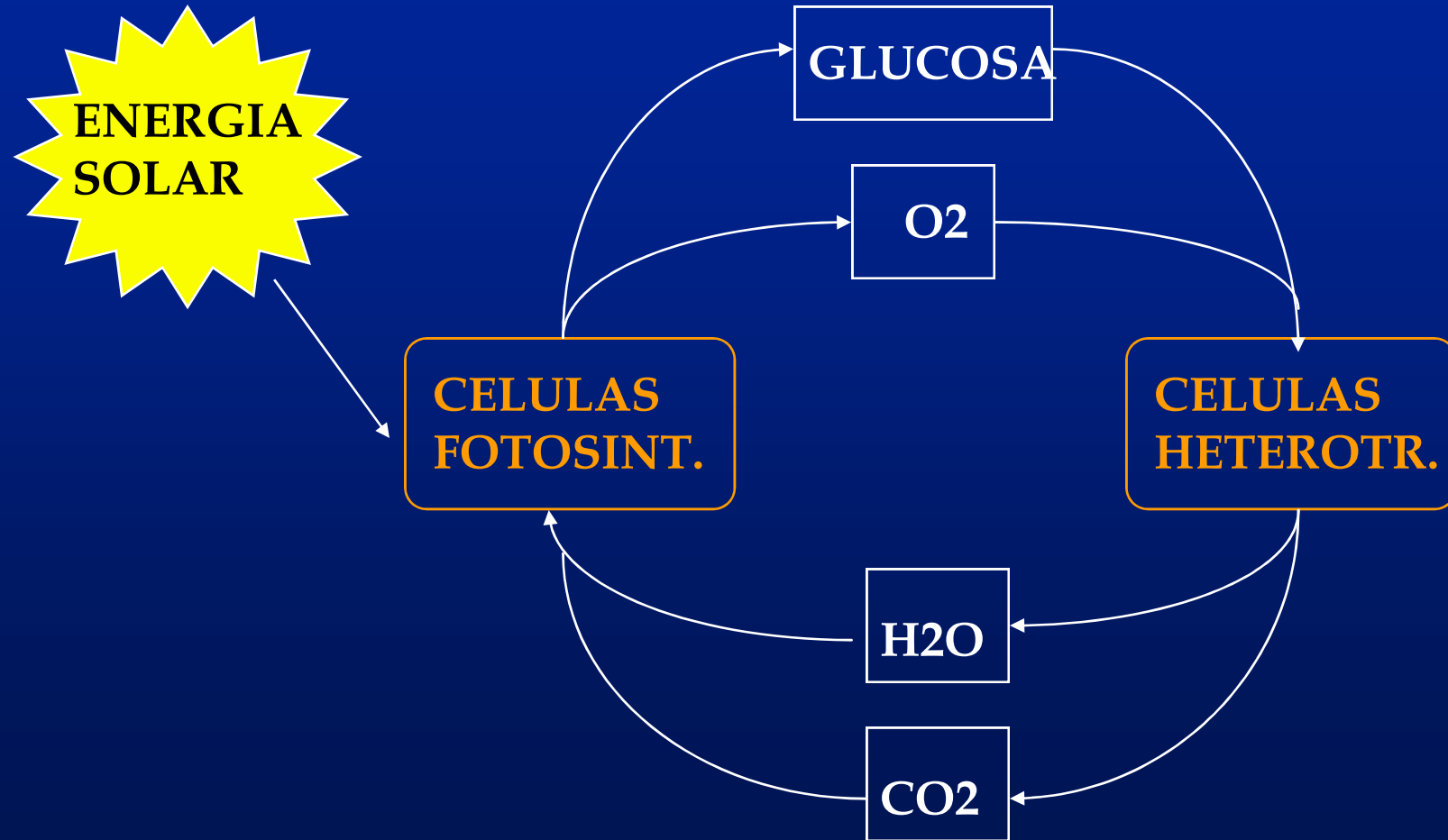




*METABOLISMO Y
BIOENERGETICA DE LA
ACTIVIDAD FISICA*

Dr. Carlos Benítez Franco

Ciclo del Carbono y el Oxígeno en la biosfera





METABOLISMO

REACCIONES:

- CATABOLICAS
- ANABOLICAS
- ANFIBOLICAS
- EXERGONICAS
- ENDERGONICAS
- EXOTERMICAS
- ENDOTERMICAS

BIOENERGETICA

SISTEMAS:

- AN. ALACT. O FOSFAGENO
- AN. LACT. O GLUCOLITICO
- AEROBICO U OXIDATIVO

LEYES DE LA TERMODINAMICA

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS SISTEMAS BIOENERGÉTICOS

SIST-CARÁCT	FUENTES	DEM. EN INT	INT.MAXIMA	INT.IMPORT
FOSFÁGENO	ATP-CP INTRACEL.	NULA	2 a 5"	0 a 15 "
GLUCOLÍTICO	GLUCOSA GLUCOGEN	10 "	30 a 40 "	30 " a 2 ´
OXIDATIVO	GLUC.-LÍP. PROTEINAS	1-3 ´	2 A 5´	2-3 ´ h/ Hs.

SIST-CARÁCT	RECUPER.	FACT.LIMIT.	POT.MAX.	CAPACIDAD	EJEMPLOS
FOSFÁGENO	50%: 45 " 100%: 1-3´	AGOTAM. CP	90 Kcal/´	h/ 30 "	Remat.-Saq. Part.-Saltos
GLUCOLÍTICO	E: 60-90 ´ NE: 120-180´	ACIDOSIS METABÓL.	30 Kcal/´	h/ 3-4 ´	400m Atlet. 100m Natac.
OXIDATIVO	PERMAN.	NUTRIENT LIM.VO2 Mx	10 Kcal/´	Hs.- Dias	10 Km Marat Triathon

ENZIMAS

HOLOENZIMA

APOENZIMA

COFACTOR
ENZIMATICO



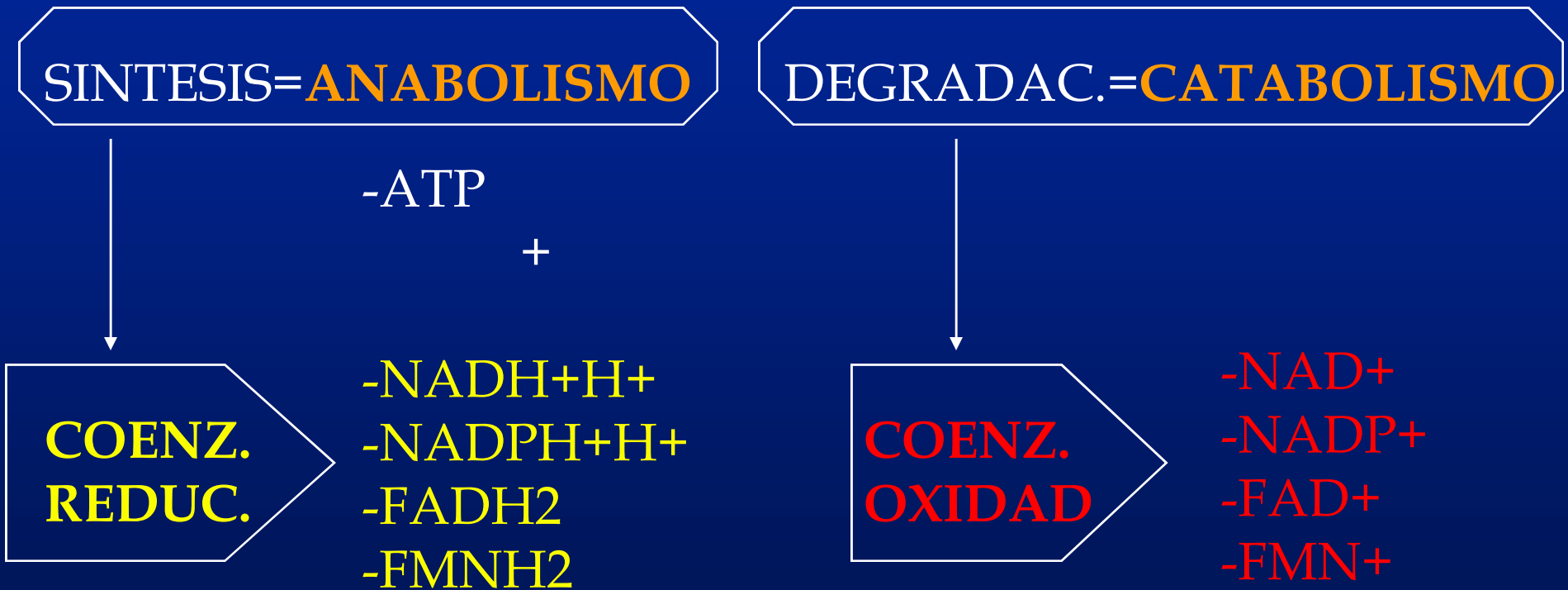
-IONES: Mg^{++} Mn^{++} Cu^{++}
 Zn^{++} Na^{+} K^{+}

