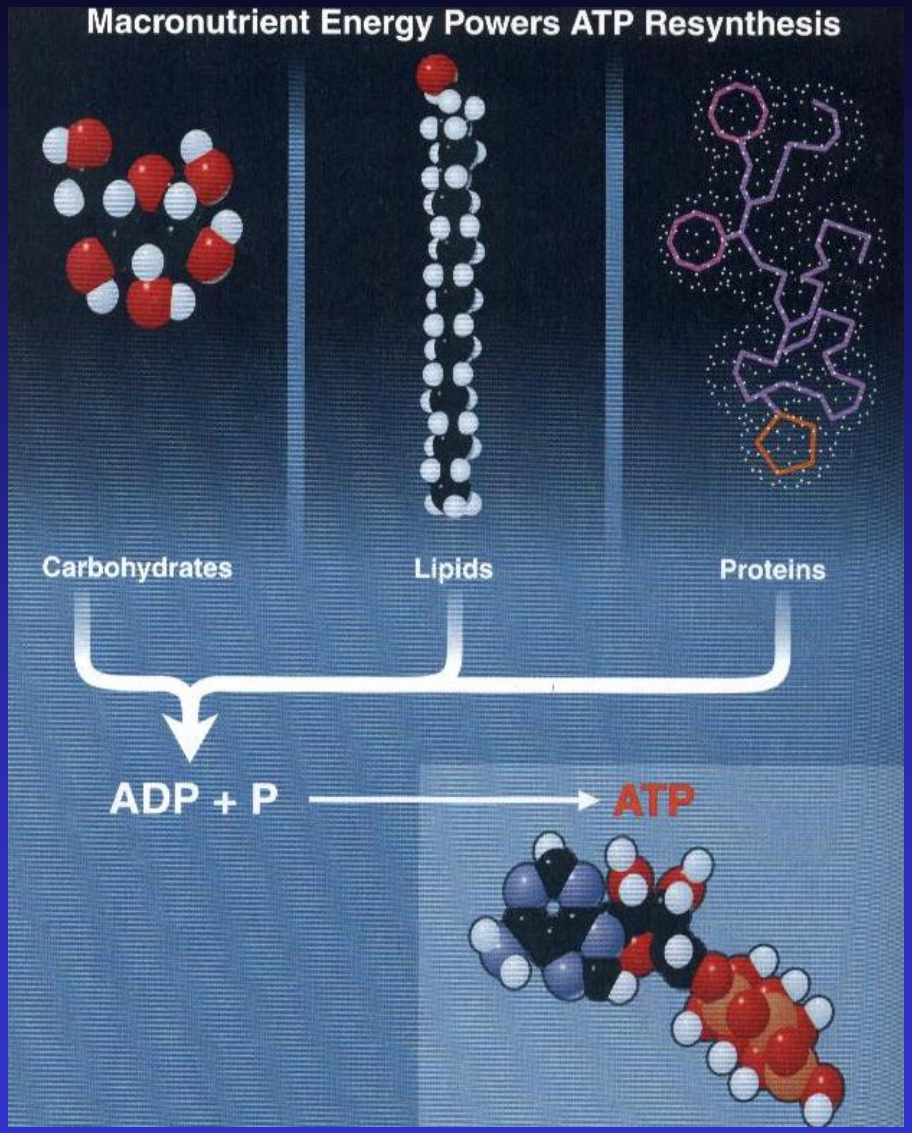
Metabolismo de carboidratos no exercício dinâmico

Bioquímica da Atividade Motora

Edilamar Menezes de Oliveira


Macronutrient Energy Powers ATP Resynthesis
Carbohydrates
Lipids
Proteins
ADP + P
ATP

Os carboidratos são a maior fonte de energia na dieta humana:

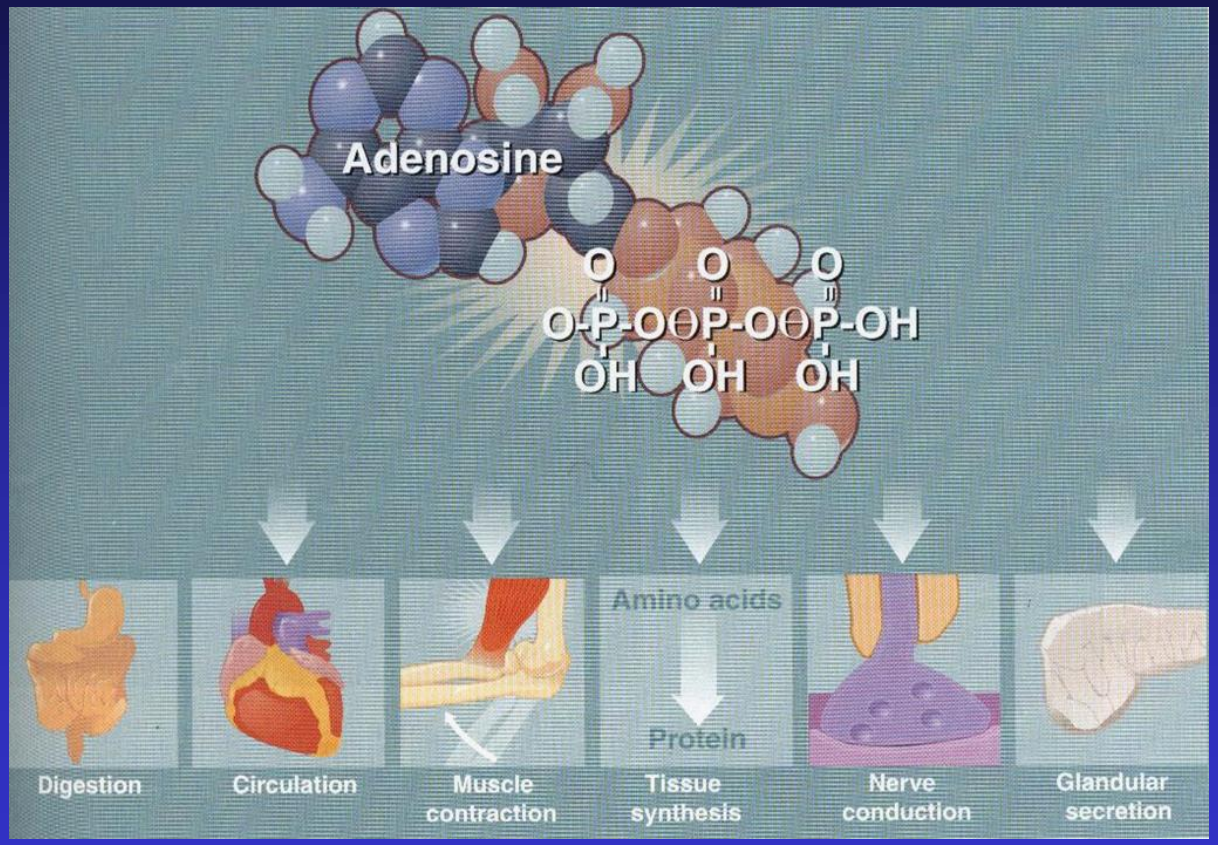
- açúcares (moléculas simples)
- amido (moléculas complexas)

CH presentes na dieta (principais):

- Monossacarídeos: Glicose, Frutose e Galactose
-Dissacarídeos: Lactose e Maltose
-Polissacarídeos: glicogênio e celulose.

São absorvidos no intestino somente como monômeros (monossacarídeos).
Excessão: fibras (ligações β 1-4).

ENERGIA x FUNÇÕES BIOLÓGICAS



CARBOIDRATOS SÃO ARMAZENADOS
COMO
FONTE DE ENERGIA

SECREÇÃO INSULINA

↑ **[CH dieta]** ⇢ ↑ **[glicose] plasmática** (pós-prandial)

⇣

+

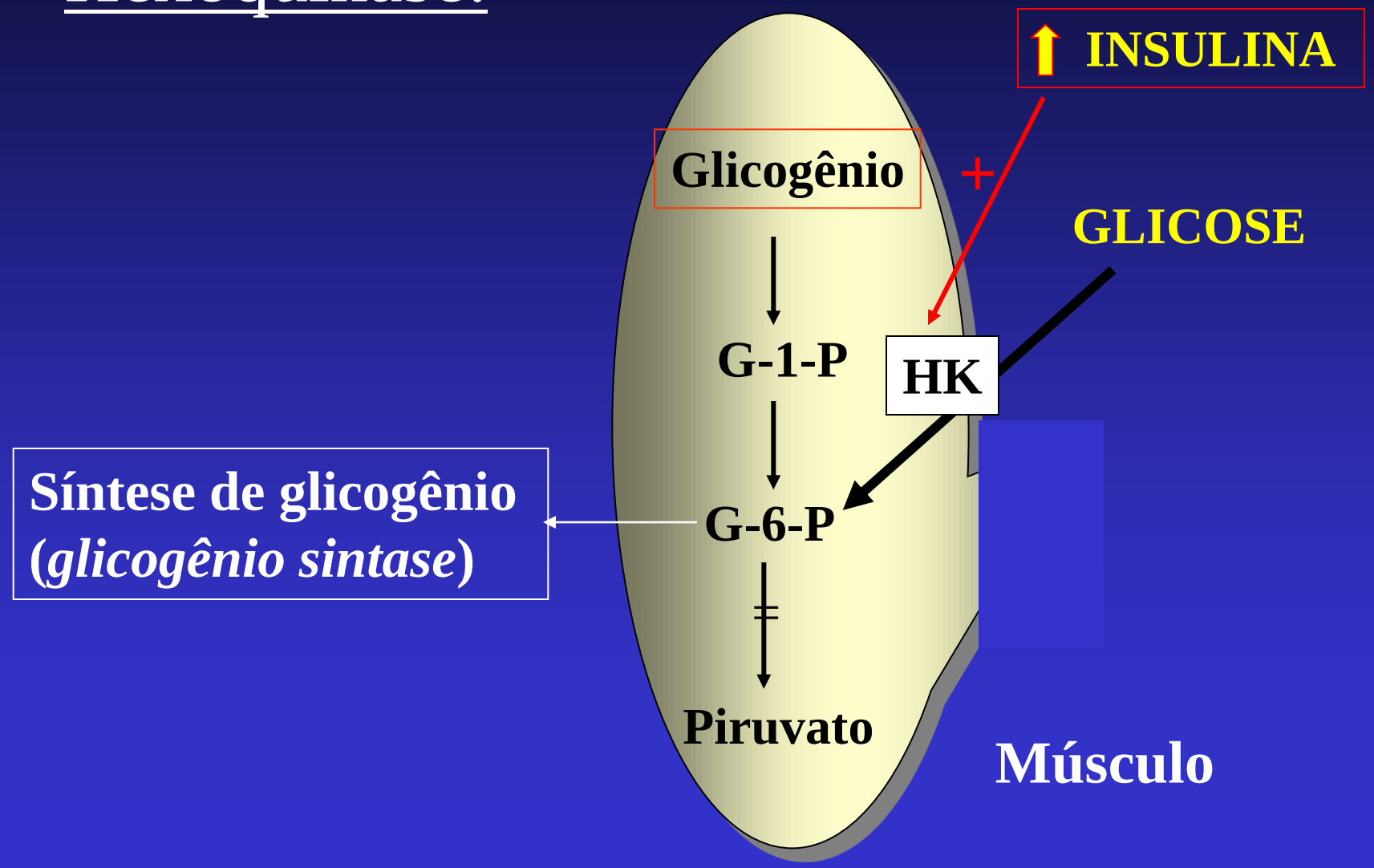
PÂNCREAS → ↑ ***INSULINA***

↓ ***GLUCAGON***

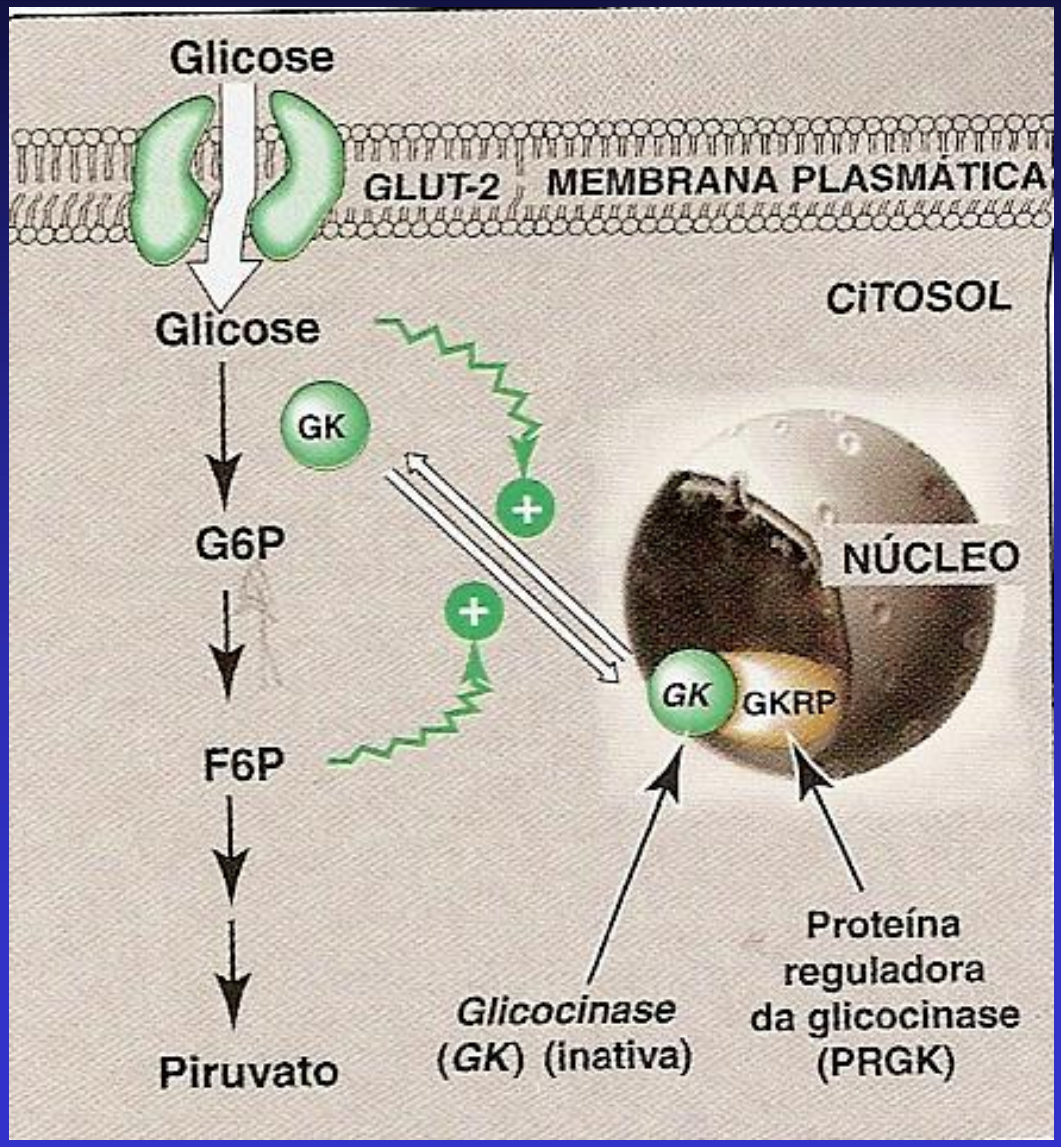
-↑ Captação de GLICOSE: Músculo esquelético, fígado e Tec. Adiposo
-↑ Glicogênio muscular.

