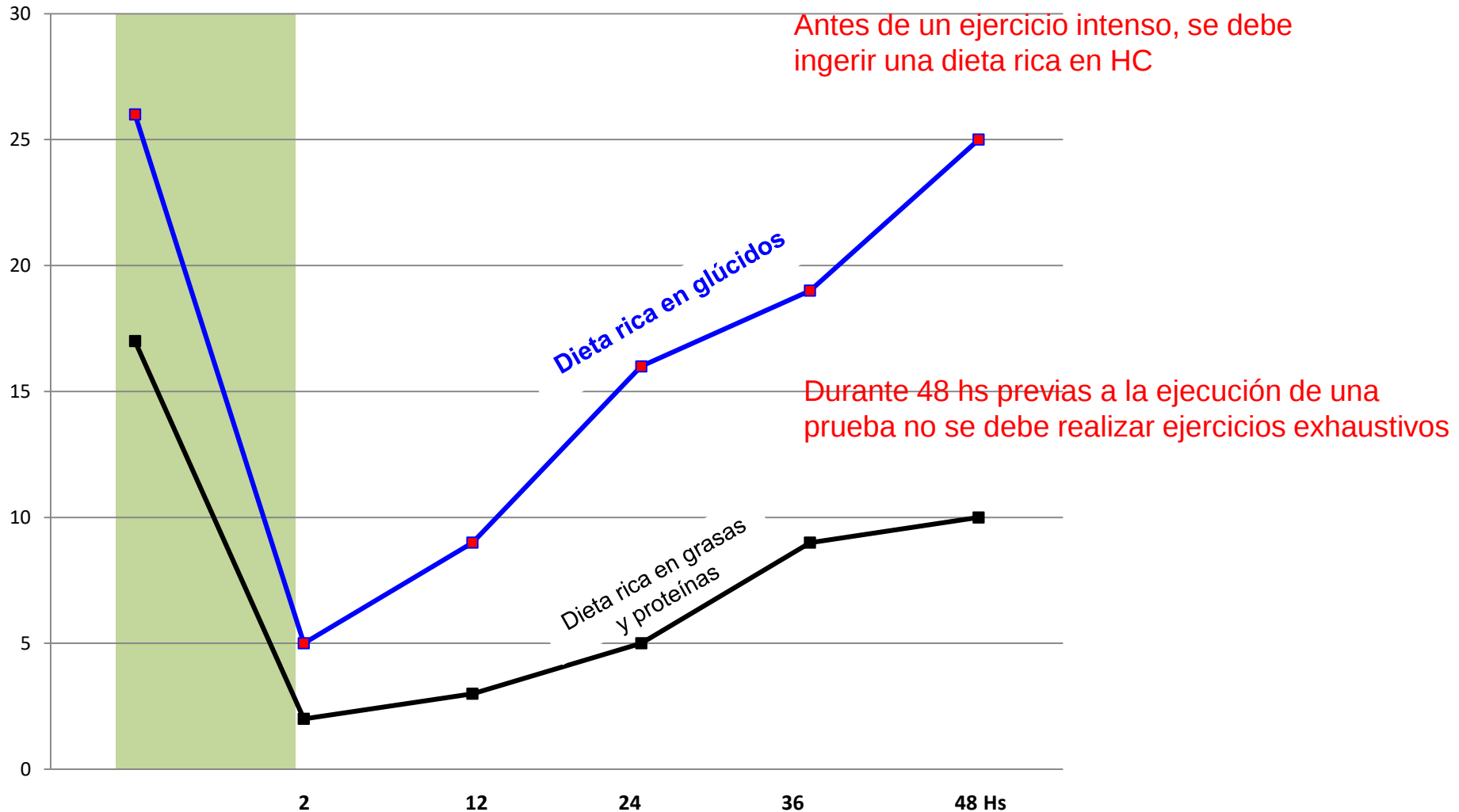


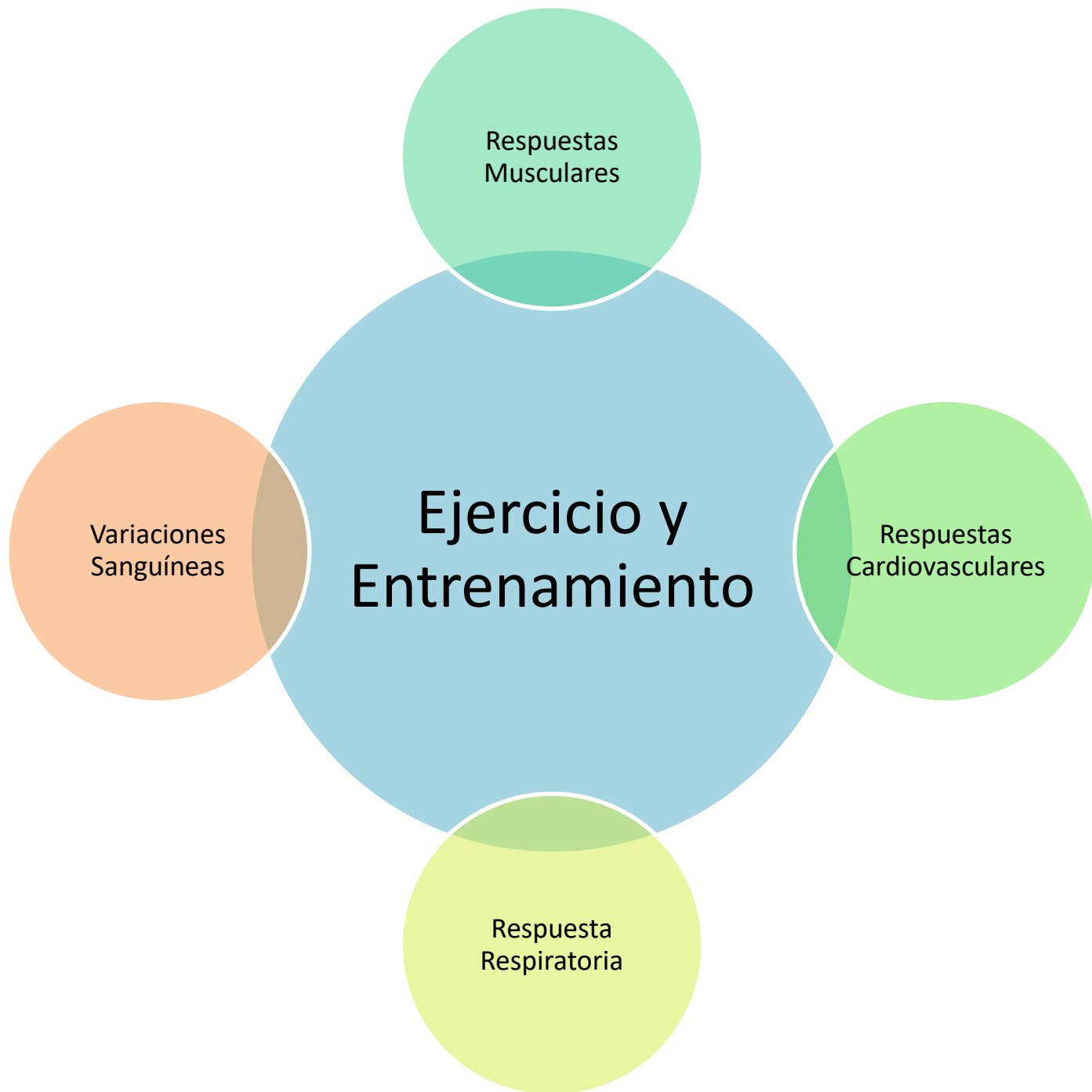
Velocidad de consumo de oxígeno por los pulmones durante un ejercicio máximo de 4 min de duración seguido de 40 min después de haber finalizado el ejercicio. Esta figura muestra el principio de la *deuda de oxígeno*.

RECUPERACIÓN DEL GLUCÓGENO MUSCULAR

- Requiere de varios días
- Influenciada por la dieta

Ggn (g/kg Músculo)





Tamaño Muscular: Herencia y Testosterona (♂ >> ♀)

Efecto del Entrenamiento: hipertrofia de un 30 a un 60% adicional

↑ del diámetro de las fibras musculares,
↑ el volumen de cada fibra.
Consecuencia del aumento del

- anabolismo proteico consecutivo al
- catabolismo provocado por el ejercicio.



✓ ↑ del nº de miofibrillas
✓ ↑ del nº y tamaño de las mitocondrias
✓ ↑ de los componentes del sistema metabólico:
fosfágeno 25-40%, Gg hasta 100% y TG 75-100%.