-COENZIMAS: FAD-FMN (B2)
NAD-NADP (PP)
CoA (Ac.Pantot.)

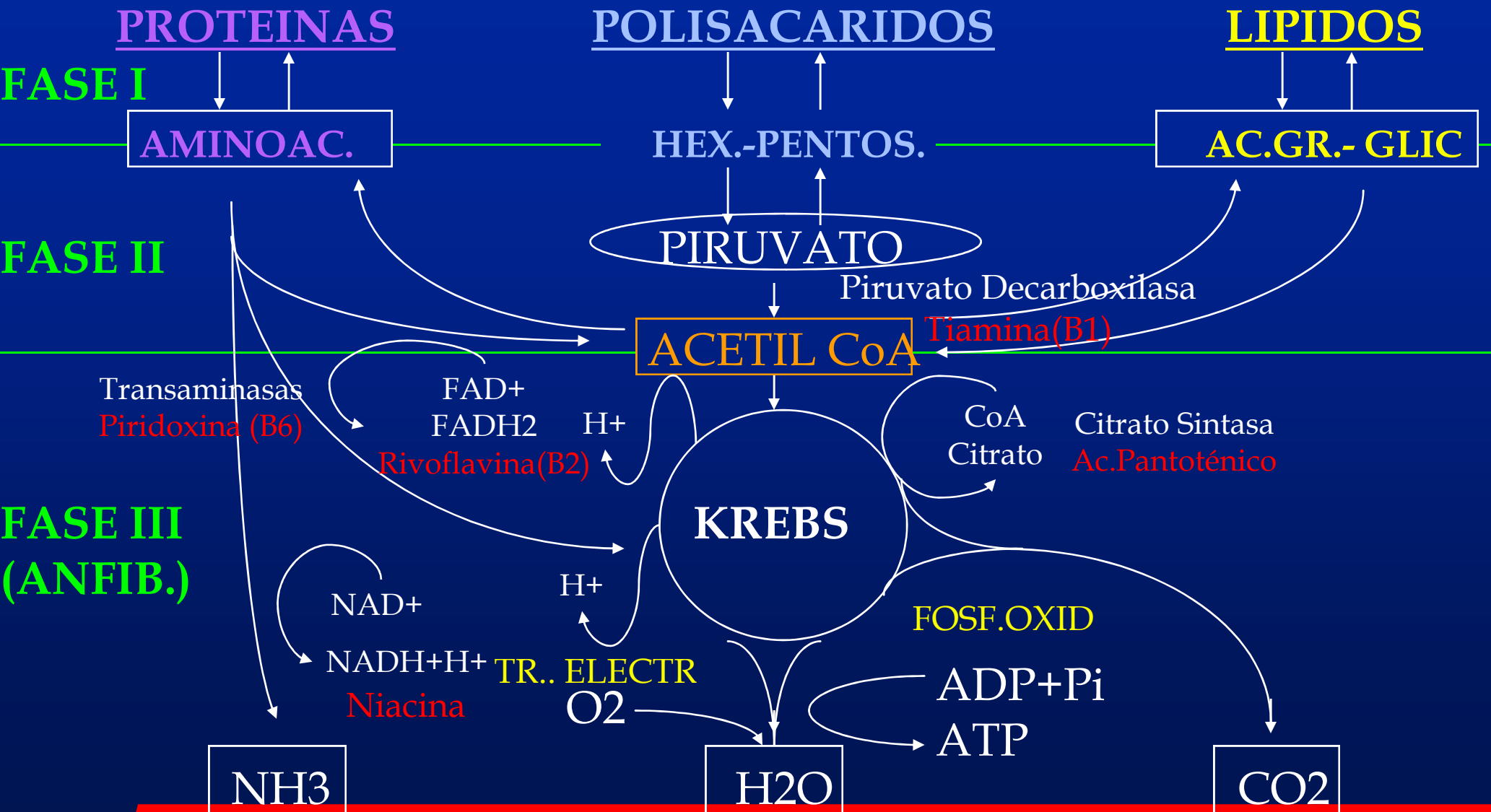
-GRUPOS PROST: HEM (Catal)

PROCESOS REDOX

METABOLISMO INTERMEDIO



FASES DEL METABOLISMO



COMB.

O₂

CICLO DEL ATP - ADP

CO₂

H₂O

CATABOLISMO

ADP

ATP

TRABAJO MECANICO

TRABAJO DE TRANSP.

TRABAJO DE BIOSINT.

P_i

P_i

P_i



METABOLISMO DE LOS FOSFAGENOS

ATP

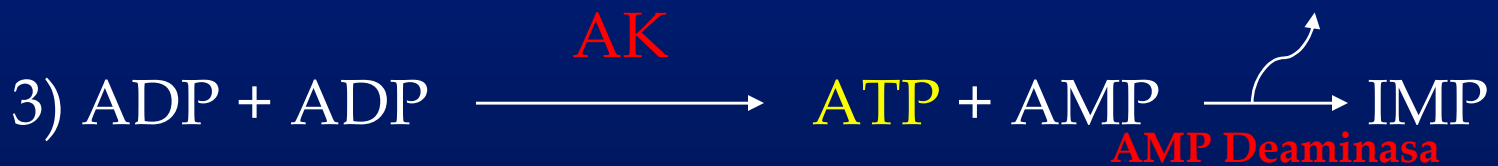
6 μ moles/g
músculo

CP

20 μ moles/g
músculo

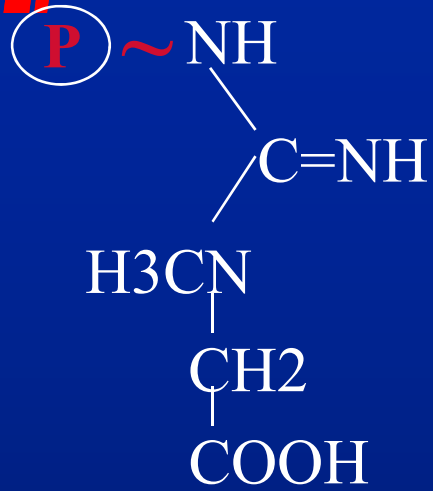


ADP Y AMP

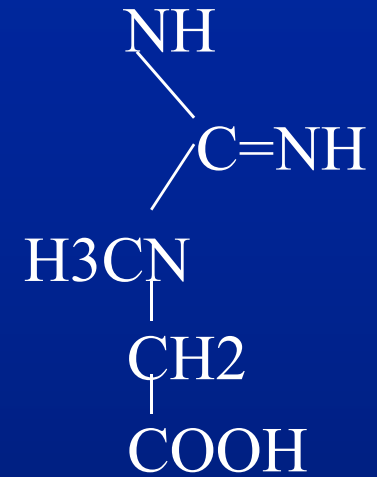
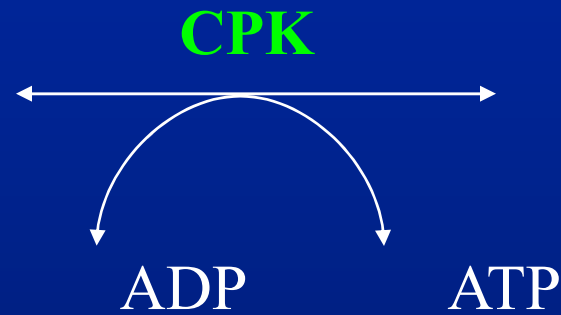