Captação de Glicose pelo músculo é assegurada:

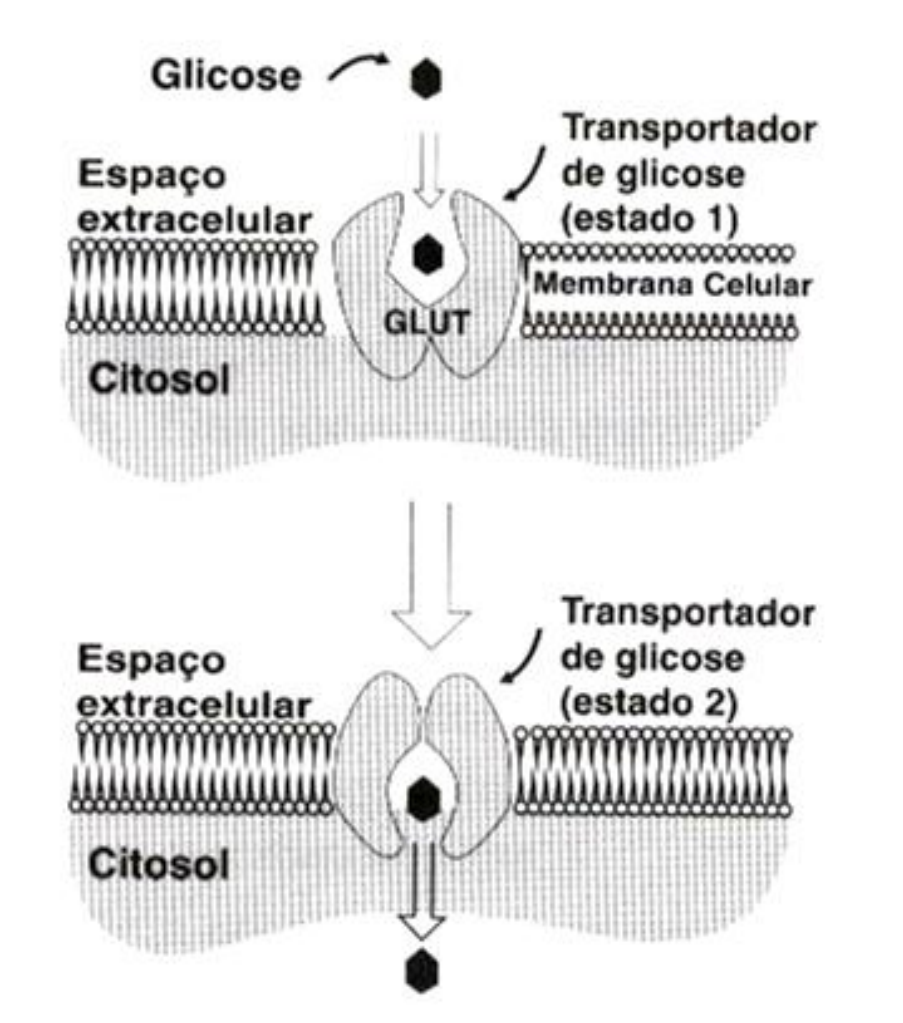
Hexoquinase:



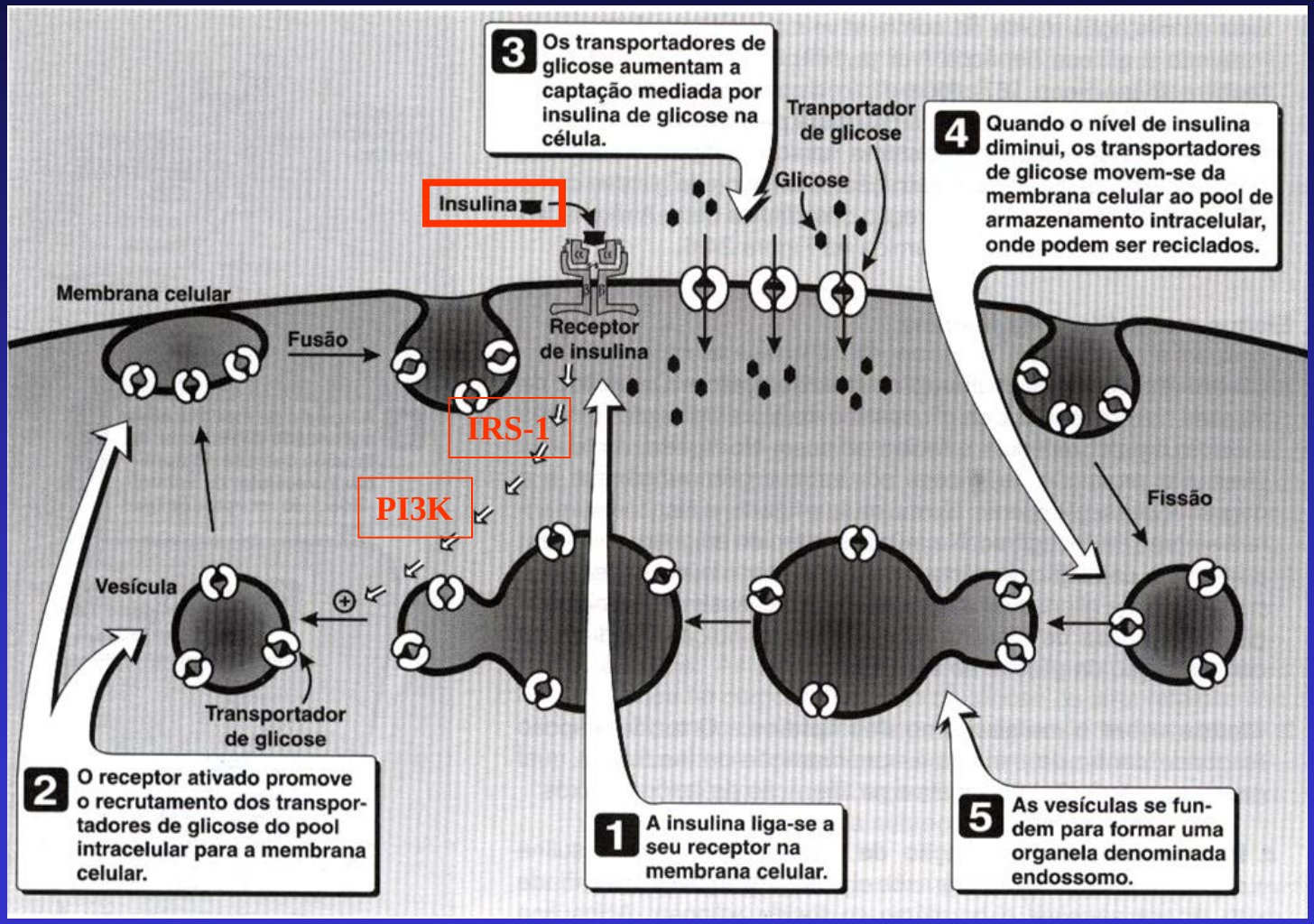
Regulação da atividade da glicoquinase e da proteína reguladora da glicoquinase



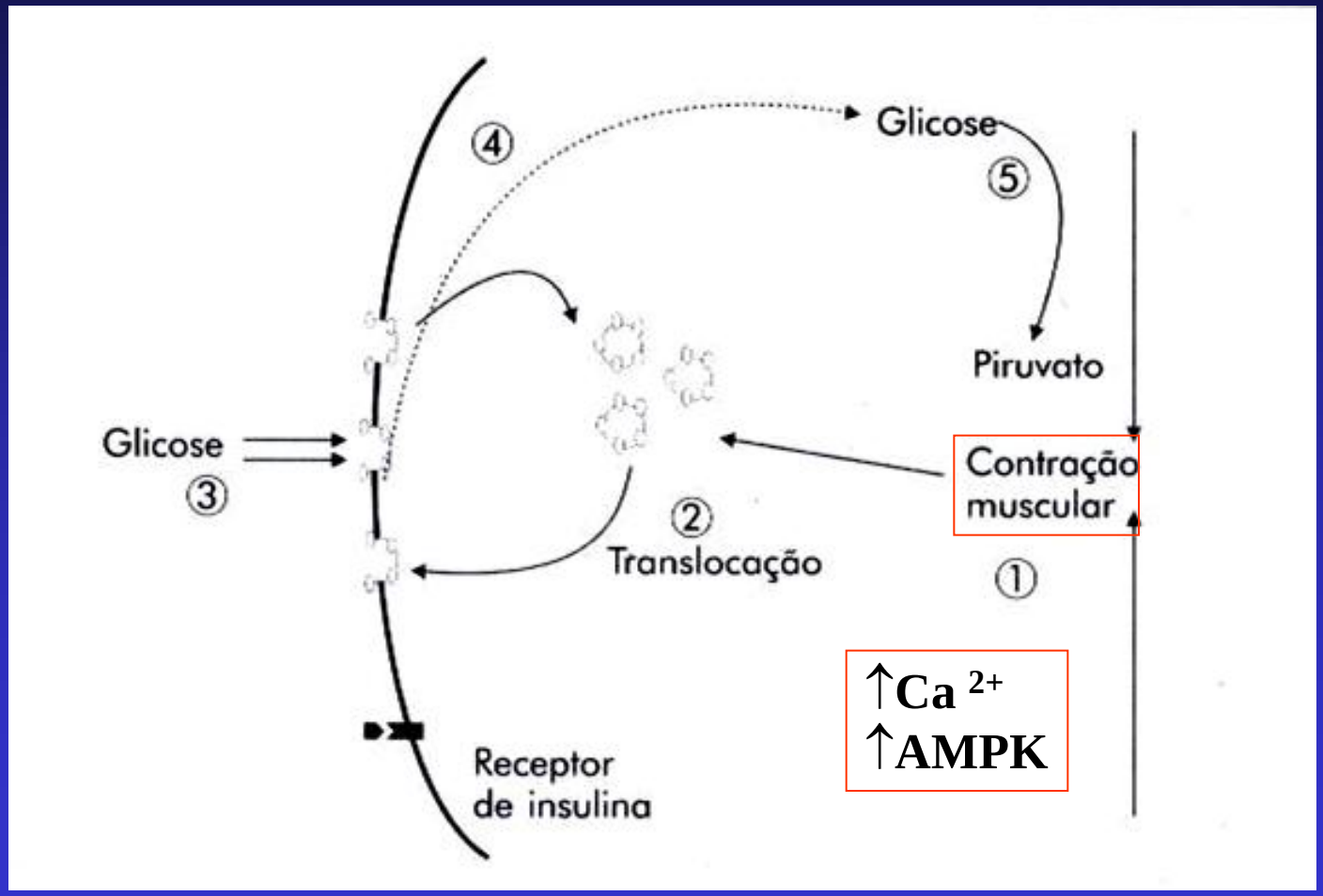
Representação esquemática do transporte facilitado de glicose através da membrana da célula = GLUT



Insulina faz as células recrutem transportadores dos depósitos intracelulares



Contração Muscular faz as células recrutem transportadores dos depósitos intracelulares independente da ação da Insulina



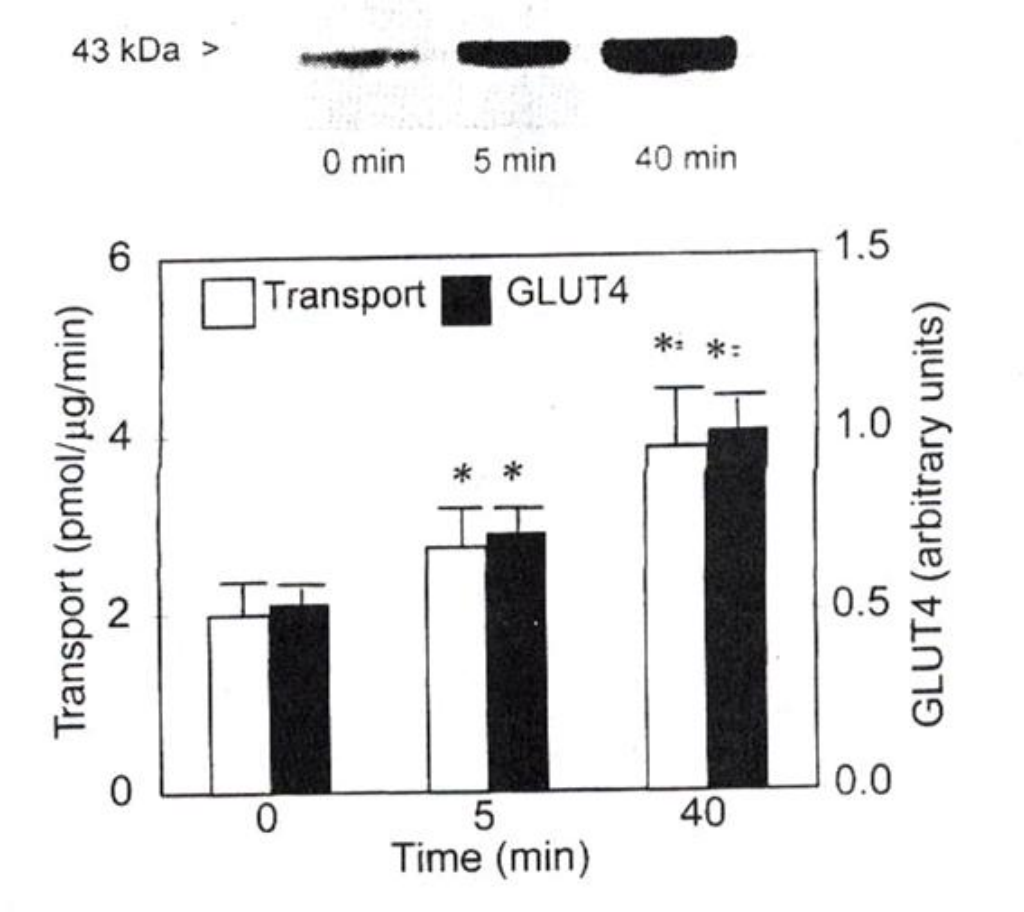
Lancha Jr,2002

Transportadores de Glicose e suas principais características

	Km p/ Glicose	Localização
GLUT 1	5-10 mM	olhos, placenta, cérebro e testículos
GLUT 2	20-40 mM	fígado, intestino delgado, rins e cél β do pâncreas
GLUT 3	**1-5 mM**	Cél parênquima cerebral e cél tumorais
GLUT 4	2-10 mM insulino-dependente	Cél Musc Esq, cardíaca e adipósitos insulina > até 30X
GLUT 5	> afinidade Frutose	Int delgado, rim,cérebro, tecido adiposo e testículo
GLUT 7	—	Retículo endoplasmático

Richter, 1984.

GLUT 4 : conteúdo de proteína transporte de glicose em vesículas sarcolemal gigante de músculo esquelético humano (300 mg; vasto lateral)



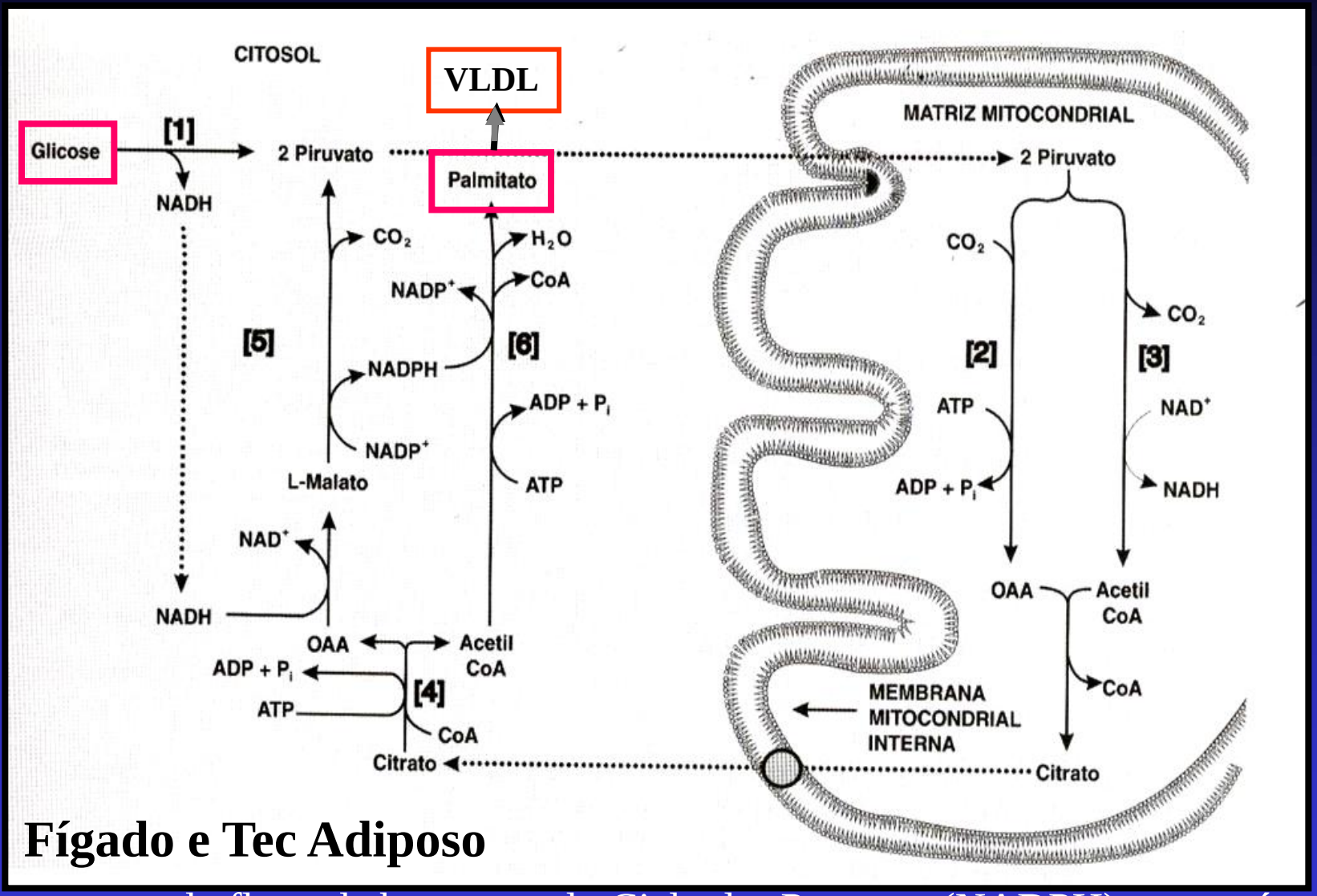
Kristiansen et al, 1997

Estoques de Glicogênio

Sítio de reserva de glicogênio em um homem de 70 Kg, em repouso, alimentado com dieta Ocidental padrão		
Tecido	**Peso ou Volume**	**Estoques de CHO**
Fídado	1,8Kg	70g (0-135)
Fluído extracelular	12L	10g (8-10)
Músculo	32Kg	450g (300-900)

Hargreaves, 1995.