A causa de estos cambios, se incrementa la capacidad de los sistemas metabólicos aeróbico y anaeróbico, sobretudo la velocidad máxima de oxidación

✓ Temperatura

2

↑ por el incremento de las combustiones celulares

Beneficia al músculo pues:

↑ su eficacia: mayor liberación del O_2 de la hemoglobina y mioglobina.

↓ viscosidad de la sangre:

↓ Resistencia Periférica

↑ velocidad de difusión de los gases respiratorio y metabolitos tóxicos

✓ Estado Acido Base

3

↓ del pH: Por producción de ácidos
➤ fijos (AL) y
➤ volátiles (CO_2)

Ambos eventos producen desplazamiento hacia la derecha de la curva de disociación O_2 -Hb

✓ Gasto Cardíaco ó Volumen Minuto Cardíaco

$$GC = FC \times VS = 75 \text{ lat / min} \times 75 \text{ ml / lat} = 5000 \text{ ml/min}$$

Durante el ejercicio $\uparrow$ GC Se manifiesta en persona **entrenada**

Durante el reposo: $\uparrow$ POCO ($\downarrow$ FC)

Atleta entrenado: GC $\uparrow$ hasta un 40%

Hipertrofia aprox. 40%
 $\uparrow$ *Masa Cardiaca* aprox. 40%

R

RESPUESTAS CARDIOVASCULARES AL EJERCICIO

METABOLISMO CARDÍACO



- El metabolismo es inminentemente aeróbico (Ciclo de Krebs- Cadena respiratoria).
- Además de consumir AGL y Gl, durante el ejercicio se es capaz de metabolizar AL y AP siempre que se disponga de buena oxigenación.
- Durante el ejercicio el consumo de AL puede superar al de Gl, pero si el O₂ es insuficiente, el corazón pasa a trabajar bajo metabolismo anaerobio (ciclo de Emden-Meyerof) produciendo AL y contrayendo “deuda de O₂ “.

PESO DEL CORAZÓN



- ↑ del volumen de cada fibra (mayor grado de hipertrofia).
- Entrenamiento de resistencia: ↑ de la masa cardíaca y ↑ del volumen de las cavidades hasta un 40%, ↑ el tamaño y la capacidad de bombeo.
- Competencias breves: de arranque producen menor grado de hipertrofia.

GASTO CARDÍACO (GC) O VOLUMEN MINUTO CARDÍACO (VM)



$$GC = FC \times VS = 70 \text{ lat / min} \times 70 \text{ ml / lat} \approx 5000 \text{ ml / min}$$

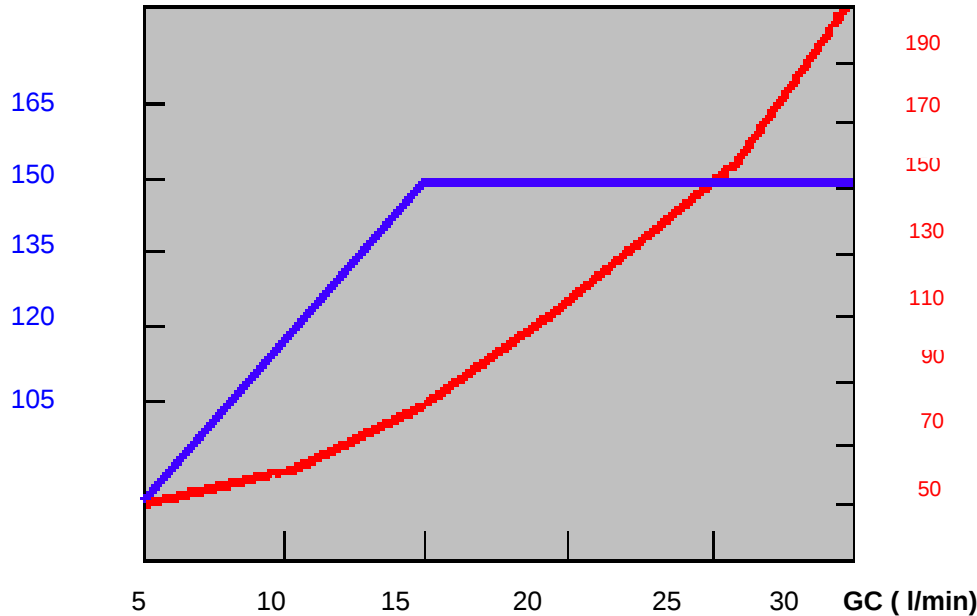
- **↑ GC.** Se manifiesta durante el ejercicio. En reposo el aumento apenas se hace notar debido a que la FC ha disminuido en el atleta entrenado.
- Los atletas, pueden alcanzar valores máximos de GC hasta un 40% mayor que lo que logra una persona no entrenada, esto se debe a:
 - que las cavidades cardíacas se agrandan aproximadamente un 40%
 - crecimiento de la masa cardíaca también en 40%
- *El aumento de la capacidad de bombeo y el agrandamiento del corazón ocurre durante entrenamiento para deportes de resistencia.*
- A pesar que el corazón del corredor de maratón es más grande que el de una persona que no realiza tal actividad, el GC en reposo es prácticamente el mismo por:
 - mantener gran VS
 - mantener baja FC