$\xrightarrow{+}$
ADP Y AMP y Ph bajo

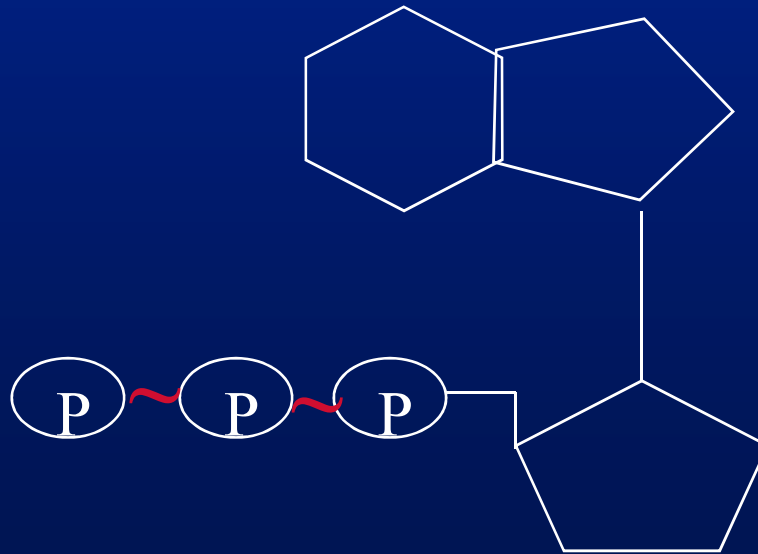
TRANSFERENCIA DE FOSFATO



FOSFOCREATINA

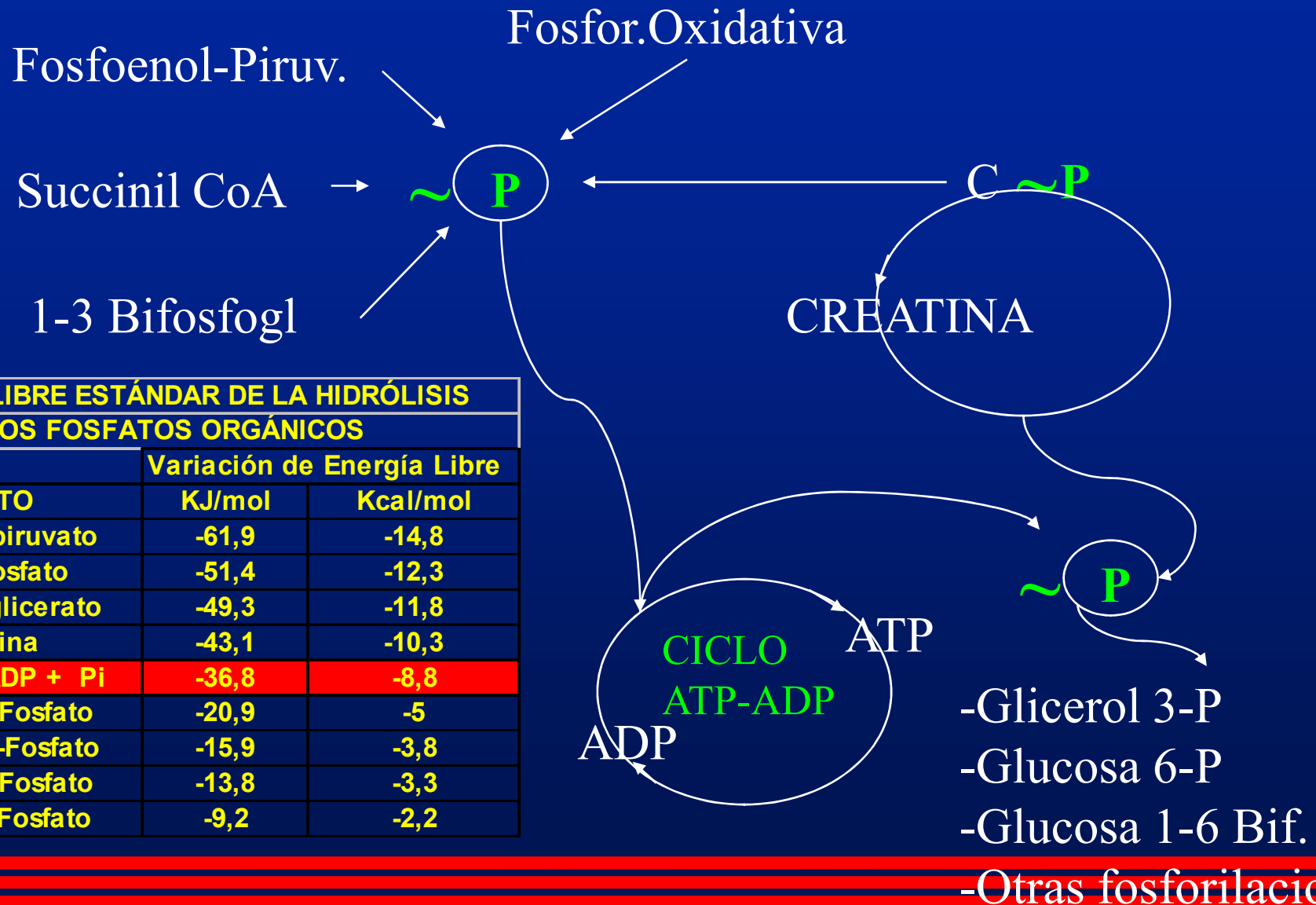


CREATINA



ADENOSINTRIFOSFATO (ATP)

TRANSFERENCIA DE P ALTA ENERGÍA

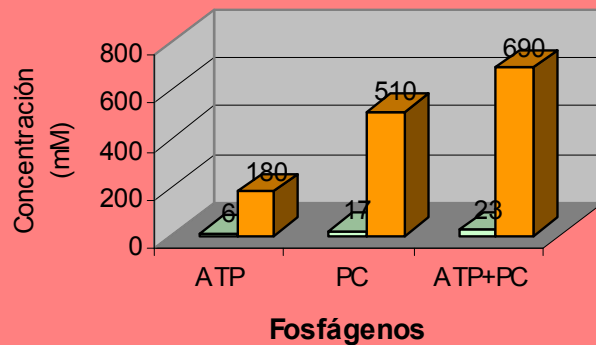


ENERGÍA LIBRE ESTÁNDAR DE LA HIDRÓLISIS DE ALGUNOS FOSFATOS ORGÁNICOS		
COMPUESTO	Variación de Energía Libre	
	KJ/mol	Kcal/mol
Fosfoenolpiruvato	-61,9	-14,8
Carbamilfosfato	-51,4	-12,3
1,3 bifosfiglicerato	-49,3	-11,8
Fosfocreatina	-43,1	-10,3
ATP → ADP + Pi	-36,8	-8,8
Glucosa 1-Fosfato	-20,9	-5
Fructosa 6-Fosfato	-15,9	-3,8
Glucosa 6-Fosfato	-13,8	-3,3
Glicerol 3-Fosfato	-9,2	-2,2