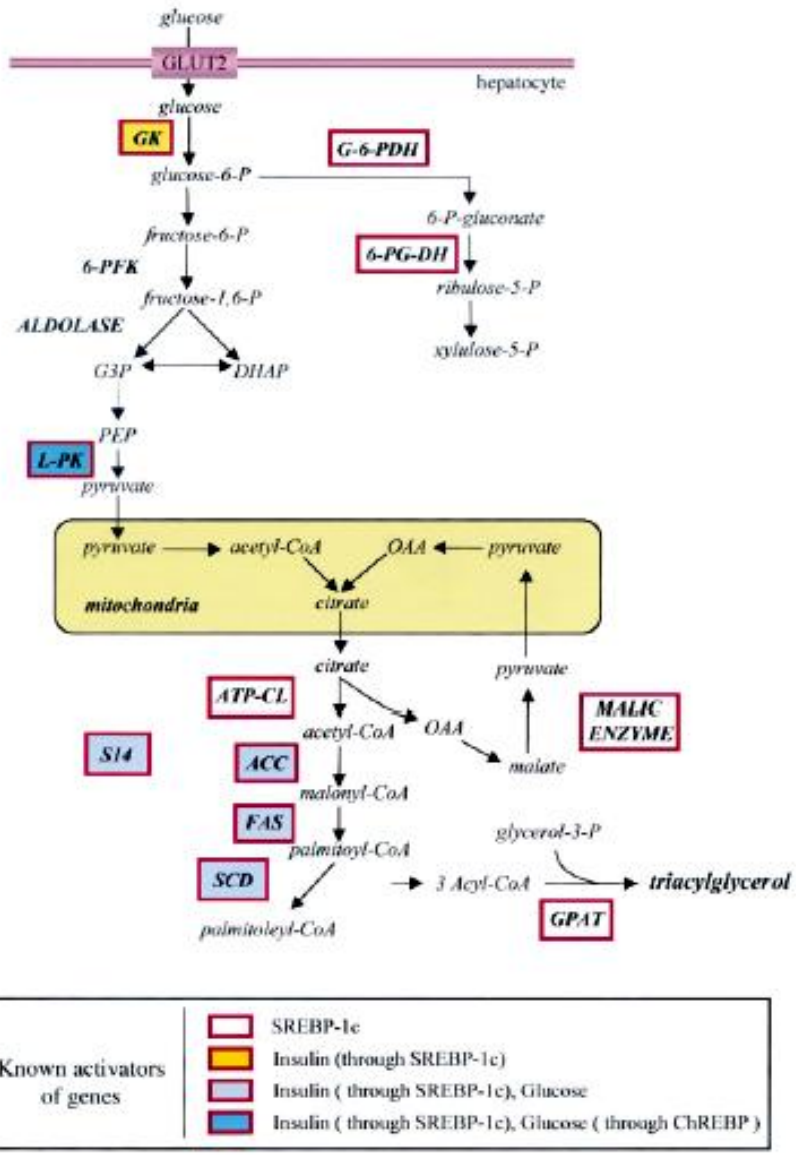
Glicose absorvida em excesso: síntese Ác. Graxos (endógena)



Fígado e Tec Adiposo

O aumento do fluxo de hexoses pelo Ciclo das Pentoses (NADPH) para a síntese dos Ác. Graxos.

Via glicolítica e lipogênica no Fígado



Scheme 1 Glycolytic and lipogenic pathways in the liver

Foufelle e Feree, 2002

CARBOIDRATOS E PRODUÇÃO DE ENERGIA

Produção de ATP de diferentes fontes energéticas

Origens Energia	Moles ATP disponíveis	Potência Máx mmol ATP/Kg peso seco musc/seg	Exerc Relativo Int suportada	Tempo Exercício
Estoques ATP	0,02	11,2	muito alta	1-2 seg
Estoques CP	0,34	8,6	muito alta	30 seg
Glic Anaeróbia	5,2	5,2	alta	7 min
Glic Aeróbia	70.00	2,7	moderada	90 min
Oxid Ác Graxos	8000.00	1,4	baixa	350 hs

Assumindo que: VO_2max 4L/min; oxididação gorduras: 50% VO_2max;
Estoques de glicogênio: 830 mmol

Sahlin, 1985.

FONTES IMEDIATAS DE ENERGIA PARA CONTRAÇÃO MUSCULAR

ATP $\xleftrightarrow{\textit{ATPase}}$ **ADP + Pi +** **ENERGIA**

PCr $\xleftrightarrow{\textit{CPK}}$ **Cr + P +** **ENERGIA**

GLICOGÊNIO

EXERCÍCIO DE ALTA INTENSIDADE E CURTA DURAÇÃO (3 min):

Origens ATP

	ANAERÓBIA	AERÓBIA
30 seg iniciais	80%	20%
60-90 seg	45%	55%
120-180 seg	30%	70%

ATP é uma fonte de energia rápida:

- não depende de uma série de reações químicas
- não depende de O_2 transportado para o músculo
- ATP e PC estão armazenados diretamente no músculo

Início do exercício de alta intensidade a produção de ATP é anaeróbia (80-90%):

- Suprimento de O_2 é baixo
- Sistema Cardiovascular ↑ demanda O_2 para trabalho cardíaco
- ↑ demanda metabólica
- ↓ O_2 na musculatura (vasoconstrição)

ORIGENS ATP (ANAERÓBIA)

ATP - reserva

A demanda extrema de energia requer que ATP seja resintetizado de forma anaeróbia da seguinte maneira:

PCr + ADP + H^+ <—CPK—> ATP + Cr

2 ADP ←–AK—> ATP + AMP

AMP + H^+ ←AMP deaminase—> IMP + NH_4^+

AMP + H_20 ←5'nucleotidase—> Adenosina + Pi

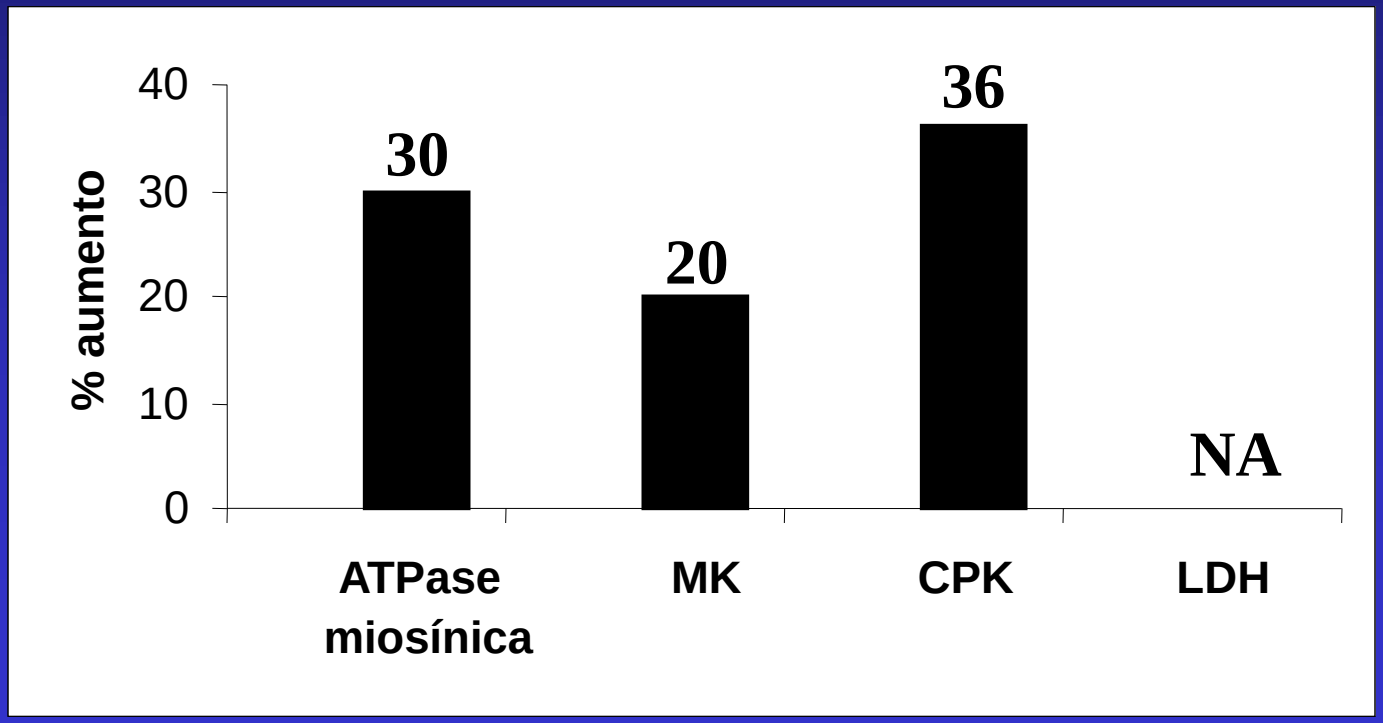
GLICOGÊNIO + 3 ADP + 3 Pi —> 3 ATP + 2 Lactato + 2 H^+

Estas equações demonstram a potencialidade do músculo esquelético em fontes de ATP

PRIMEIRO experimento – TF muito alta intensidade

Treinamento: 4 homens; adultos; saudáveis

1 série: 5 seg – corrida de alta velocidade (*SPRINTS*)
repetida 20-40 X; 3-4 dias/sem; 8 semanas
Biópsia da porção lateral do Vasto Lateral (antes e após TF)



Thorstensson et, 1975.

- Um ano após: Thorstensson et al., 1976.

TREINAMENTO DE FORÇA; exercício de agachamento

14 Homens; 3X/ sem; 3 sets de 6 repetições de força máxima

ATPase miosínica: não altera

CPK: não altera

MK: ↑ 8%.

- TF ALTA INTENSIDADE e POTÊNCIA MÁXIMA:

ATPase miosínica: ↑ 55%

CPK e LDH: não altera

Yakovlev (1975)

-TREINAMENTO DE MUITO ALTA RESISTÊNCIA

Mostraram análise de diferentes tipos de fibras e atividade enzimáticas

Amostras: VL – alterofilistas olímpicos e fisiculturistas

MK: ↑ 40 % - fibras rápidas
não mudou - fibras lentas

LDH: ↑ 62 % - fibras rápidas
↑ 50 % - fibras lentas (respondem ao treinamento, porém menos)

Tesch et al., 1989.

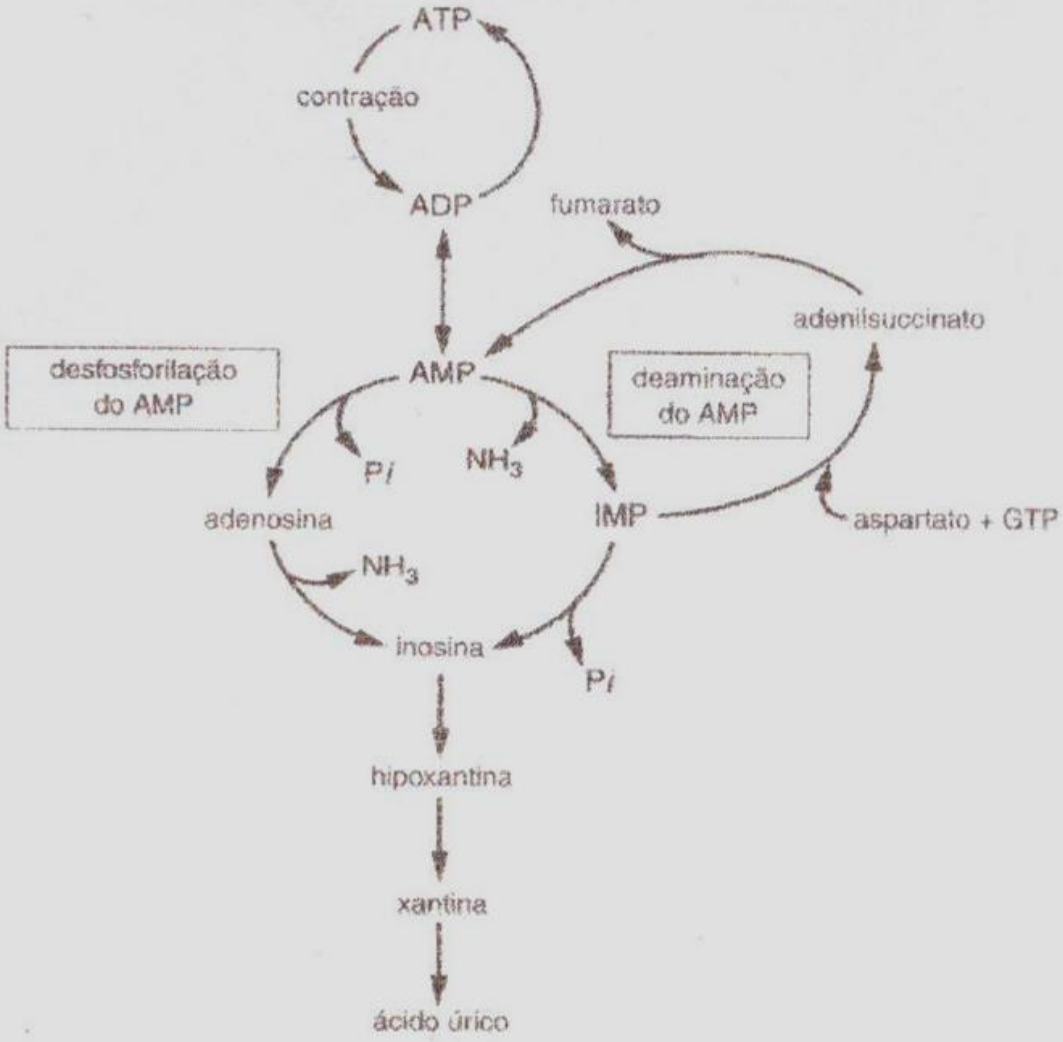
CONCLUSÕES:

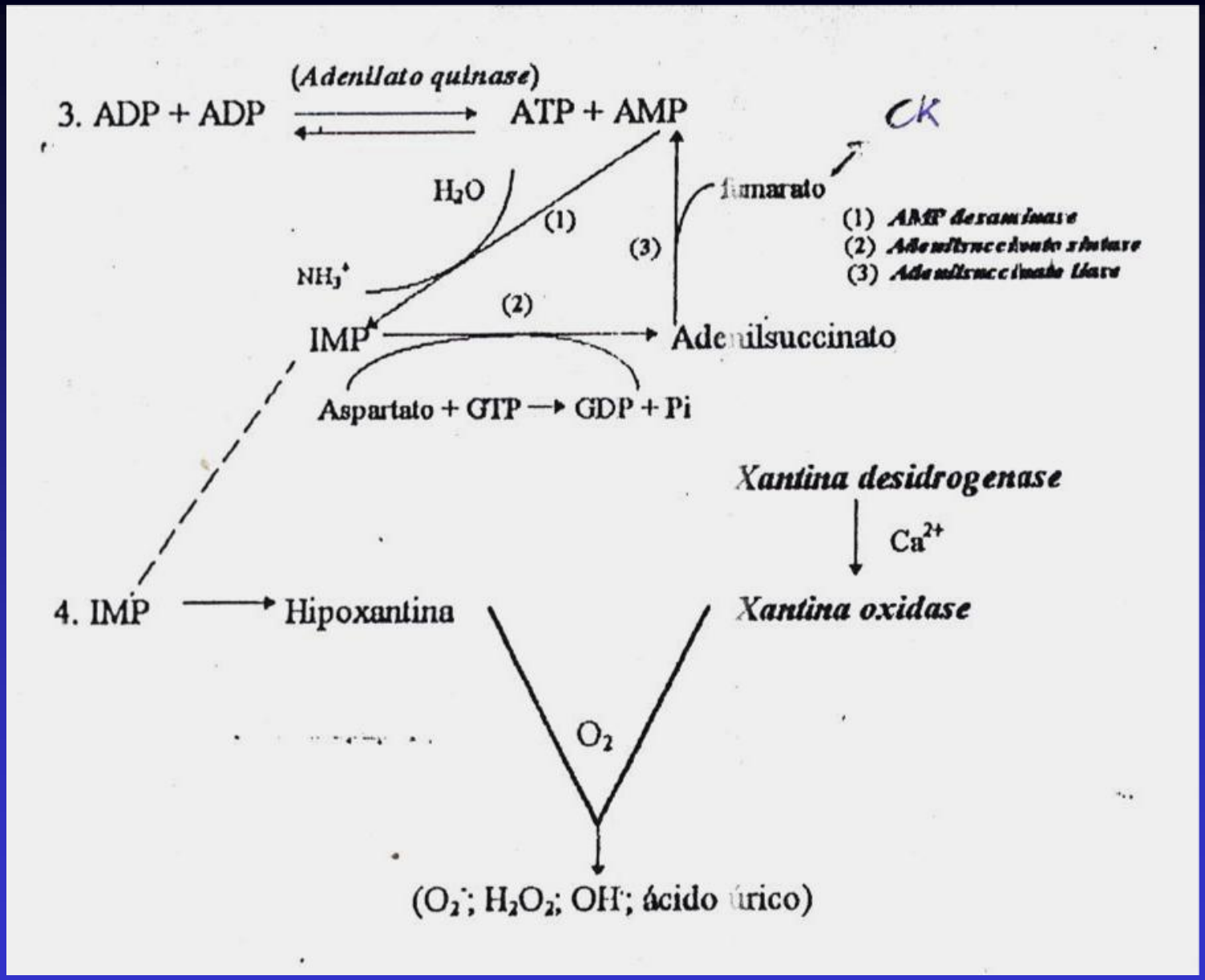
Embora haja discrepâncias na literatura

TREINAMENTO DE MUITO ALTA INTENSIDADE

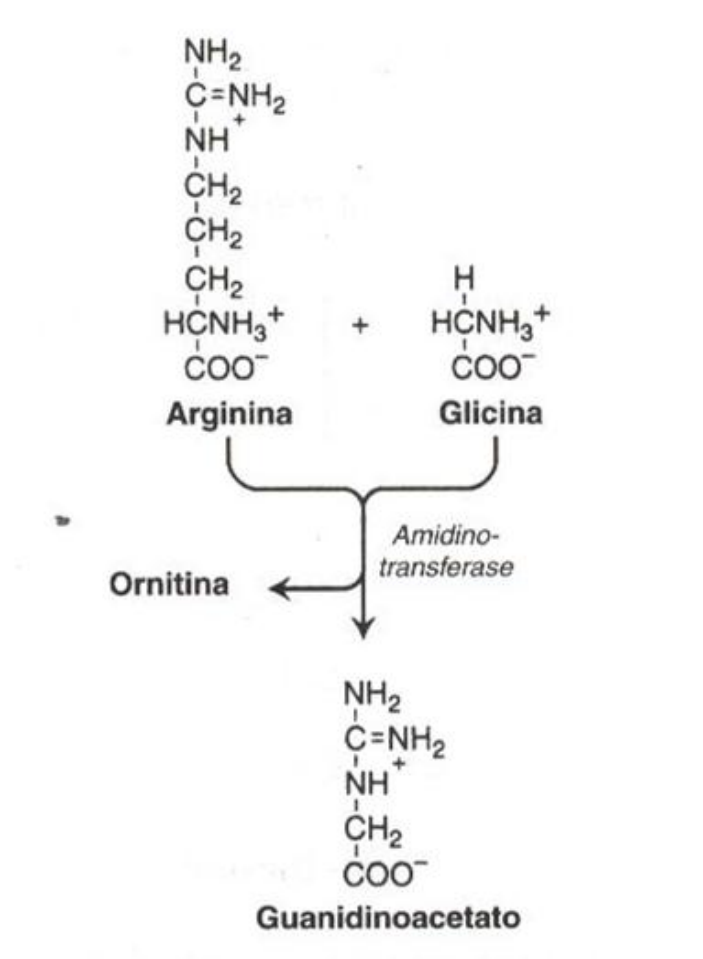
- ativa ATPase miosínica, MK e LDH.
- diferenças podem ser devidos aos diversos protocolos de treinamento
- efeitos na via glicolítica.

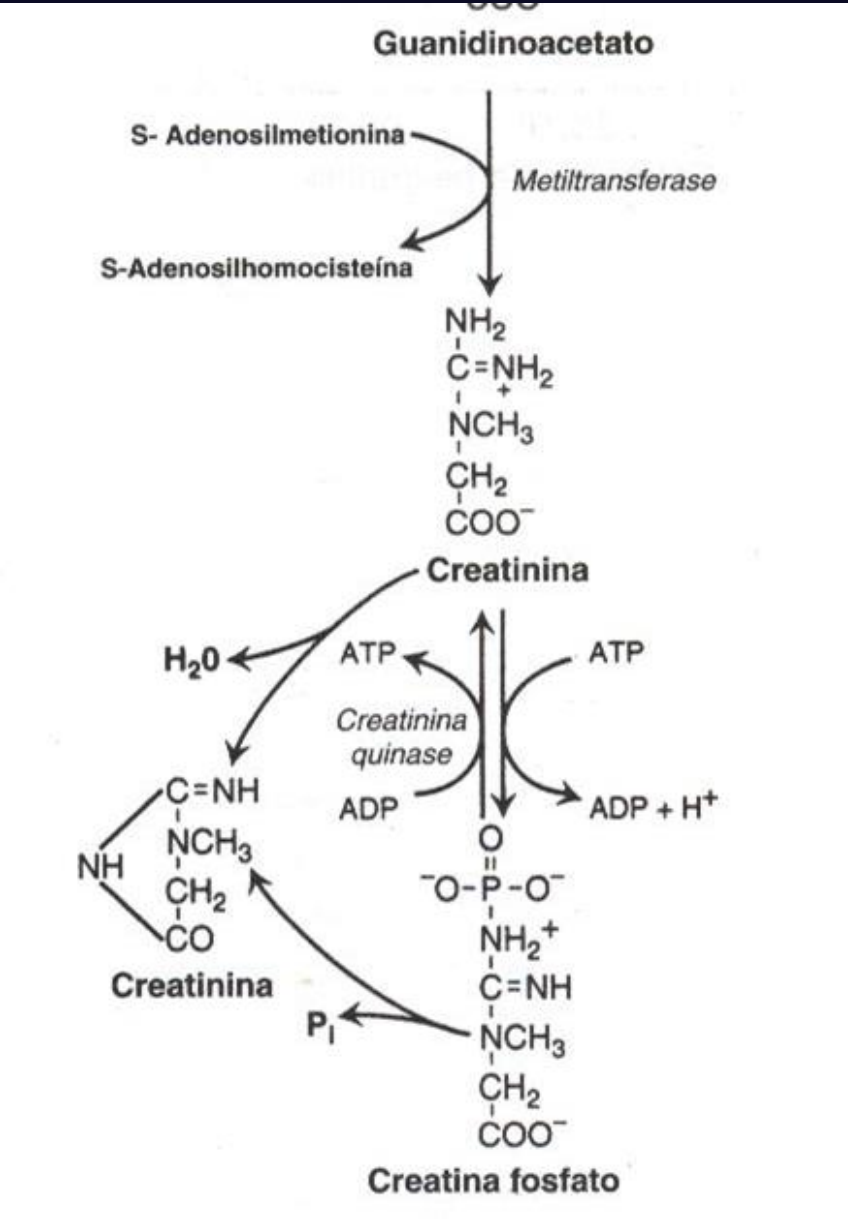
Perda de adenina nucleotídeo do músculo esquelético




(Adenilato quinase)
3. ADP + ADP
ATP + AMP
CK
H2O
(1)
(3)
fumarato
(1) AMP desaminase
(2) Adenilsuccinato sintase
(3) Adenilsuccinato liase
NH3+
(2)
IMP
Adenilsuccinato
Aspartato + GTP → GDP + Pi
Xantina desidrogenase
Ca2+
4. IMP
Hipoxantina
Xantina oxidase
O2
(O2-; H2O2; OH-; ácido úrico)

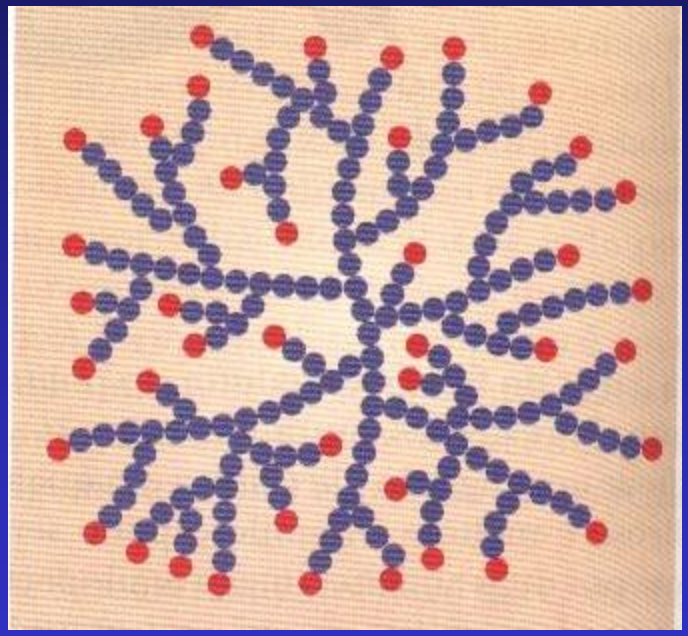
Síntese de Creatinina



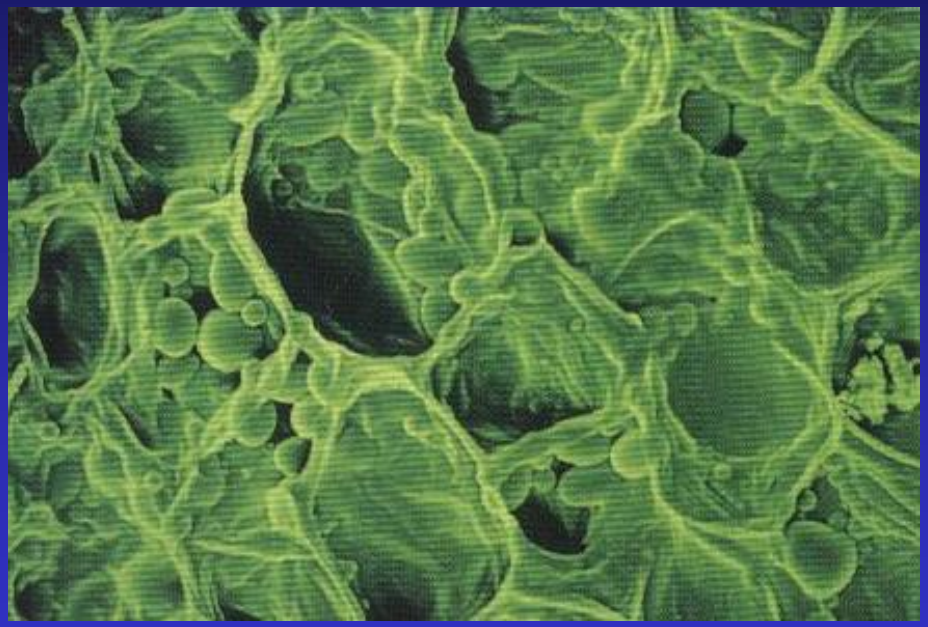


DEGRADAÇÃO DO GLICOGÊNIO (Glicogenólise)

- Glicídio de reserva do animais
- Encontrado em quase todos os tecidos, mas pp Fígado e Músculo



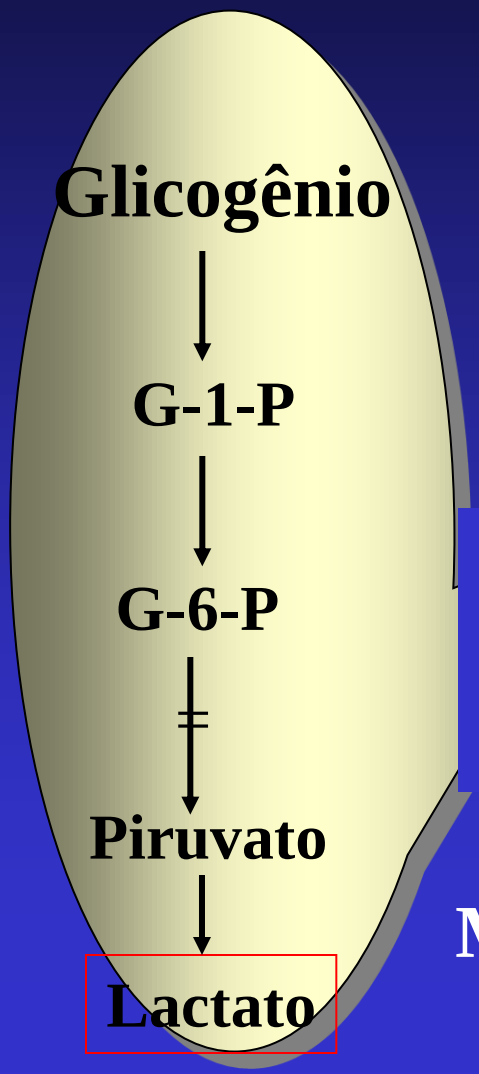
Glicogênio



Grânulos de Glicogênio (micrografia eletrônica)

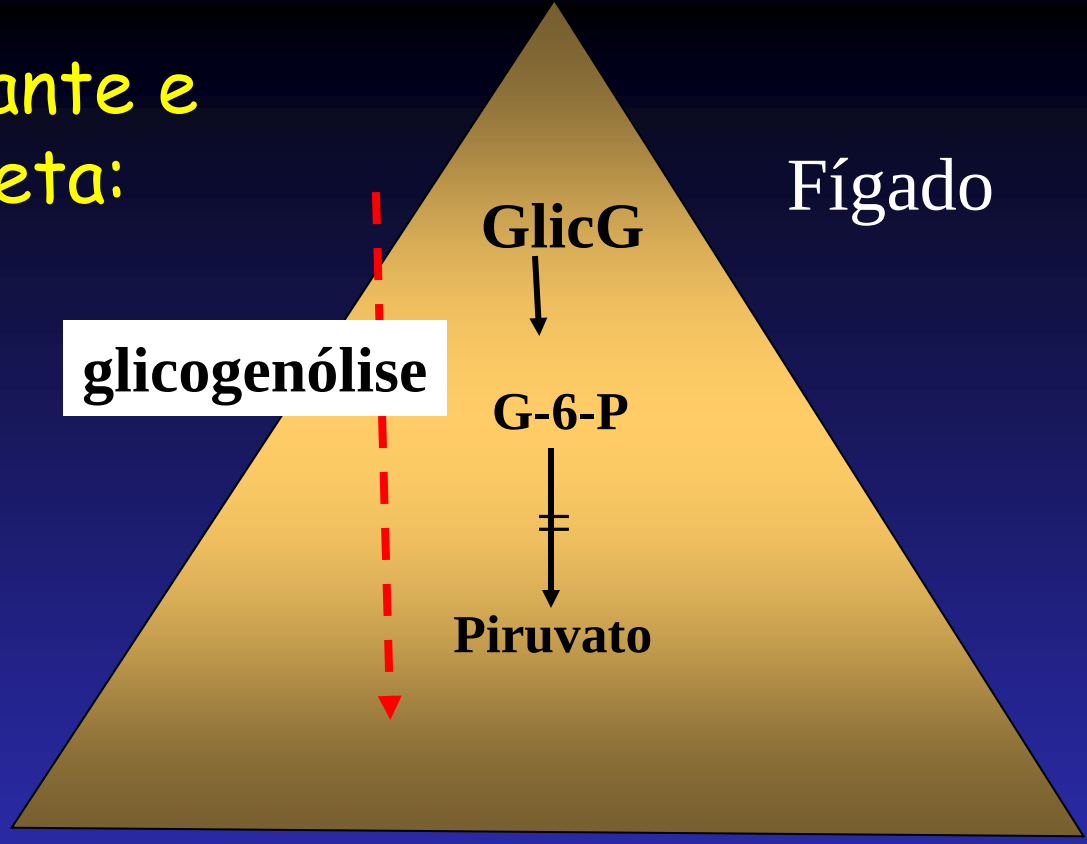
↑ Catecolaminas circulante e ativação neural direta:

Fibra IIa



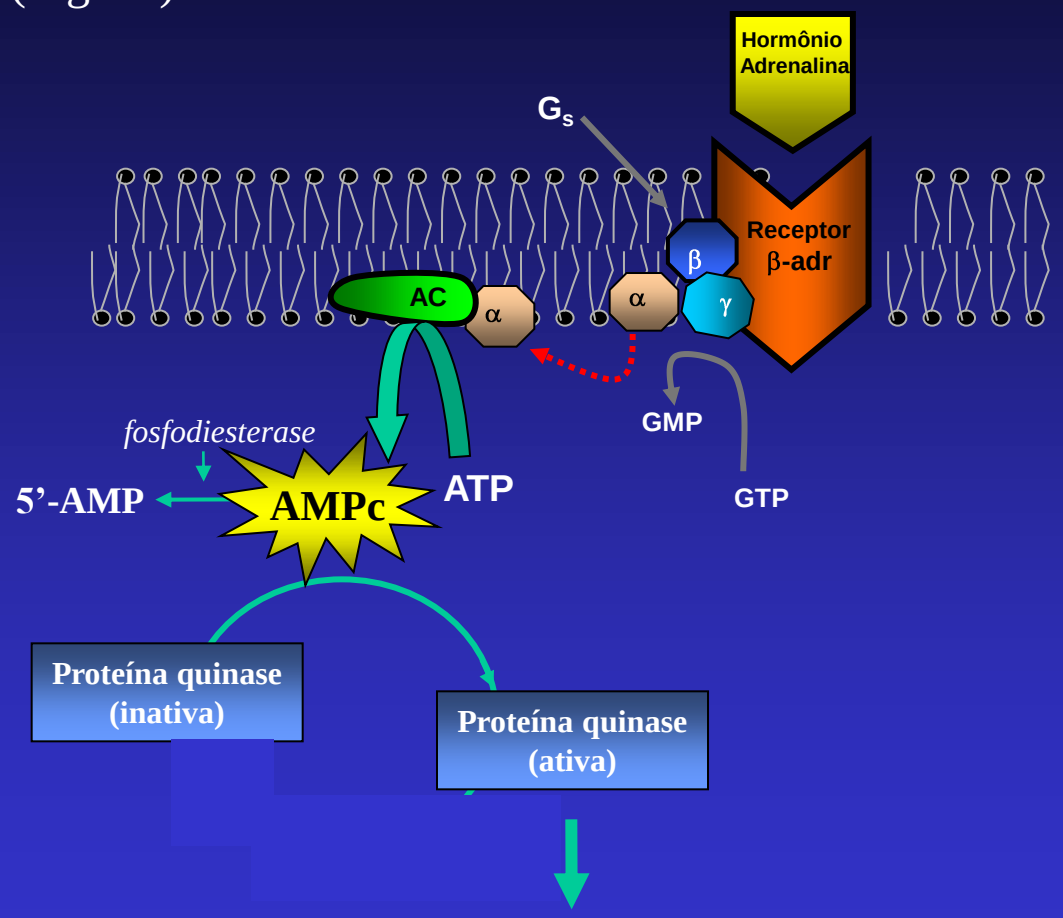
Glicogenólise

Músculo – Fibra IIa

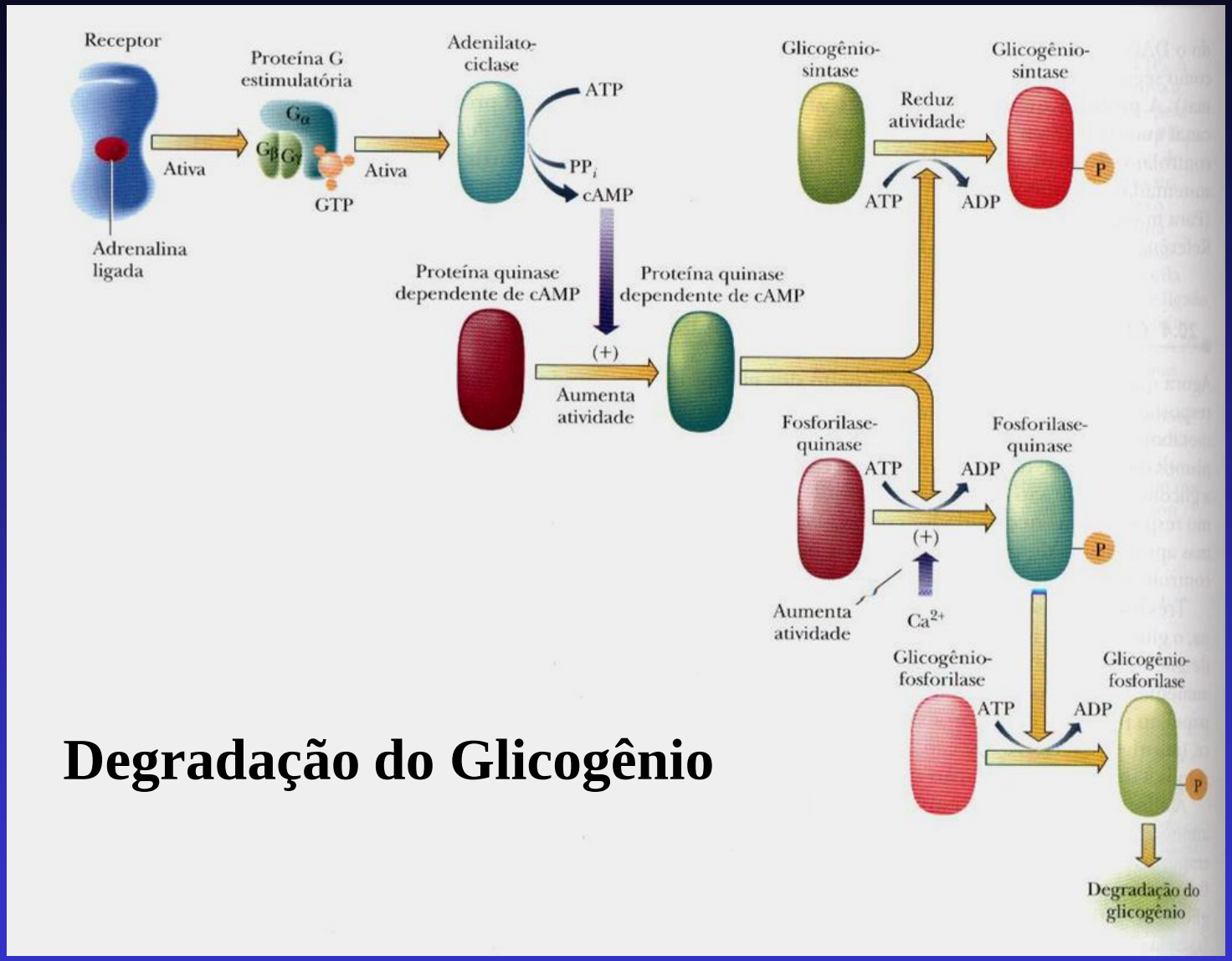


Degradação do Glicogênio Muscular no Exercício:

↑ Epinefrina (músculo)
Ep e Glucagon (Fígado)

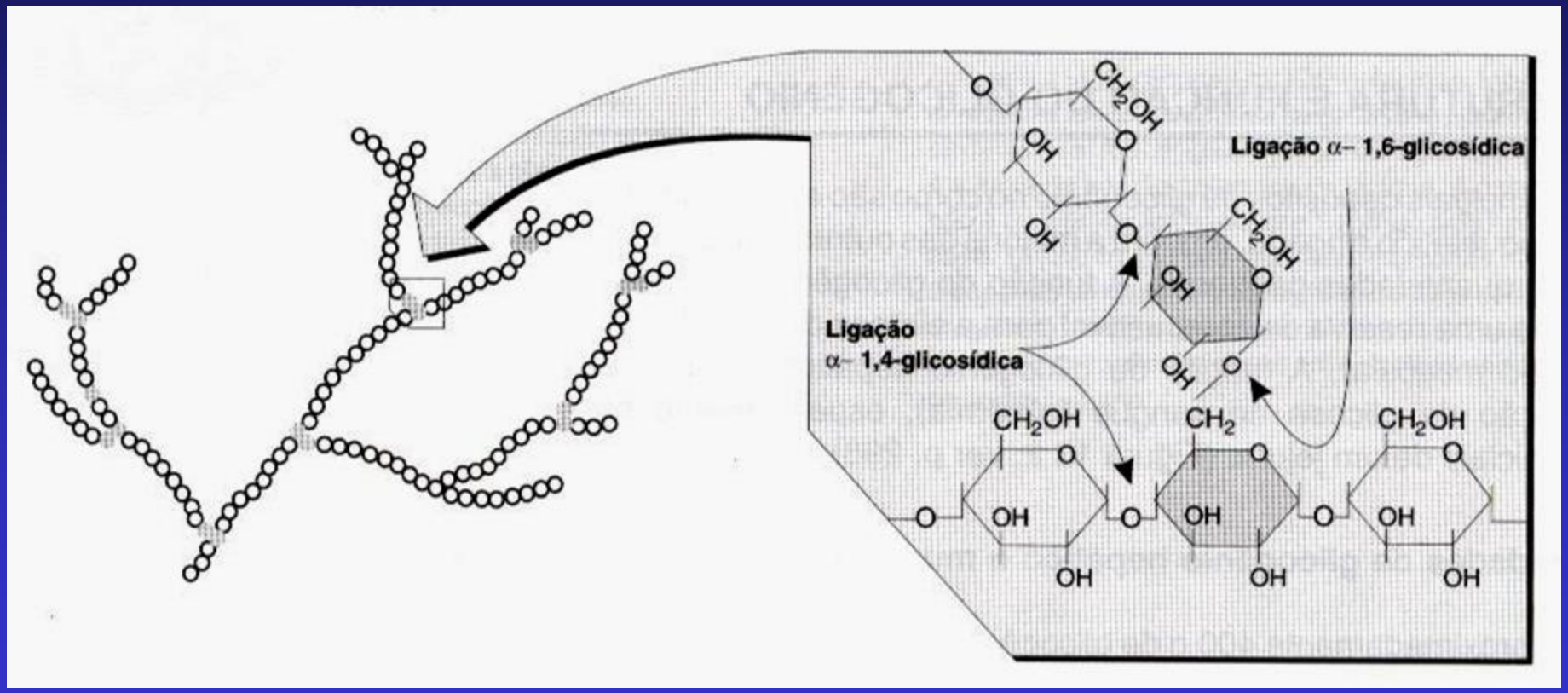


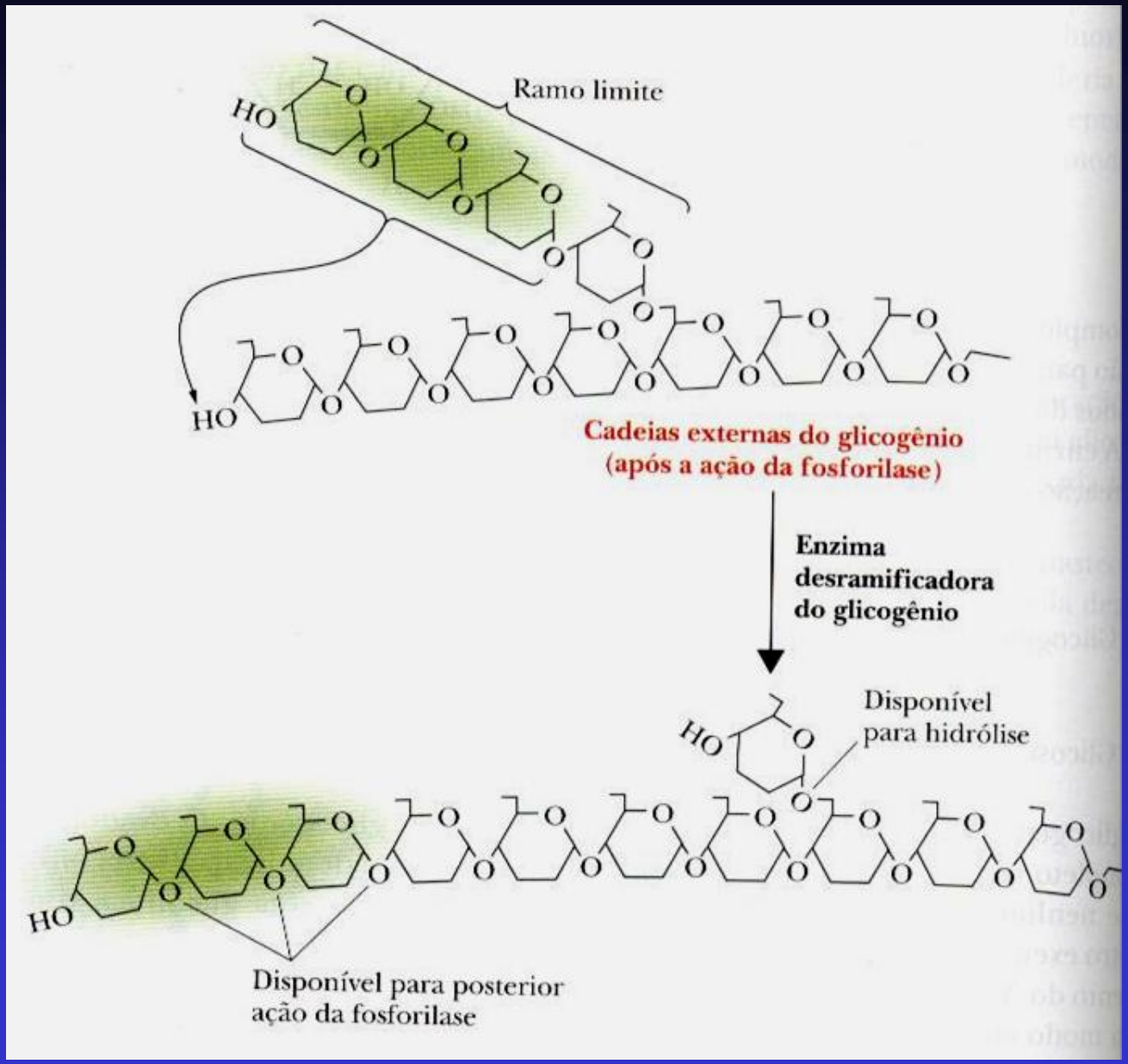
Ativação da fosforilase a

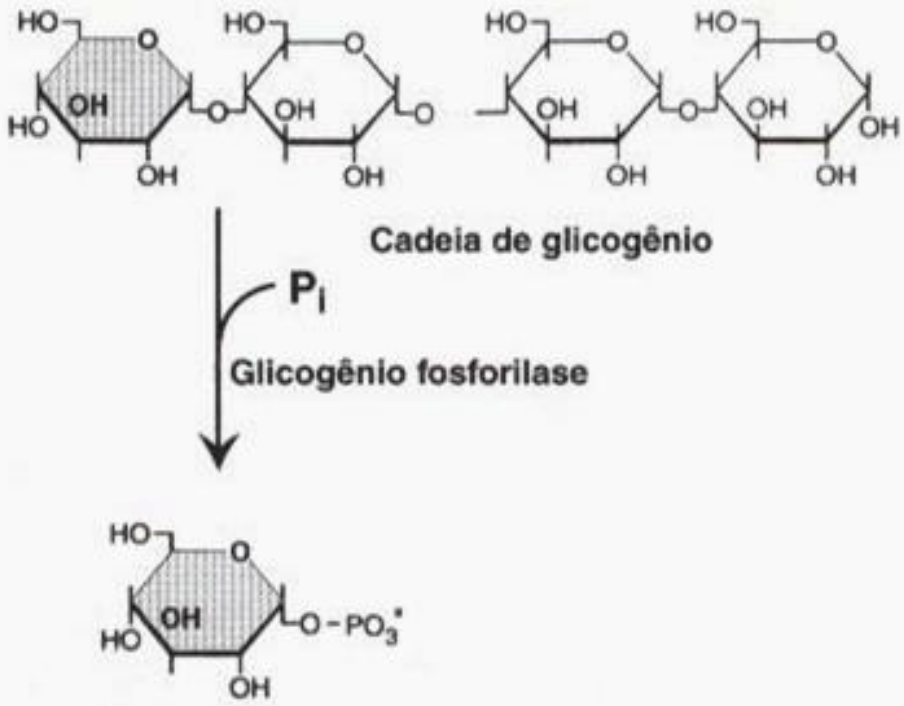


Degradação do Glicogênio

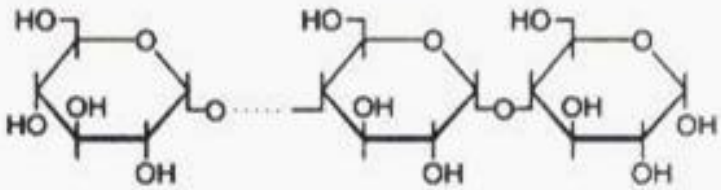
Estrutura ramificada do Glicogênio
(Ligações α-1,4 e α-1,6)




Ramo limite
HO
O
Cadeias externas do glicogênio
(após a ação da fosforilase)
Enzima
desramificadora
do glicogênio
Disponível
para hidrólise
Disponível para posterior
ação da fosforilase