Volumen sistólico, Frecuencia Cardíaca y Gasto cardíaco a diferentes niveles de ejercicio



VS (ml/latido)

FC (latidos/min)



Durante ejercicio intenso

↑GC: se debe en mayor parte al incremento de la FC ya que el VS alcanza su máximo cuando el GC ha aumentado a la mitad de su valor máximo (30 litros/min).

El aumento del GC no puede explicarse únicamente por el aumento de la FC, sino también por el aumento del VS debido a un mayor vaciado del ventrículo, donde aumentó la Presión Sitólica (PS) y disminuyó la Presión Diastólica (PD).

		VS (ml)	FC (lat/min)	GC (l/min)
REPOSO	NO ENTRENADO	75	75	5.5
	ENTRENADO	105	50	5.7
EJERCICIO	NO ENTRENADO	110	195	23
	ENTRENADO	162	185	30



RETORNO VENOSO

El RV también aumenta, por que la volemia ha aumentado (movilización de sangre contenida en los depósitos como el Bazo, Hígado, Sistema venoso).

GASTO CARDÍACO (GC) Y CONSUMO DE OXÍGENO (VO₂)

Tanto el GC como la VO₂ aumentan lineal y paralelamente ya que el trabajo muscular exige una mayor captación de oxígeno.

		VO ₂ (l/min)	Veces de Aumento
REPOSO	NO ENTRENADO	0.25	
	ENTRENADO	0.30	
EJERCICIO	NO ENTRENADO	4.00	16
	ENTRENADO	5.10	20

FRECUENCIA CARDÍACA (FC)



- La FC aumenta durante el ejercicio en los sujetos entrenados, y es directamente proporcional a la intensidad del trabajo.
- La taquicardia se debe:
 - Disminución del tono vagal en la aurícula derecha ya que está dictada por el mayor reflejo de Bainbridge.
 - Disminución del tono vagal por factores psíquicos y mecanismos que aumentan la descarga de catecolaminas.
- La FC aumentará por acción del ejercicio, llegará a un máximo y se estabilizará en un valor que depende de:
 - La intensidad del trabajo
 - La edad del sujeto (↓ con la edad)
 - Grado de entrenamiento (en sujetos entrenados se eleva menos)
 - Factores climáticos
- En sujetos entrenados, la FC aumenta antes del ejercicio, por una respuesta neurohumoral anticipada. El entrenamiento provoca que en reposo disminuya la FC.
- Al terminar un ejercicio de 10 minutos de duración, la FC debería retornar a valores basales en unos 20 minutos. La recuperación a valores normales se realiza en 2 etapas:
 - » Una de descenso rápido
 - » Una de descenso lento

PRESION ARTERIAL (PA)



- Al iniciarse un ejercicio, la PS $\uparrow$ rapidamente, (200 mmHg), por $\uparrow$ GC
- Se estabiliza en una meseta (freno impuesto por quimio y preso Rc)
- Finalizado el ejercicio la PS disminuye rapidamente por disminuci3n del GC y se estabiliza antes que la FC.
- La presi3n diast3lica (PD) en cambio, se mantiene o disminuye levemente, volviendo a aumentar una vez terminado el ejercicio.
- Las experiencias en seres humanos indican que ambas presiones aumentan.