ENERGÍA DEL SISTEMA FOSFÁGENO EN EL ORGANISMO

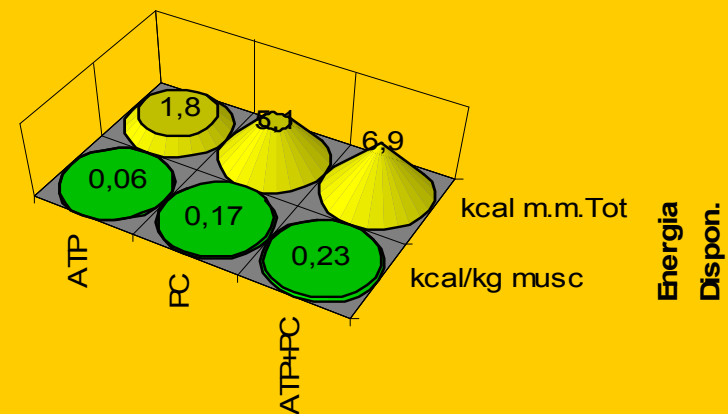
			TOTAL FOSF
Conc Musc	ATP	PC	ATP+PC
mM/kg musc	6	17	23
mM m.m.total	180	510	690
Energ.Dispon	ATP	PC	ATP+PC
kcal/kg musc	0,06	0,17	0,23
kcal m.m.Tot	1,8	5,1	6,9

Concentración de Fosfágenos



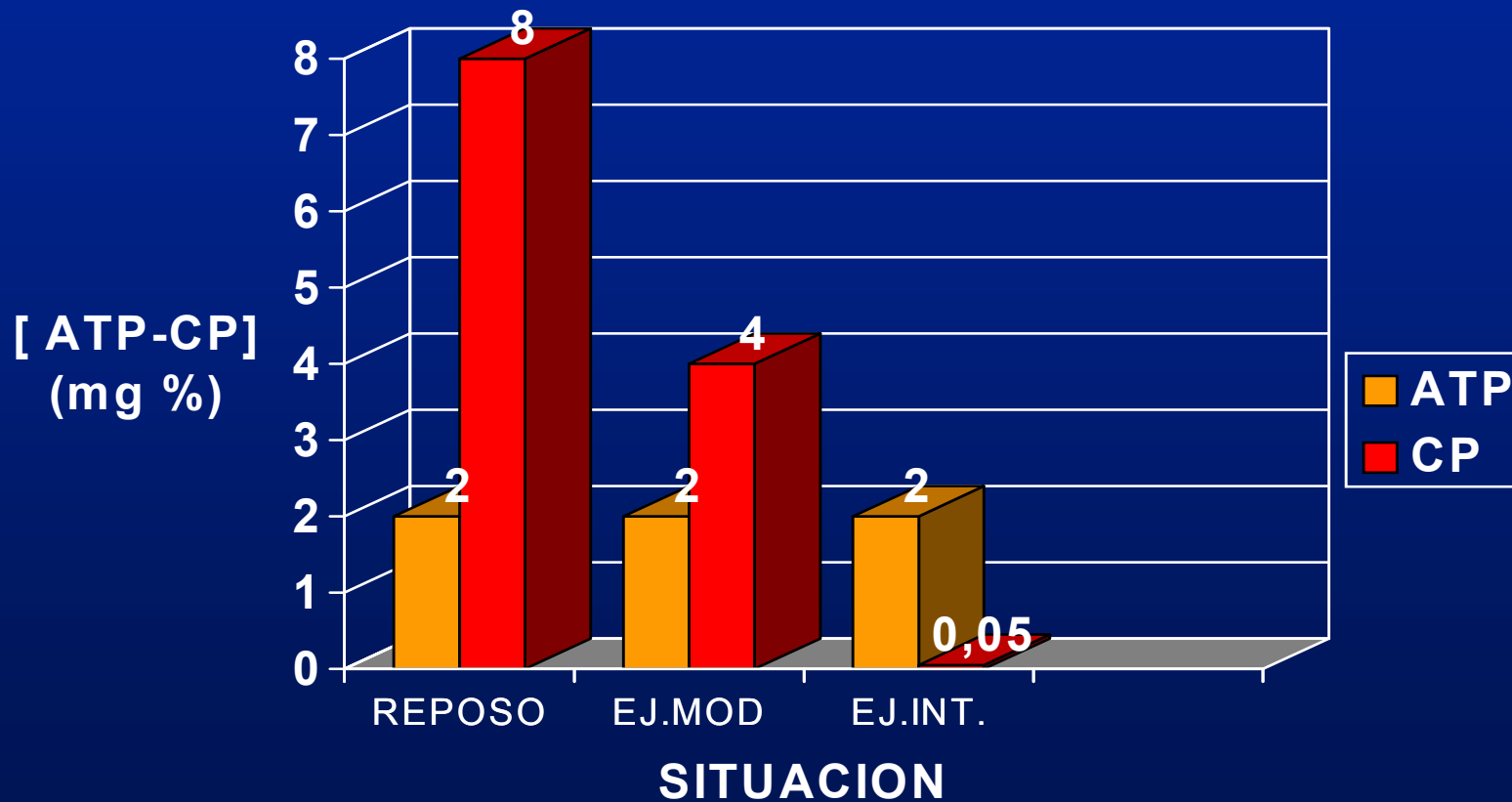
□ mM/kg musc ■ mM m.m.total

Energía de los fosfágenos



CONTENIDO DE ATP Y CP EN EL CUADRICEPS HUMANO

mg por 100 g de músculo (peso seco)