Cadeia de glicogênio
P_i
Glicogênio fosforilase
Glicose 1-P

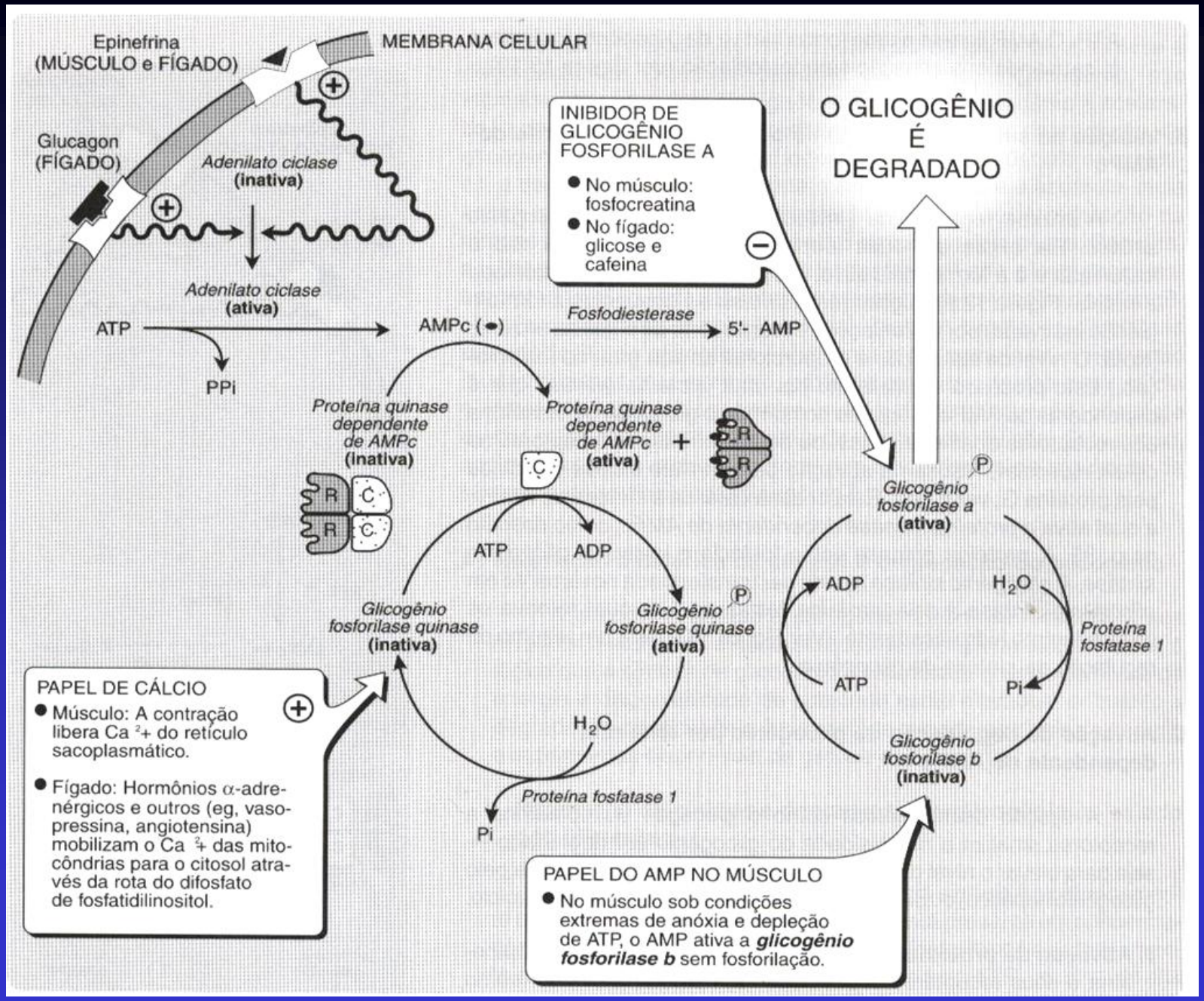
+


Glicogênio remanescente

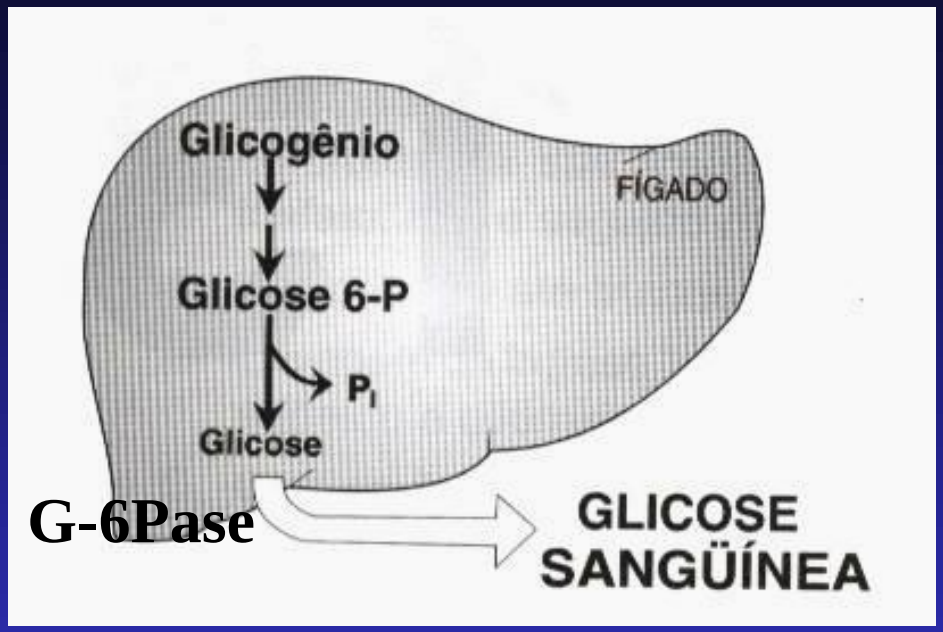
A velocidade de degradação do Glicogênio é controlada por mecanismos:

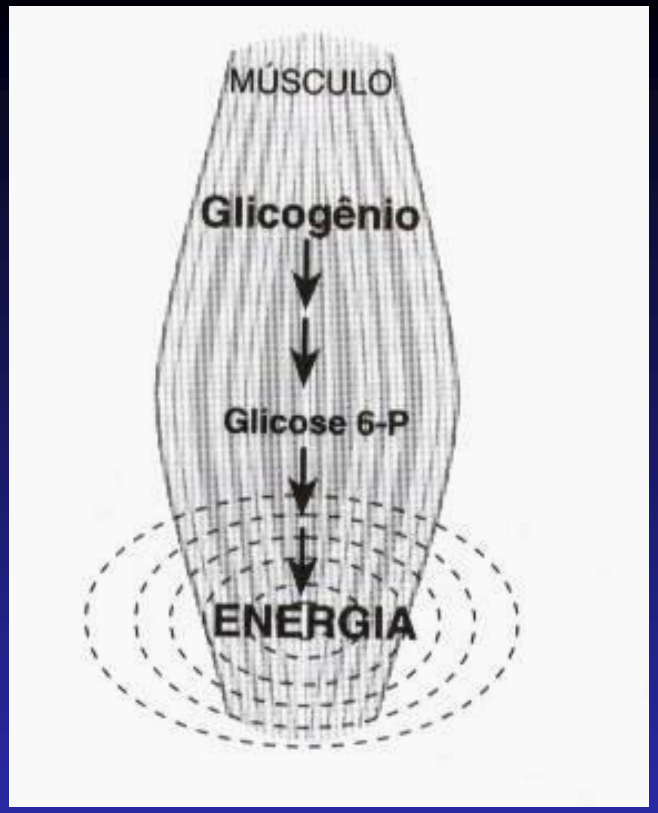
- Hormonal

- Contração Muscular (Ca^{2+}).


Epinefrina
(MÚSCULO e FÍGADO)
MEMBRANA CELULAR
Glucagon
(FÍGADO)
Adenilato ciclase
(inativa)
Adenilato ciclase
(ativa)
ATP
PPi
AMPc
Fosfodiesterase
5'- AMP
INIBIDOR DE GLICOGÊNIO FOSFORILASE A
No músculo: fosfocreatina
No fígado: glicose e cafeina
O GLICOGÊNIO É DEGRADADO
Proteína quinase dependente de AMPc (inativa)
Proteína quinase dependente de AMPc (ativa)
R
C
ATP
ADP
Glicogênio fosforilase quinase (inativa)
Glicogênio fosforilase quinase (ativa)
P
H2O
Proteína fosfatase 1
Pi
Glicogênio fosforilase a (ativa)
ADP
H2O
Proteína fosfatase 1
ATP
Pi
Glicogênio fosforilase b (inativa)
PAPEL DE CÁLCIO
Músculo: A contração libera Ca 2+ do retículo sacoplasmático.
Fígado: Hormônios α-adrenérgicos e outros (eg, vasopressina, angiotensina) mobilizam o Ca 2+ das mitocôndrias para o citosol através da rota do difosfato de fosfatidilinositol.
PAPEL DO AMP NO MÚSCULO
No músculo sob condições extremas de anóxia e depleção de ATP, o AMP ativa a glicogênio fosforilase b sem fosforilação.

Glicogenólise





Glicose para os tecidos

Glicose para o músculo
Não tem G-6-Pase

<u>Repouso</u>: 75% vem do fígado,
25% gliconeogênese

<u>Exercício</u>: glicose p/ músculo
intermediários p/ gliconeogênese
hepática (lactato)

<u>Repouso</u>: consome 15-20% da glicose circulante

<u>Exercício</u>: (50-60% VO_2 max), consome 80-85% glicose circulante

GLICOSE

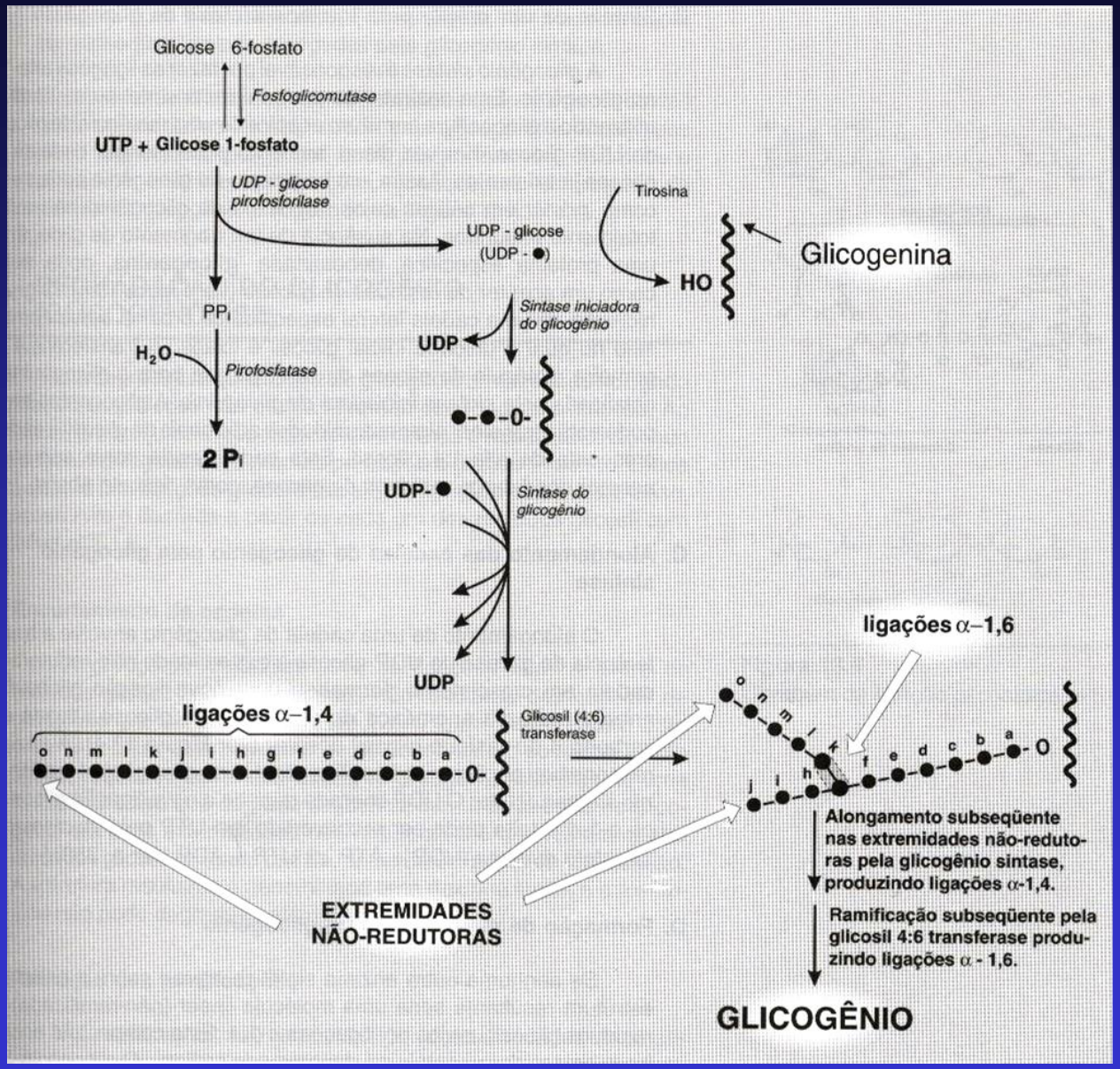
↓ *hexoquinase*

G-6-P

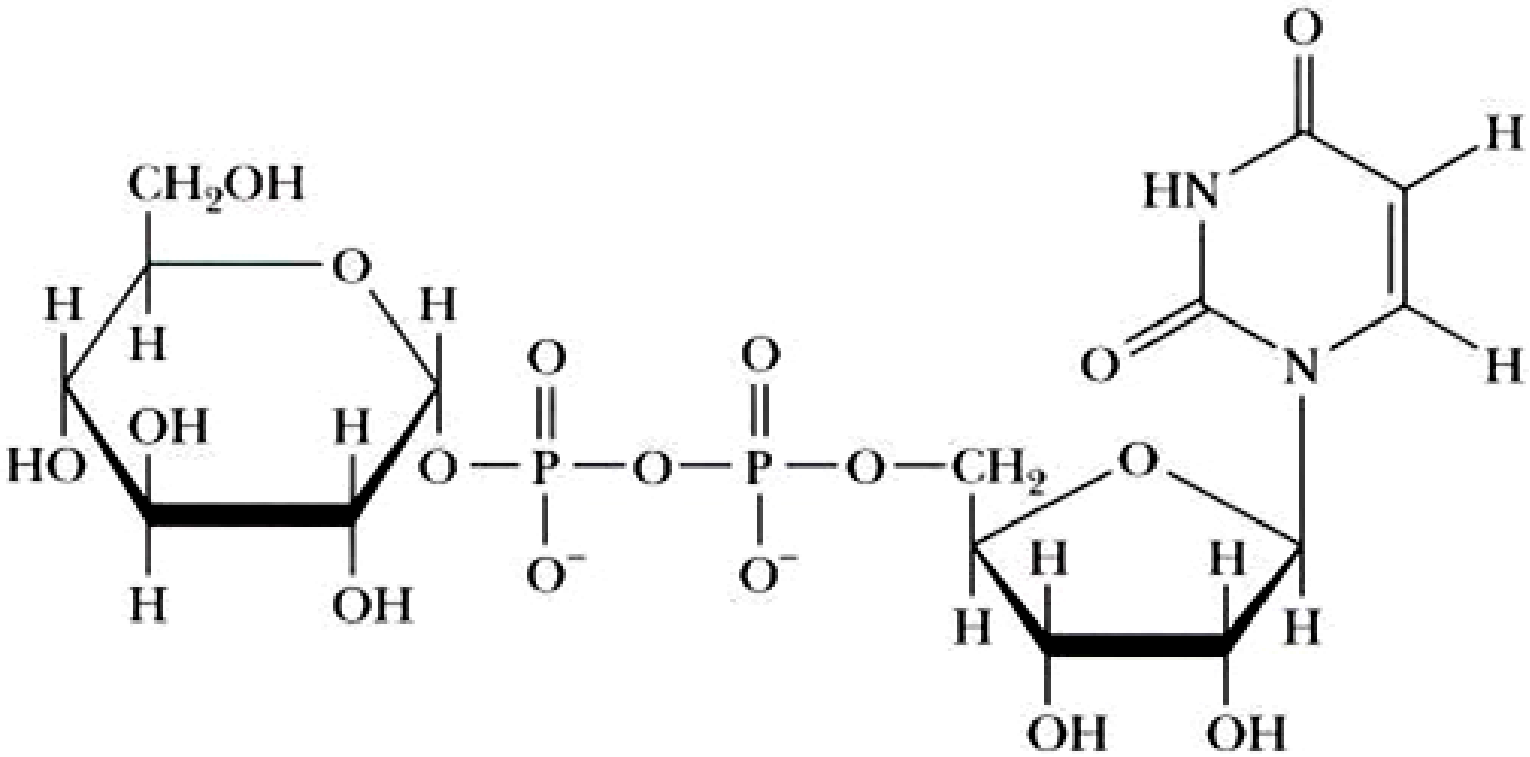
<u>Exercício (baixa e moderada)</u>:
GLICOSE MUSCULAR **N**

<u>Exercício (alta intensidade):</u>
GLICOSE MUSCULAR ↑
- devido a incapacidade de -P a glicose ou metabolizá-la.
Porque?
- aumenta conc G-6-P produzida a partir da glicogenólise
- G-6-P é um potente inibidor da hexoquinase
- outro fator: maior capacidade geradora de ATP da glicose proveniente do glicogênio do que a captada do plasma