REPOSO	EJERCICIO MODERADO
PD: 80 mmHg	PD: 116 mmHg Δ : 36 mmHg
PS: 120 mmHg	PS: 206 mmHg Δ : 85 mmHg

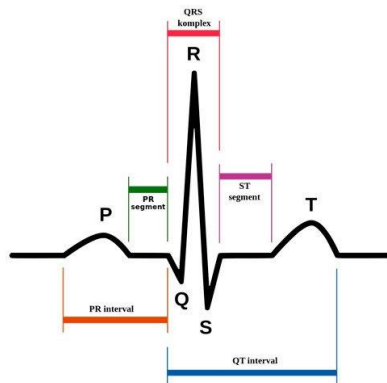
***El entrenamiento provoca que en reposo disminuyan:
FC y PA; menor descarga simpática, mayor
requerimiento de O₂ por parte del corazón y menor RP.***

RESISTENCIA PERIFÉRICA (RP)

- En el ejercicio disminuye (hipoxia muscular, que provoca la liberación de vasodilatadores: K, Histamina, H⁺), AL, CO₂. Residuos Krebs y Glucólisis.
- *Por lo tanto durante el entrenamiento: intenso **vasodilatación muscular**, pese a la estimulación simpática y a la Adr, y **vasoconstricción** en las víceras y músculos inactivos.*

FLUJO SANGUÍNEO MUSCULAR

- Importante aumento en los músculos en actividad, por la vasodilatación descripta; también causan vasodilatación el aumento de la PA y la acción de las fibras simpáticas colinérgicas .
- Al aumentar la PA se estiran las paredes de las arteriolas provocando una disminución de la RP.
- El aumento del flujo sanguíneo (Q) permitirá mayor aporte de O₂ y nutrientes.
- Algunos autores consideran que el flujo sanguíneo se mantiene constante en SNC y pulmones, disminuye en piel, riñones, aparato digestivo y músculo en



ELECTROCARDIOGRAMA

• la FC, hay **acortamiento** del segmentos QT.

RESPUESTAS RESPIRATORIAS AL EJERCICIO

FRECUENCIA RESPIRATORIA (FR)



La FR aumenta durante el ejercicio (Hiperpnea). Puede explicarse por
Los siguientes cambios humorales:

- Disminución de la pO_2
- Aumento de la pCO_2
- Aumento del AL
- Aumento de los H^+
- Aumento de Catecolaminas
- Estimulos nerviosos: propioceptores, hipertermia, aumento de la sensibilidad del centro respiratorio

CONSUMO DE O_2 (VO_2) Y VENTILCIÓN PULMONAR DURANTE EL EJERCICIO

(VO_2) para un adulto en reposo es: 250 ml/min

Individuo sin entrenamiento	VO_2 : 3600 ml/min
Individuo entrenado	VO_2 : 4000 ml/min
Corredor de maratón	VO_2 : 5100 ml/min



GASES EN SANGRE DURANTE EL EJERCICIO

EJERCICIO MODERADO poco cambio en pO_2 , pCO_2 , pH.

EJERCICIOS INTENSOS pO_2 , pCO_2 ↓ leve disminución, mientras que el pH ↑ por acumulación de lactato.

EN SANGRE VENOSA: la pO_2 está disminuída (de 40 a 25 mmHg) y la pCO_2 tiende a aumentar.



ESTADO ÁCIDO BASE Y RESPIRACIÓN

- En ejercicios muy intensos y de corta duración:
 - ↑ FR, VCV y Vm. Esto puede provocar una **ALCALOSIS RESPIRATORIA** en la fase inicial.
- Hacia el final del ejercicio:
 - ↑Al y H⁺ y ↓el HCO₃⁻ instalándose entonces una **ACIDOSIS METABÓLICA**.
- La ↓ pH estimula al centro respiratorio
- Acelerando la eliminación de CO₂.
-

DISOCIACIÓN OXÍGENO HEMOGLOBINA



- la curva de disociación se desvía hacia la derecha debido a que se producen ciertos cambios durante el ejercicio:

↓pH

↑pCO₂

↑2,3 DPG

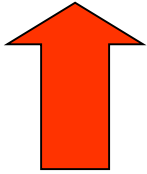
↑Temperatura

induciendo al Efecto Bohr, que provocará mayor cesión de O₂ a los músculos.