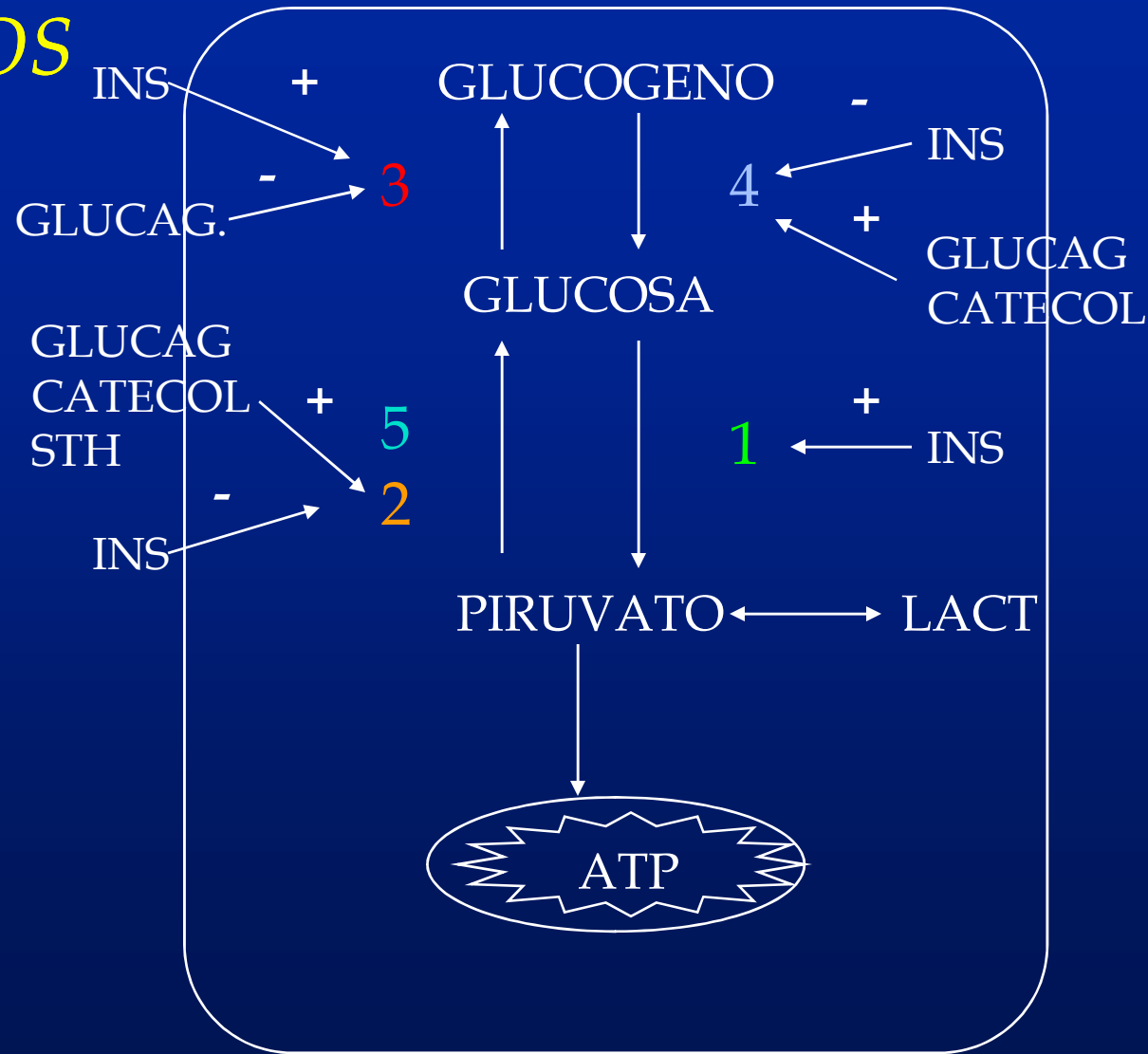
ADAPTACIONES AL ENTRENAMIENTO DEL SISTEMA FOSFÁGENO

- INCREMENTO DE LA CONCENTRACION MUSCULAR DE ATP-CP
- AUMENTO DE LAS ENZIMAS CPK Y MK
- INCREMENTO DE LA FUERZA MUSCULAR
- MEJORAMIENTO DE LA HABILIDAD Y COORDINACIÓN (> GASTO ENERGÉTICO)

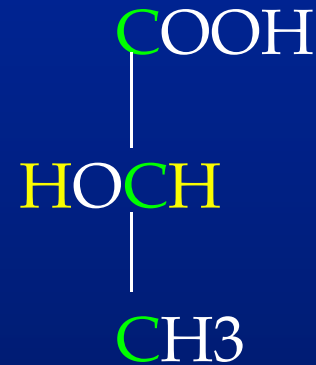
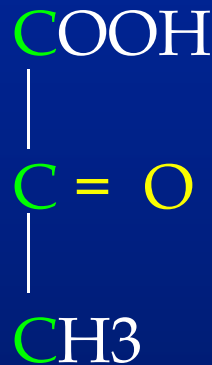
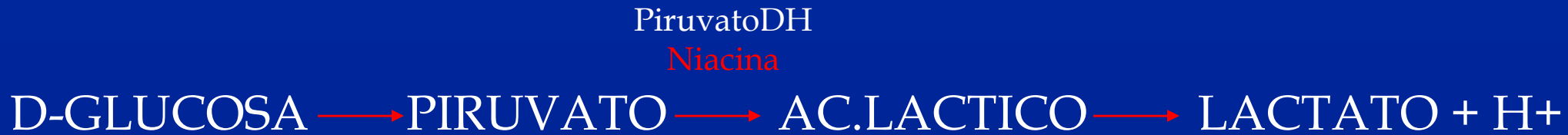
METABOLISMO DE LOS CARBOHIDRATOS

- 1) GLUCOLISIS
- 2) GLUCONEOGENESIS
- 3) GLUCOGENOGENESIS
- 4) GLUCOGENOLISIS
- 5) GLUCOGENESIS

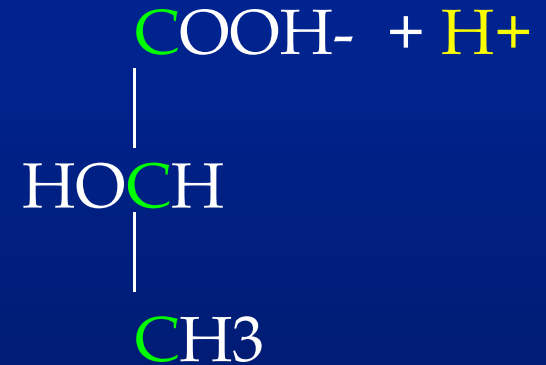
HEPATOCITO



GLUCOLISIS



L- Isomero
fisiológico



pK = 3,9
disociado a pH = 7

Control de la Glucólisis

INSULINA

+

A) ENZIMAS LIMITANTES

B) DISPONIBILIDAD DEL SUSTRATO

[GLUCOSA] p: 5 mM

MUSC.

HEP. Y MUSC.