Síntese do Glicogênio

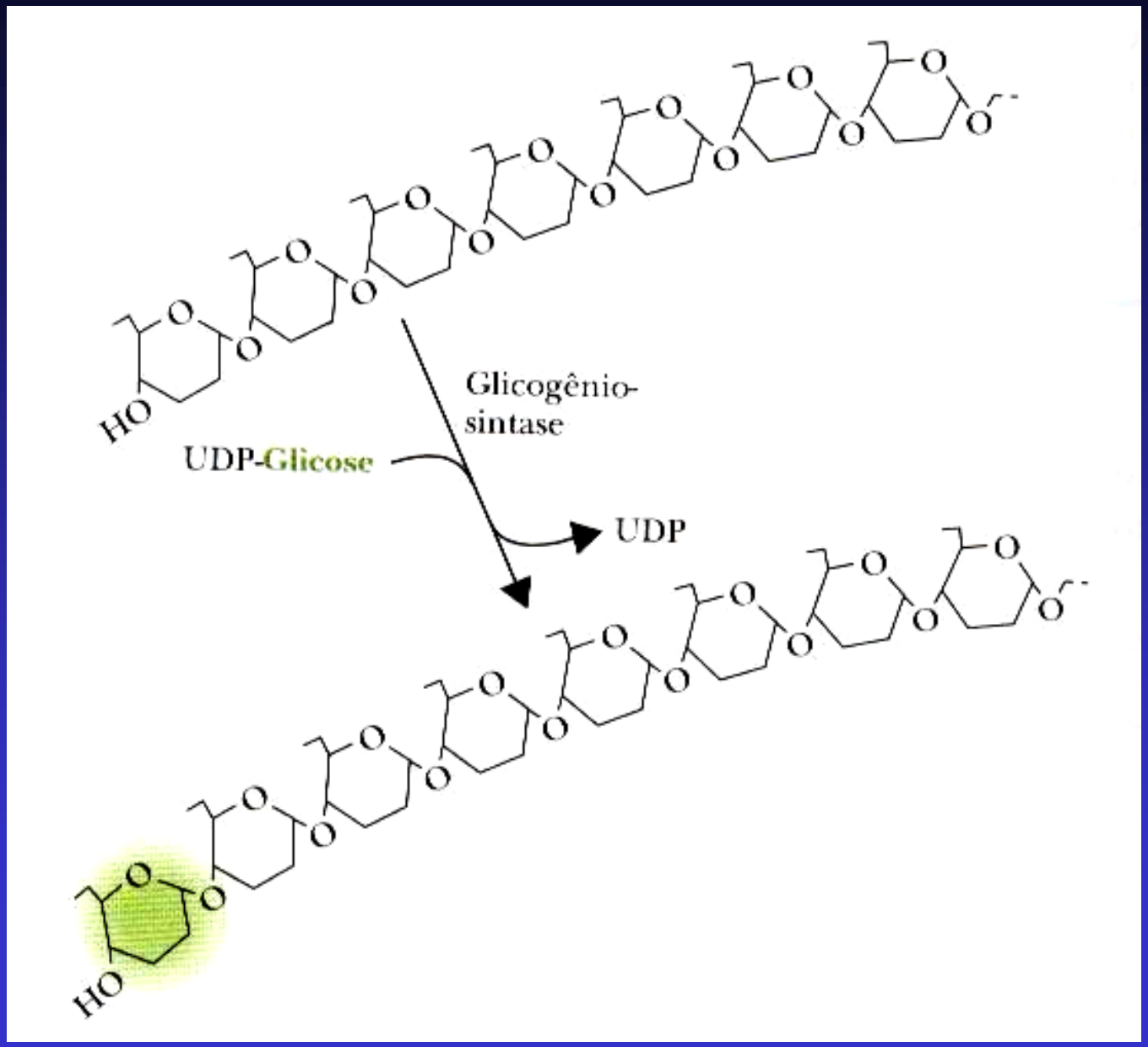


UDPGlicose

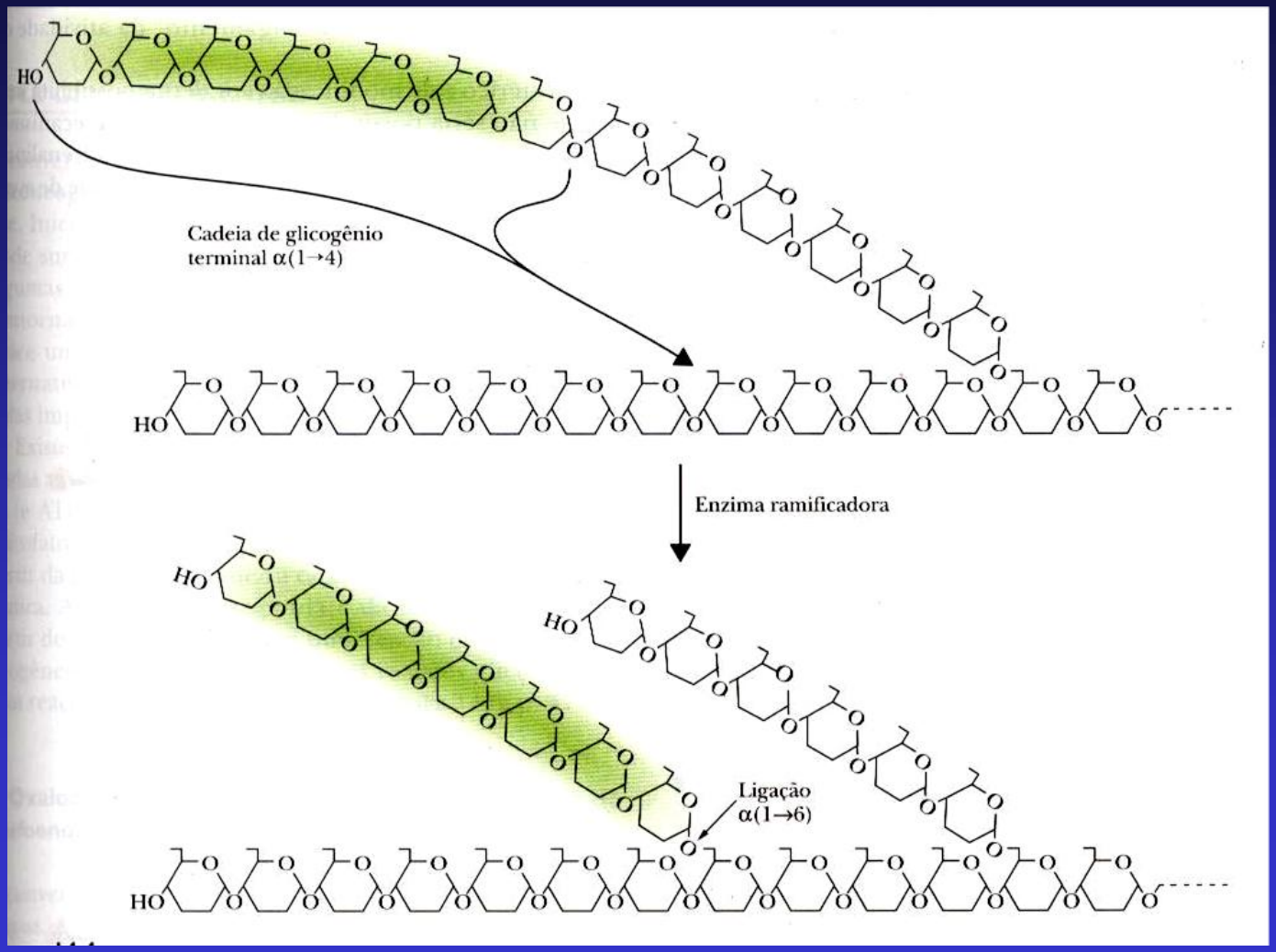


Difosfato de uridina glicose
(UDPG)

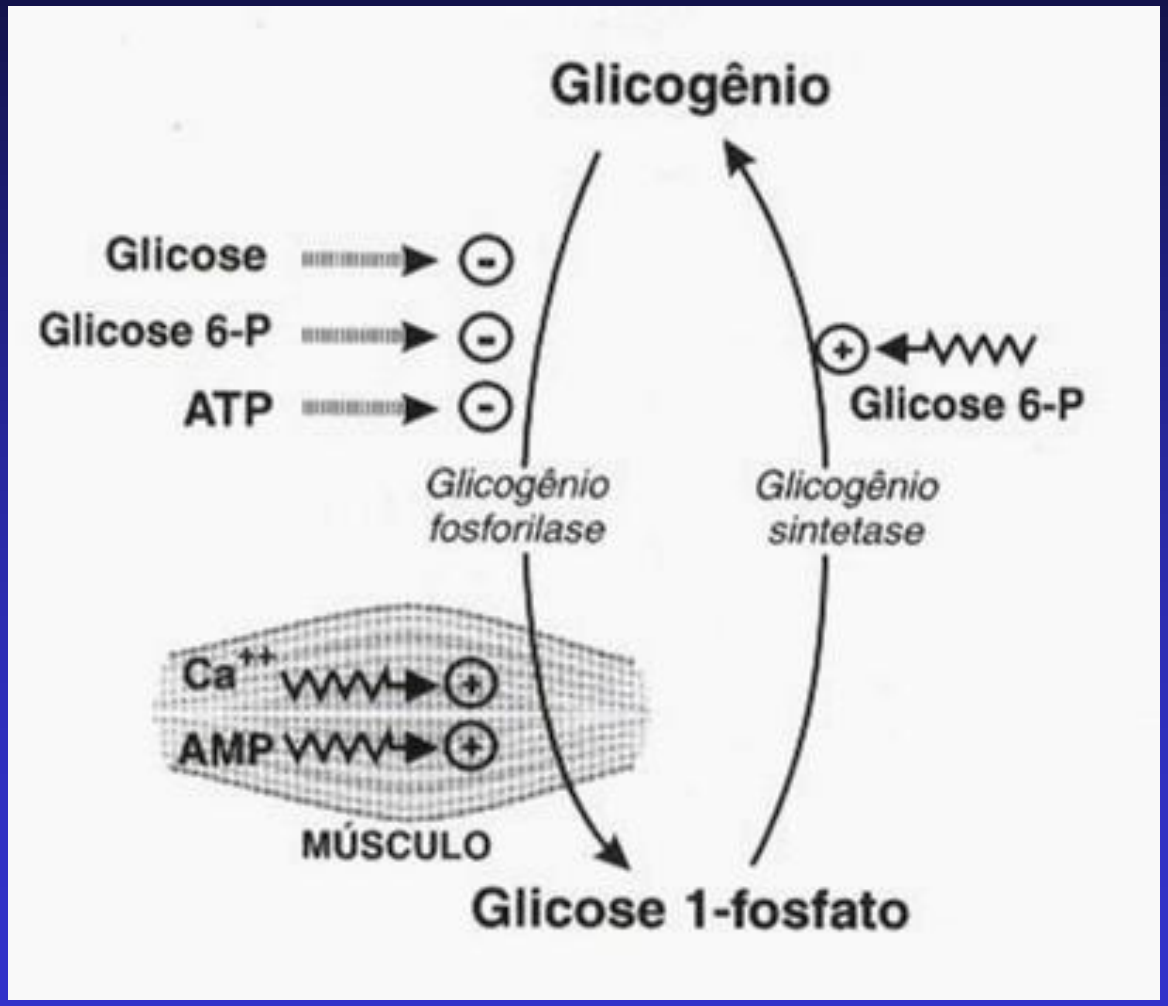
Reação catalisada pela glicogênio sintase



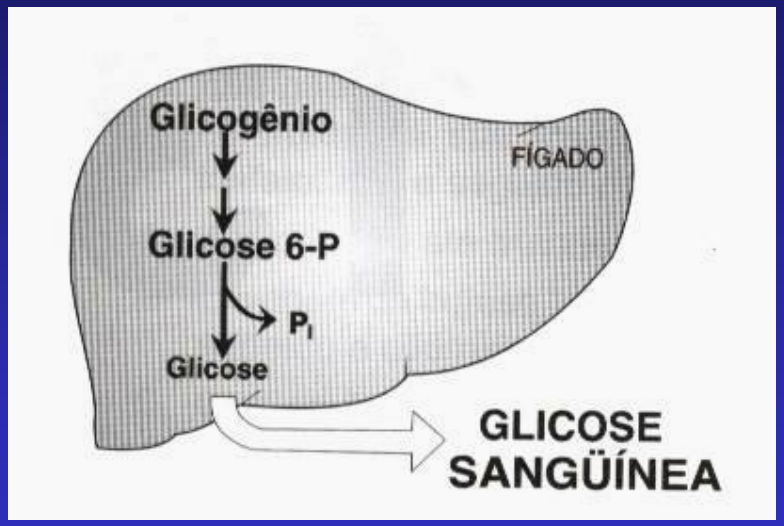
Ramificação do glicogênio

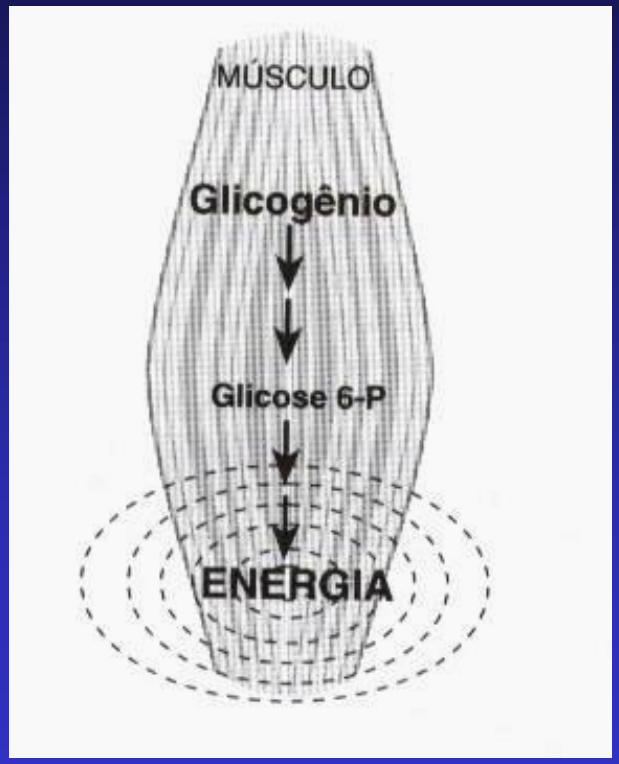


Regulação alostérica da Síntese e Degradação do Glicogênio



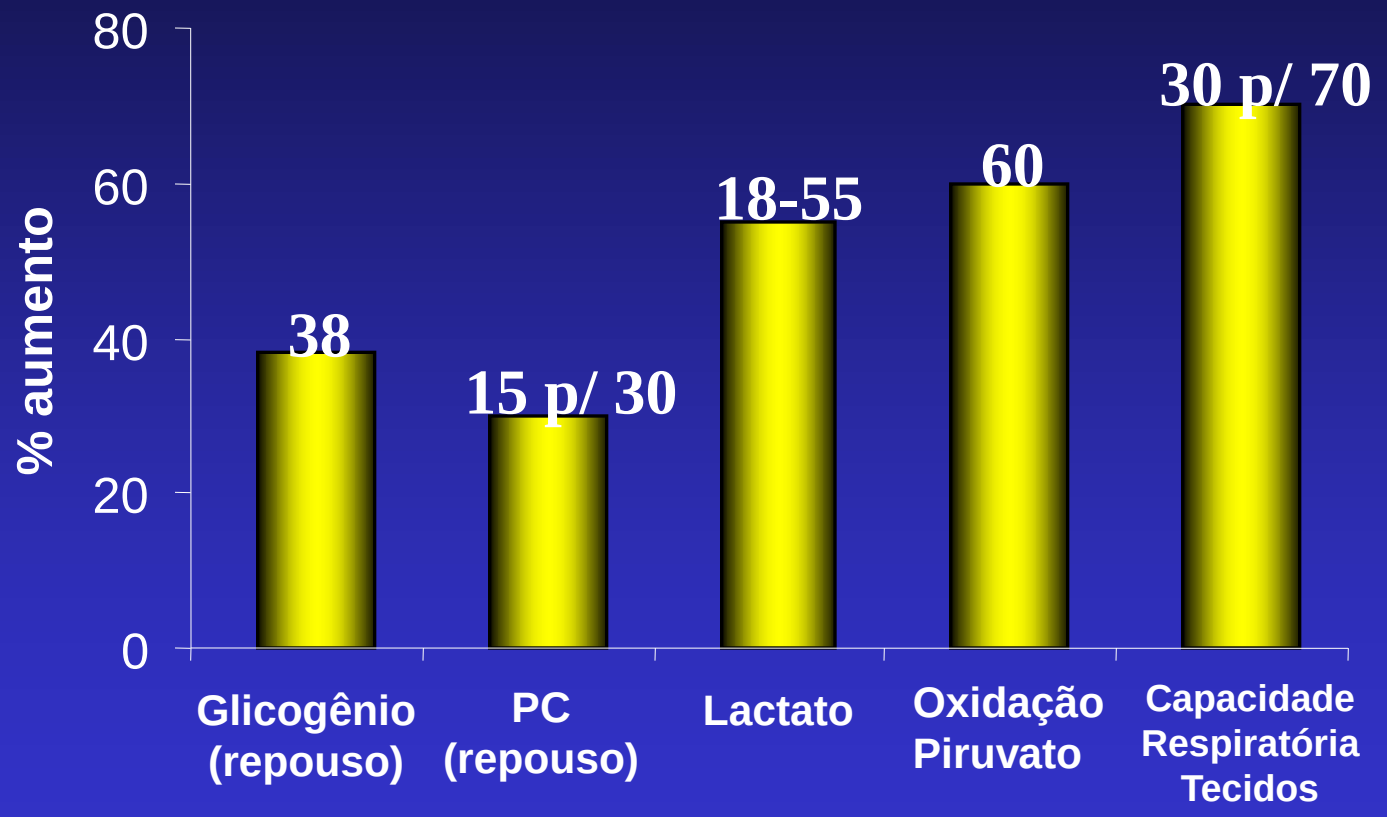
UTILIZAÇÃO DA GLICOSE SANGUÍNEA





Treinamento físico de alta intensidade e potência máxima

A capacidade máxima de utilizar substratos específicos aumenta muito

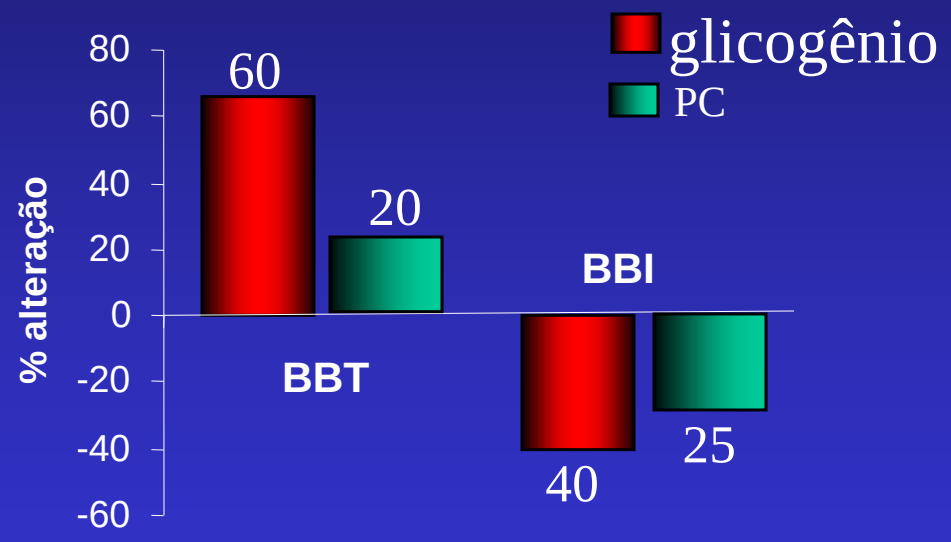


Yakovlev et al., 1975

TREINAMENTO DE RESISTÊNCIA PESADA

9 homens: treinamento força do bíceps braquial (BBT): 5 sem
braço oposto foi imobilizado (BBI): 5 sem