Cuando la sangre alcanza el tejido, donde la concentración de H⁺ es más alta (Al, CO₂ , producto del metabolismo), la afinidad del O₂ por la Hb disminuye permitiendo entonces una mayor descarga de O₂.

Si hay una disminución de la pO₂ tisular (como ocurre en el ejercicio) puede cederse hasta el 75% del O₂ de la Hb.

ERITROGRAMA



» **Hto**

» **Hb**

» **GR** por contracción esplénica y pérdida de agua (3-6% del peso corporal total)

- Estos aumentos son proporcionales a la intensidad y duración del ejercicio y aumento de la capacidad de la sangre para transportar O₂.
- Hay mayor saturación de la Hb, mayor transporte de O₂ en plasma.

LEUCOGRAMA

Aumenta el número de glóbulos blancos sobre todo los granulocitos neutrófilos.

El aumento de neutrófilos durante el ejercicio se hace a expensas del Fondo Común Marginal.

COAGULACIÓN

- El ejercicio desequilibra la relación Coagulación/Fibrinólisis, ya que aumentan los activadores del plasminógeno (Profibrinolisininas) aumentando así la actividad lítica sobre FNG y FB.

ELECTROLITOS

Posterior a una carrera



•NA
•K
•Cl

sin relación con el grado de entrenamiento

Fisiológicamente esto es irrelevante en deportistas bien entrenados, *aumento de la secreción de Ald, cuya liberación será proporcional a la pérdida de Na, manteniendo el equilibrio.*

ACIDO LACTICO – GLUCEMIA – LÍPIDOS

ACIDO LÁCTICO: AUMENTA

Más en los subentrenados que en entrenados.

Su aumento provoca AUMENTO de H^+ originando ACIDEMIA – Hiperventilación, la que genera mayor ingreso de O_2 para el metabolismo oxidativo.

GLUCEMIA

Su nivel dependerá de la intensidad y duración del ejercicio:

- **Moderado:** *se modifica poco (gluconeogénesis hepática glucólisis muscular)*
- **Intenso y Breve:** *hay hiperglucemia de 10-60% glucogenólisis muy activa por Adr y descarga simpática.*
- **Intenso y prolongado:** *hay hipoglucemia (agotamiento de reservas de GN hepático).*

LIPIDOS

En reposo, el músculo consume casi exclusivamente lípidos.

Los AGL son importante fuente de energía durante el ejercicio, provienen de los TRI depositados en otros lugares del organismo. Por lo tanto, DURANTE EL EJERCICIO AUMENTAN LOS AGL PLASMÁTICOS

ENZIMAS

- El **aumento de CPK** indica que hubo exceso de trabajo en corto tiempo.
 - corta vida media (proceso reciente y activo)
 - Si persiste elevada más de 24 horas estará indicando que el proceso de micronecrosis es progresivo y que continúa.
- La **GOT aumenta** al iniciarse el entrenamiento intensivo pero disminuye a medida de que el individuo se pone a punto.
- La **LDH aumenta** después del ejercicio (isoenzima muscular LDH5).
La isoenzima LDH1 (cardíaca) está inhibida por el exceso de piruvato siendo éste un ejemplo de adaptación al metabolismo aerobio, esencial para el miocardio.

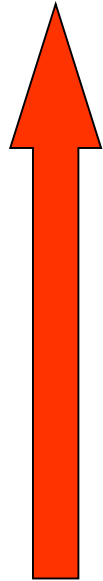
UREA – NITROGENO NO PROTEICO –

Durante el ejercicio AUMENTA LA UREA por que ha disminuido la IFG, y en consecuencia disminuye la DIURESIS y el clearance de este metabolito.

El ejercicio intenso (agotador) puede provocar un AUMENTO hasta un 60% de la UREA – CREATININA – NH₃ – Ac. Úrico – en plasma debido al intenso catabolismo proteico.

HORMONAS

Con el ejercicio



- » **Adr**
- » **Nadr**
- » **Cortisol**
- » **ADH**
- » **GKN**
- » **SOMATOTROFINA** (aum. La glucogenólisis – gluconeogénesis)
- » **EPO**: La hipoxia del ejercicio condiciona el aumento de su secreción. En 2 semanas puede triplicar el peso de la MO en GR.



INS

Al cesar el ejercicio la INS aumenta pero el GKN permanece elevado durante un tiempo mas largo.