-EXOKINASA -GLUCOKINASA

KM: 100 μ M

KM: 10 mM

ADP - Pi - AMP

-PFK

CITR. - ATP - AGCL

-PIRUVATOKINASA

INSULINA

+

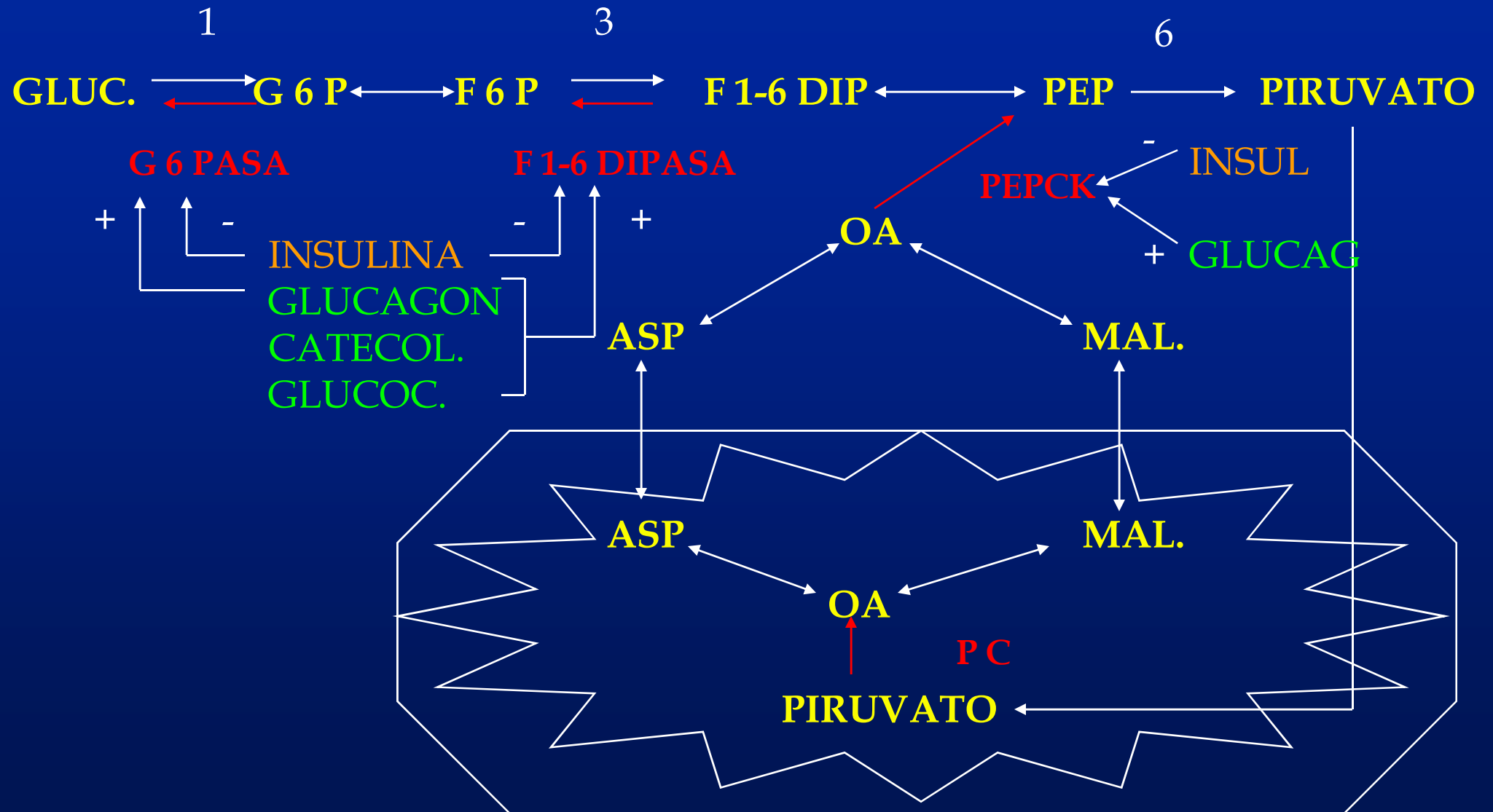
-PIRUV.DH
AEROBICA

-LDH (> actividad)
ANAEROBICA

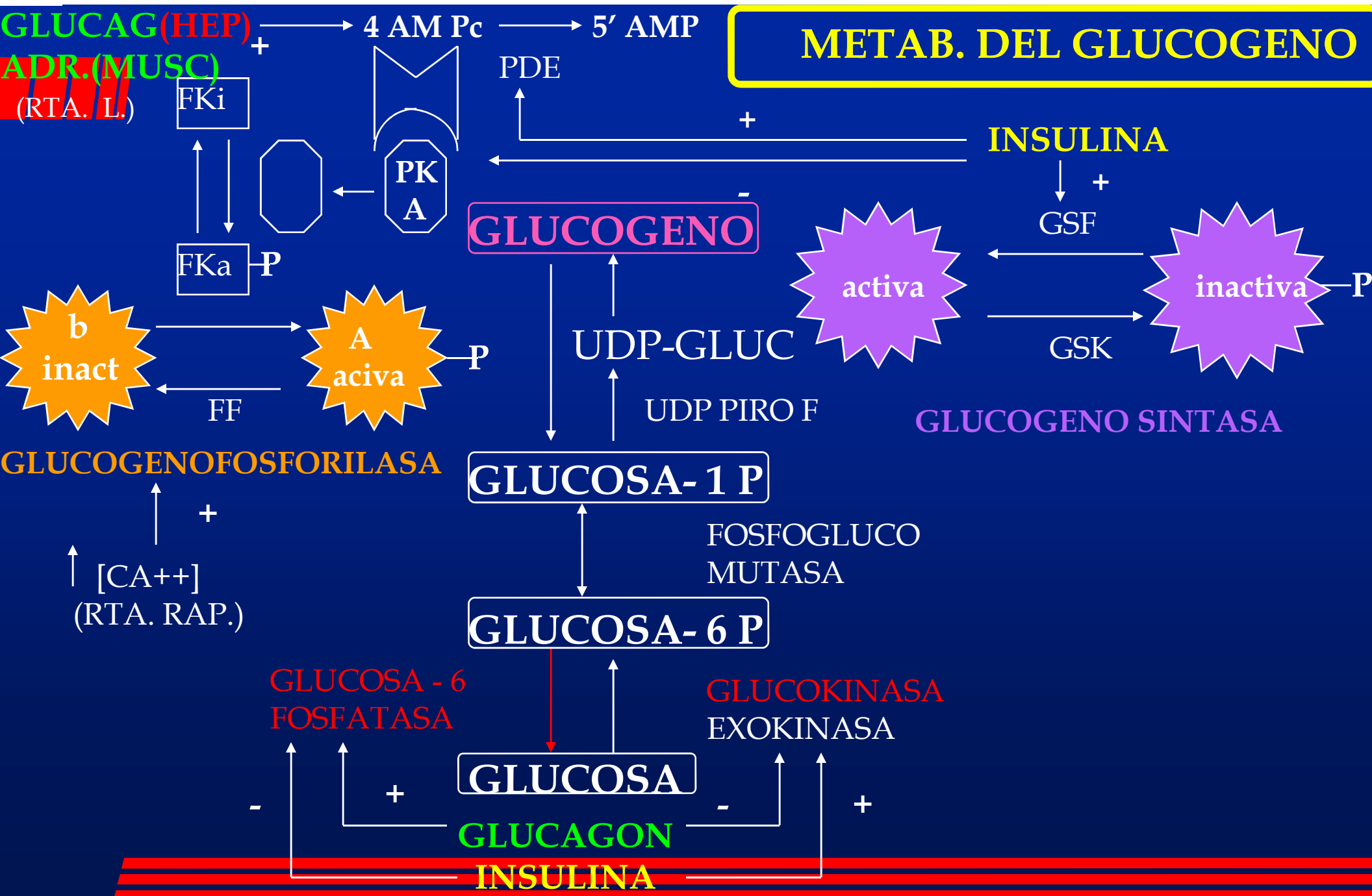
FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA VELOCIDAD DE CAPTACION DE GLUCOSA

- 1) **AUTORREGULACION DE GLUCOSA PLASMATICA:** $> 0 < 150 \text{ mg } \%$
- 2) **$> [\text{AGL}]$: AYUNO :** $< \text{VELOC. CAPT MUSC. CARDIACO Y ESQUEL.}$
(EF. RANDLE) PARA EVITAR DEFICIT CEREBRAL
- 3) **TRAB. MUSCULAR:** $> \text{VELOC. DE CAPT. MUSC. CARDIACO Y ESQUEL.}$
(NO DEPENDIENTE DE INSULINA)
- 4) **EF. HORMONALES:**
 - **INSULINA:** $> \text{VEL. CAPT. MUSC. Y ADIP. (DIRECTAM) Y HEPAT. (IND.)}$
 - **GLUCOCORT.:** $< \text{CAPT. EN TEJ. PERIF.}$
EF. PERMIS. SOBRE LIB. AGL (EF. RANDLE)
+ GLUCONEOG. (EF. PPAL.)
 - **CATECOL.:** $< \text{CAPT. GLUC. } > \text{LIBER. AGL (EF. RANDLE) } > \text{PROD. HEPAT}$
 - **STH:** EF. BIFASICO: AGUDO: SIMIL INS.
CRONIC (ACROMEG.): $< \text{CAPT } < \text{SENS INSUL } > \text{LIB AGL}$
(DBT II)

Gluconeogenesis



METAB. DEL GLUCOGENO



Efectos del entrenamiento sobre el sistema glucolítico

- > ACT. FOSFORILASA Y EXOKINASA
- < ACT. LDH
- = O > ACT. PFK
- > SENSIB. BETA ADREN.
- > DEPOS. DE GLUCOG.
- CAMBIO DE LA CURVA DE POT. Y CAP. GLUCOL.
- DESPLAZ. DE LA CURVA DE LACTACIDEMIA
- > CAPAC. OXIDATIVA CARDIACA DE LACTATO
- > CAPAC. ACLARAM. HEPATICO DE LACTATO
(> ENZ. GLUCONEO, > VMC, = Q HEPAT.)
- > ACLARAM. RENAL DE LACTATO
- > ACLARAM. MUSC. INACTIVOS DE LACTATO
- > [P- Y CH3O-] muscular (> amortiguación)
- > [LACT] musc. y sang. Y > TOLERANCIA
- > FUERZA MUSCULAR

ADAPTACIONES AL ENTRENAMIENTO AEROBICO

- **CARDIOVASCULARES**
- **RESPIRATORIAS**
- **SANGUÍNEAS**
- **MUSCULARES**
- **DE LAS FUENTES ENERGÉTICAS**
- **METABÓLICAS**

ADAPTACIONES DE LAS FUENTES ENERGÉTICAS

GLUCÓGENO



- > CONCENTRACIÓN GLUCÓGENO
- > CONTENIDO ENZ. GLUCOLÍTICAS
- > UTILIZACIÓN EN EJERCICIO

GRASAS



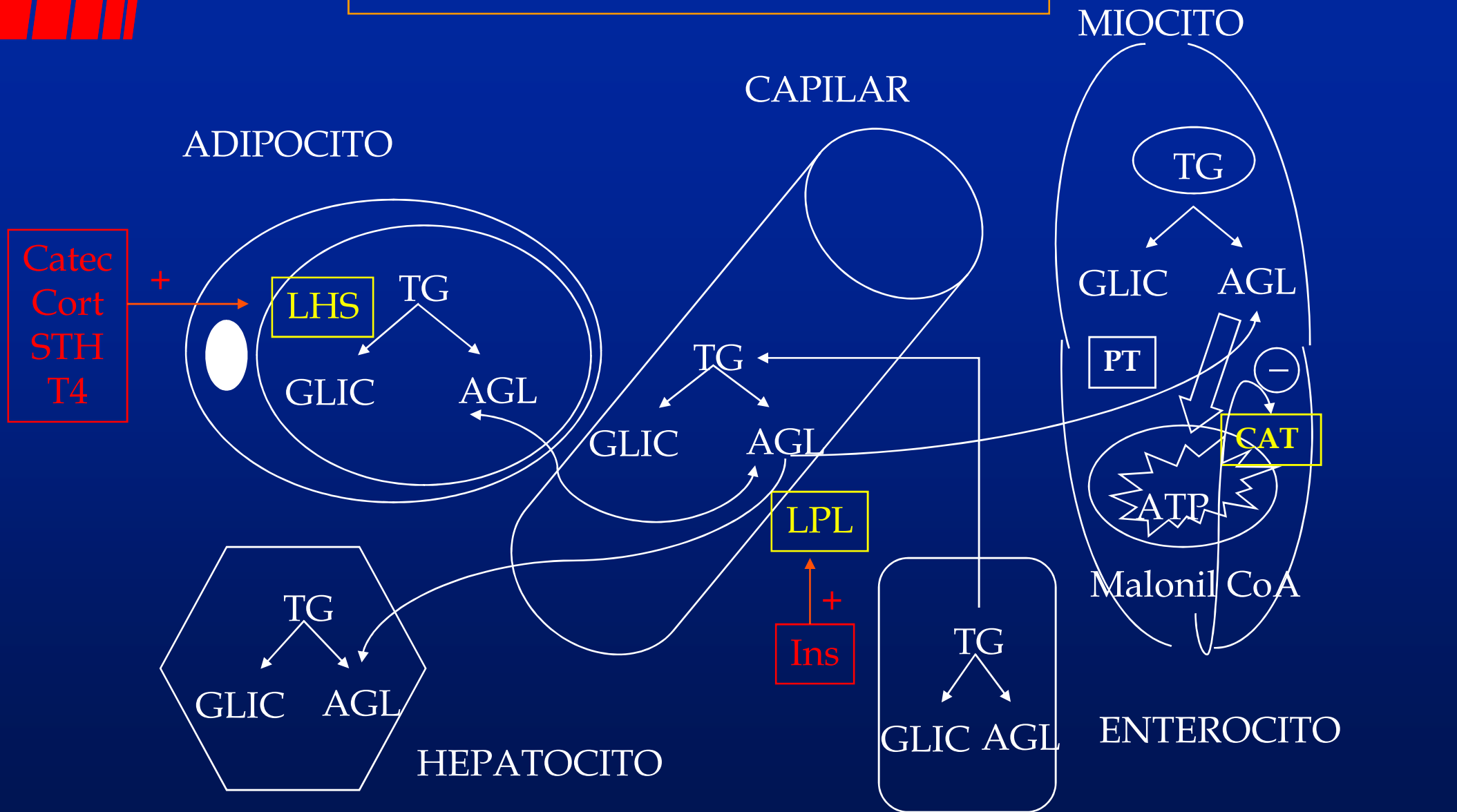
- > CONTENIDO TGIM: HASTA 1,8 VECES
- > CONTENIDO PTAG Y CARNITINA TRANSLOCASA
- > ACTIV. ENZ. LIPOLÍTICAS (LHS Y LPL adip: 70 %)
- > CAPAC. LIBER. AGL DEL ADIPOCITO
- > ACT. ENZ. BETAOXIDATIVAS (TIOLASA)
- > CAPACIDAD OXIDATIVA AGL: 30 %
- > UTIL. DE AGL CON AHORRO DE GLUCÓGENO
- < [LEPTINA] P : FACTOR DE SACIEDAD

PROTEÍNAS



- > ACTIV. ENZ. QUE OXIDAN LEUCINA h/ ACETIL-CoA
- > ACTIV. ALANINA → PIRUVATO TRANSAMINASA
- < CATAB. DE A.A. (< NH₄ - < UREA - < OXID. AA)

METABOLISMO LIPÍDICO



LEPTINA Y EJERCICIO

CATECOLAM.

HIPOTÁLAMO

R Ob-R

SACIEDAD
RTA. INMUNE
LIB.FACT.CRECIM.
DESARR. SEXUAL
LIB.CORTISOL

Sme.Resistencia a leptina en Obesos

R BETA3

LEPTINA
TEJIDO ADIPOSO

LEPTINA
PLASMÁTICA

R BETA3

LEPTINA
PLAQUETAS

-EJERCICIO
-DIETA HIPOC.
-PERD. PESO

-FNT
-OBESIDAD

↓ LEPTINA = ↓ SACIEDAD

AGREGACIÓN

ADAPTACIONES SANGUÍNEAS

- INCREMENTO ABSOLUTO DEL VOLUMEN SANGUÍNEO, PLASMÁTICO Y DE LA HB.
- AUMENTO DEL VOLUMEN INDIVIDUAL Y LA CANTIDAD TOTAL DE ERITROCITOS
- DISMINUCIÓN DEL HTO Y HAPTOGLOBINA
- DISMINUCIÓN DE Fe^{++} , TRANSFERRINA Y FERRITINA
- AUMENTO DEL 2-3 DPG
- AUMENTO DE RETICULOCITOS POR EPO Y STH
- DISMIN. DE FUNCIÓN LEUCOCÍTICA CON INCREMENTO DE CELULAS NK
- DISMINUCIÓN DE LOS MECAN. HEMOSTÁTICOS

ADAPTACIONES MUSCULARES

- CAMBIOS EN LOS SUBTIPOS DE FIBRAS SIN CAMBIOS EN LOS PORCENTAJES
- HIPERTROFIA DE FIBRAS ST
- AUMENTO DE CAPILARES h/10-15%
- AUMENTO DE MIOGLOBINA h/ 80%
- CAMBIOS EN LA FUNCIÓN MITOCONDRIAL (> TAMAÑO 35 % > No 15 %)
- INCREM. ENZ. OXID. (CT-CS-SDH-MDH)
- INCREM. QO₂ h/ 2,7 VECES (h 4 l/h/g)
- > SENSIBILIDAD A INSULINA
- < [MALONIL Co A] (-) de Carnitina Transferasa
- AUMENTO DE LPL MUSCULAR

OTRAS ADAPTACIONES METABÓLICAS

- DESPLAZAMIENTO DE LA CURVA DE LACTACIDEMIA, DEL UMBRAL LACTICO Y DE LA CAPACIDAD MÁXIMA DE ACUMULACIÓN DE LACTATO
- CAMBIOS EN LA RELACIÓN DE INTERCAMBIO GASEOSO: $R = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$, EN ESFUERZO SUBMÁXIMO (↓) Y MÁXIMO (↑) POR > UTIL. DE AGL
- INCREM. DE LA DIFER. ARTERIO-VENOSA DE O_2
- CAMBIOS EN $\dot{V}O_2$ MAX. EN EJERC. SUBMAX. (↓) Y MÁXIMO (↑)
- CAMBIOS EN LAS ENZIMAS PRESENTES EN LA SANGRE (CPK-LDH-ALDOLASA-GOT-GPT) Y DE OTROS COMPONENTES.

FACTORES FISIOLÓGICOS QUE DETERMINAN LA CAPACIDAD AERÓBICA

FACT. SANG.	FACT. CARD RESPIR	FACT. MUSC.	FACT. METAB.	FACT. BIOMEC
GLOB.R.	VMC	% FSTI	DEPOS. LIP.GLU	ECON. MOVIM
HTO.	CAPIL.	DENS. MITOC.	[LACT.]	DISTRIB POT. Y TECN.
HB.	F.RESPI.	ENZ.CL. (ICDH)	TRANS. AE-AN. (UL-UV)	
VOLUM PLASM.			% VO ₂ MAX.	
CAPAC. BUFFER				

RESISTENCIA AERÓBICA

CORTA MEDIA LARGA
 3-10' 10-30' > 30'

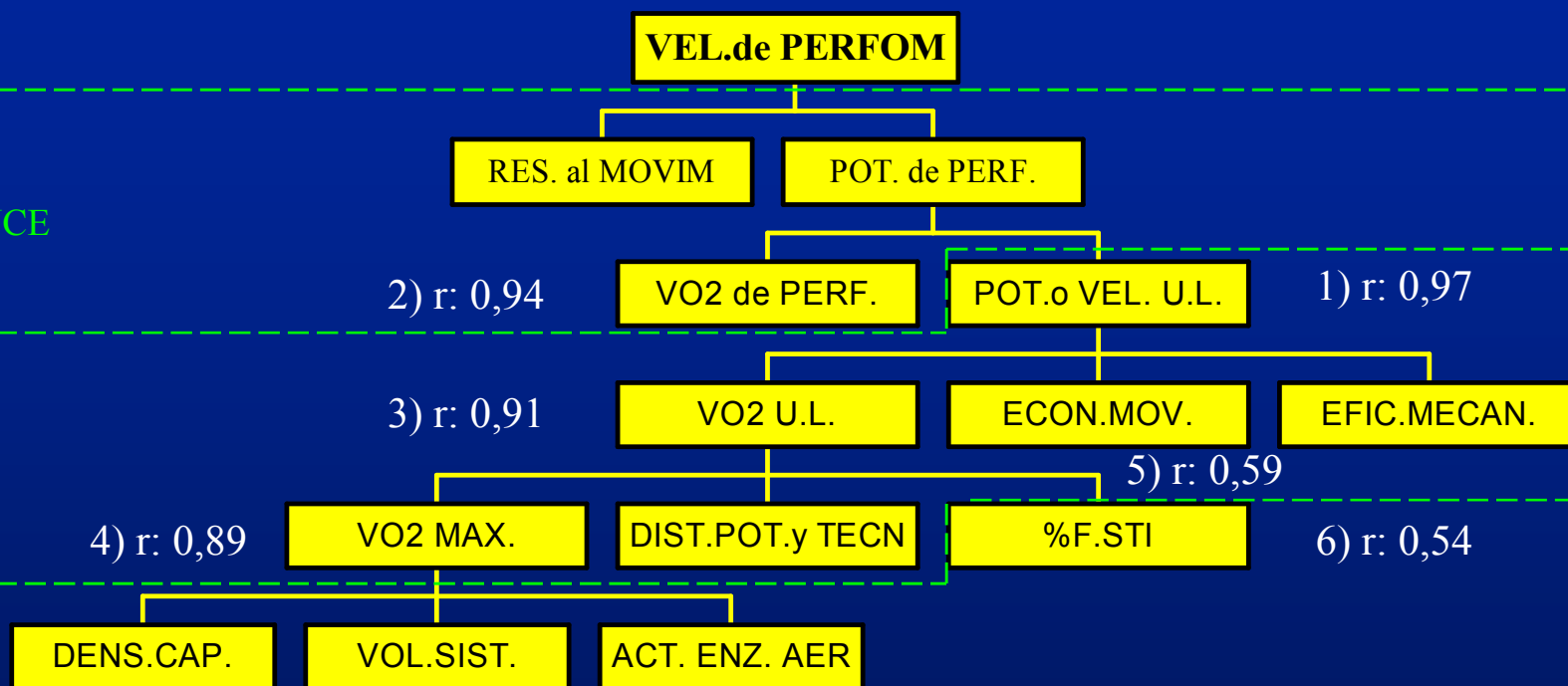
FACTORES FISIOLÓGICOS PARA LA PERFORMANCE DE RESISTENCIA

E. COYLE

CAPACIDADES
DE PERFORMANCE

CAPACIDADES
FUNCIONALES

COMPONENTES
MORFOLOGICOS



ADAPTACIONES AL ENTRENAMIENTO DEL SISTEMA OXIDATIVO

- > **CONCENTRACION Y ACTIV. ENZ. OXIDATIVAS MUSC.**
- > **NRO CRESTAS, TAMAÑO Y CANT.MITOCONDRIAL**
- > **DEPOSITO DE LIPIDOS Y GLUCOGENO INRACELULAR**
- > **CAPILARIZACION MUSCULAR Y > VMC**
- < **ACT. DE LA ENZ.2-OXOACIDO DH (AHORRO DE AA)**
- < **CATAB. DE AA: < PROD. NH₄ - < PROD. UREA - < OXIC. AA**
- **MEJOR CAPACIDAD BUFFER PROTEICA (Hb) Y PLASMATICA**
- > **USO DE LIP. COMO COMB. CON < ACT. GLUCOLITICA:**
EN REPOSO, EN EJERC.MOD., EN RECUP.:
 - 1) > **USO TG IM c/ < [AGL] PLASM.**
 - 2) > **MOVIL. TG TEJ. ADIPOSO:**
POR > SENSIB. BETA ADR. EN ESF.
Y > [CATEC.] Y < [INS] EN REPOSO
- < **[LACT] c/ >VEL. U.L.**
- **DIFERENCIAS GENETICAS?**

TRANSICION AEROBIA - ANAEROBIA

U. AER.

U. ANAER.

FASE 1	FASE 2	FASE 3
<p>↑ VE</p> <p>↓ FEO₂</p> <p>↑ FECO₂</p> <p>=LACTATO</p>	<p>↑ ↑ VE</p> <p>↑ FEO₂</p> <p>↑ FECO₂</p> <p>↑ LACTATO</p>	<p>↑ ↑ ↑ VE</p> <p>↑ FEO₂</p> <p>↓ FECO₂</p> <p>↑ ↑ LACTATO</p>
PRED. ST I		PRED. FT II
	40-60% VO ₂ MAX	70-90% VO ₂ MAX

FENOMENOS CONCOMITANTES PARA LA APARICION DEL UMBRAL ANAEROBICO

A) FENOMENOS METABOLICOS

- VO₂
- VCO₂
- CO₃- HB - ANHIDRASA CARBONICA
- GLUCOG.-GLUC.- PIRUVATO - LACTATO
- ATP - ENZ. OXIDATIVAS - ENZ. GLUCOLITICAS

B) FENOMENOS CARDIORESPIRATORIOS

- FC - VS - VMC
- VE - VE/VO₂ - VE/VCO₂
- PETO₂ - PETCO₂
- R
- Regul. Resp: 1) SNC: corteza, bulbo
2) M.R. cv. o pulm.
3) Q.R. c. y p.
4) R. térmicos

C) FENOMENOS NEUROMUSCULARES

- FIBRAS ST (I) → VT1
- FIBRAS FT (II) → VT2

D) FENOMENOS NEUROENDOCRINOS

- PICO DE CATECOLAMINAS