Conteúdo de Glicogênio e PC



↑18% estoques de ATP

↑ 39% conteúdo creatina

↑ 23% pool de adenosina intracelular (calculado)

MacDougall et al., 1977

CONCLUSÕES:

ADAPTAÇÕES BIOQUÍMICAS QUE OCORREM NO MÚSCULO ESQUELÉTICOS APÓS UM PERÍODO DE TREINAMENTO CRÔNICO DE ALTA INTENSIDADE:

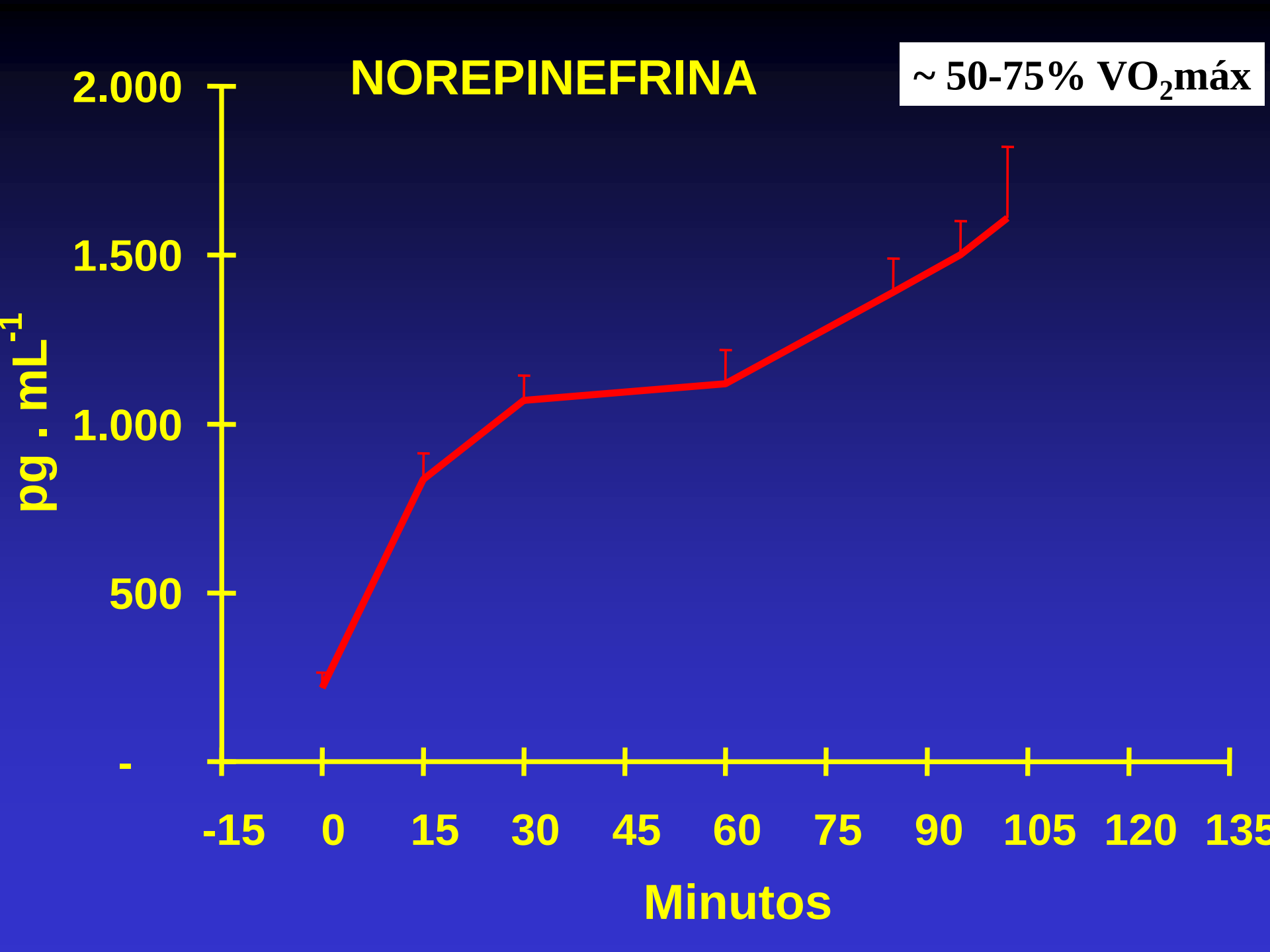
-TF próximo a potência máxima aumenta a capacidade do músculo treinado para produzir energia anaeróbia.

- Enzimas regulatórias das vias ATP-CP e glicolítica podem ↑ sua atividade máxima com TF de potência máxima. Principalmente: ATPase miosínica, MK, LDH, PFK e fosforilase a.

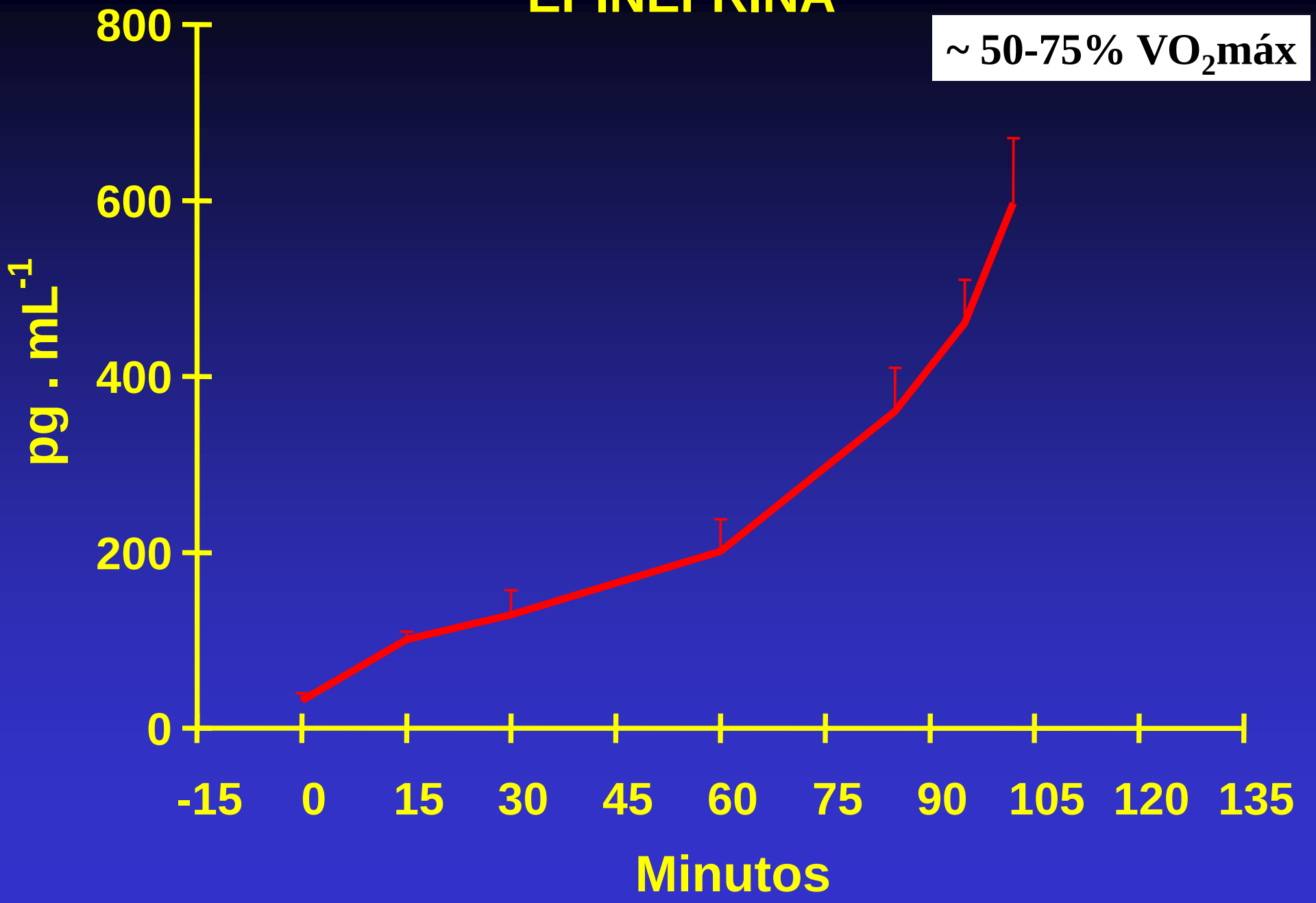
- ↑ ESTOQUE no músculo em repouso: ATP-CP, creatina e glicogênio.

Pelo menos 5 processos fisiológicos favorecem a ressíntese de glicogênio muscular sobre a do hepático após o exercício sub-máximo:

1. Absorção intestinal da glicose aumentada.
2. Músculo é mais sensível a insulina.
3. O baixo Km da HK em relação a GlicoK favorece a captação de glicose dependente ou independente da insulina e a síntese de glicogênio muscular.
4. A gliconeogênese é menos sensível que a glicogenólise para as ações inibitórias da insulina.
5. Altas conc plasmáticas de glucagon e catecolaminas são mantidas e estimulam a gliconeogênese hepática e glicogenólise e liberação de lactato provenientes do músculo em repouso.


NOREPINEFRINA
~ 50-75% VO2máx
2.000
1.500
1.000
500
-
pg . mL-1
-15
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
Minutos

EPINEFRINA

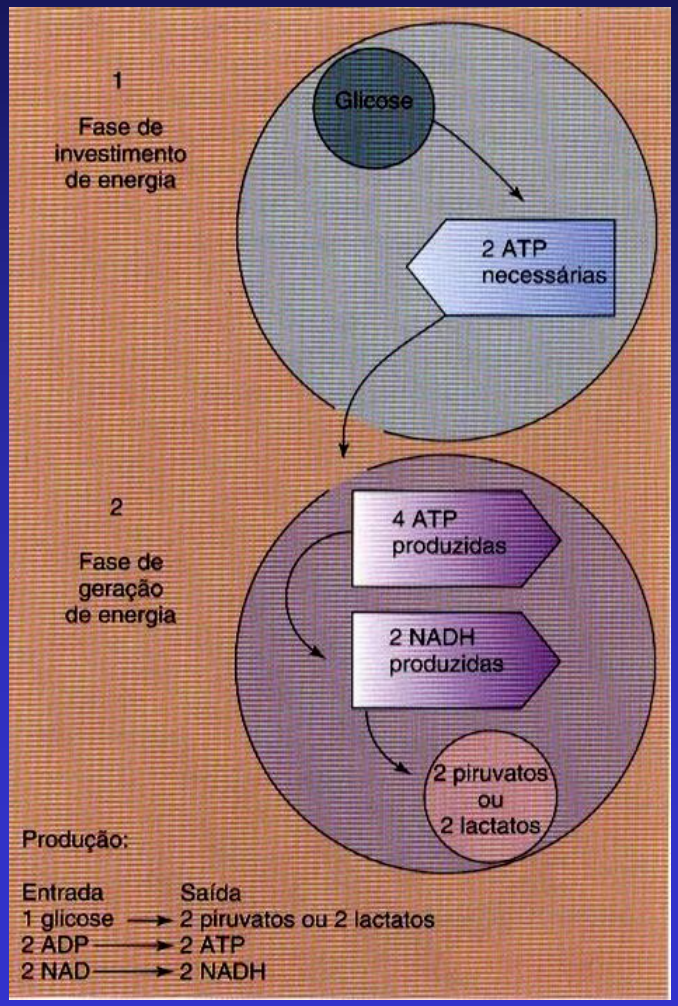

~ 50-75% VO2máx
800
600
400
200
0
pg . mL-1
-15
0
15
30
45
60
75
90
105
120
135
Minutos

ADAPTAÇÕES AO EXERCÍCIO INTENSO ACIMA 20-30 seg

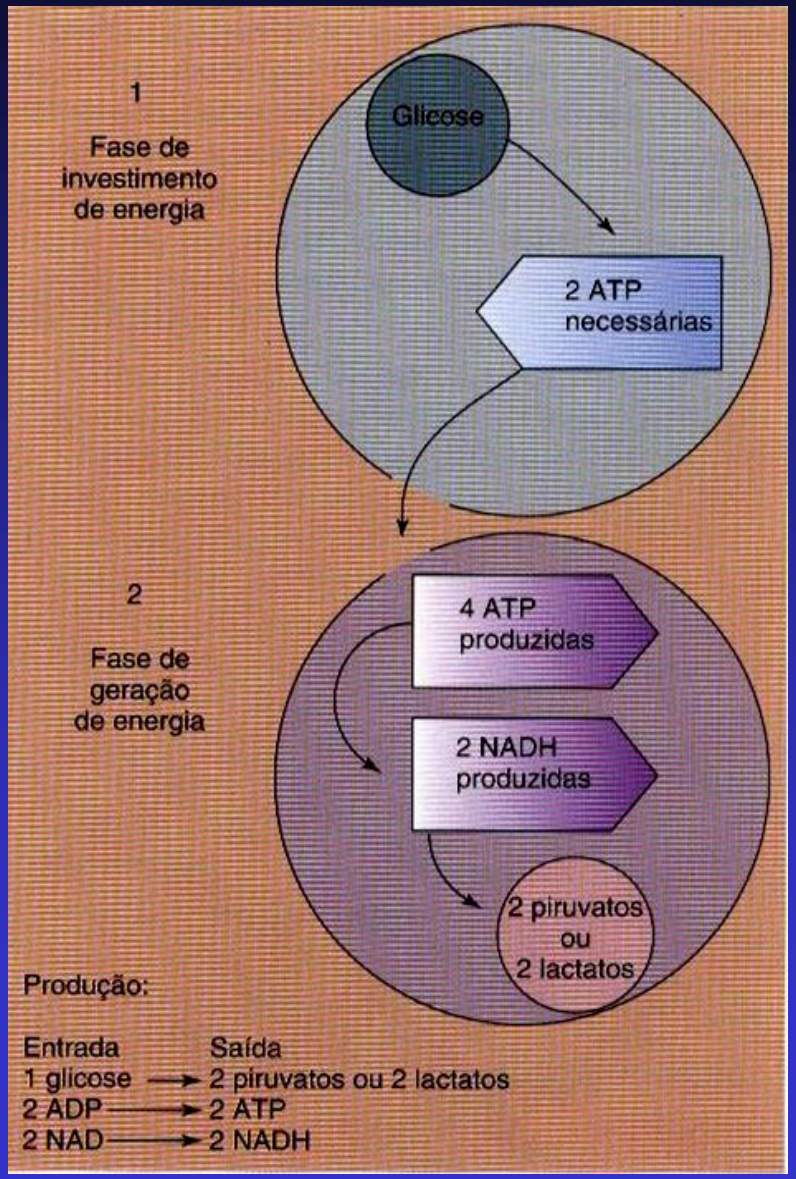
E MENOR 3-4 min.

- Será suportado pela síntese de ATP pela via glicolítica anaeróbia.
- Exercício intenso: que ↑ capacidade da produção de energia pela via glicolítica

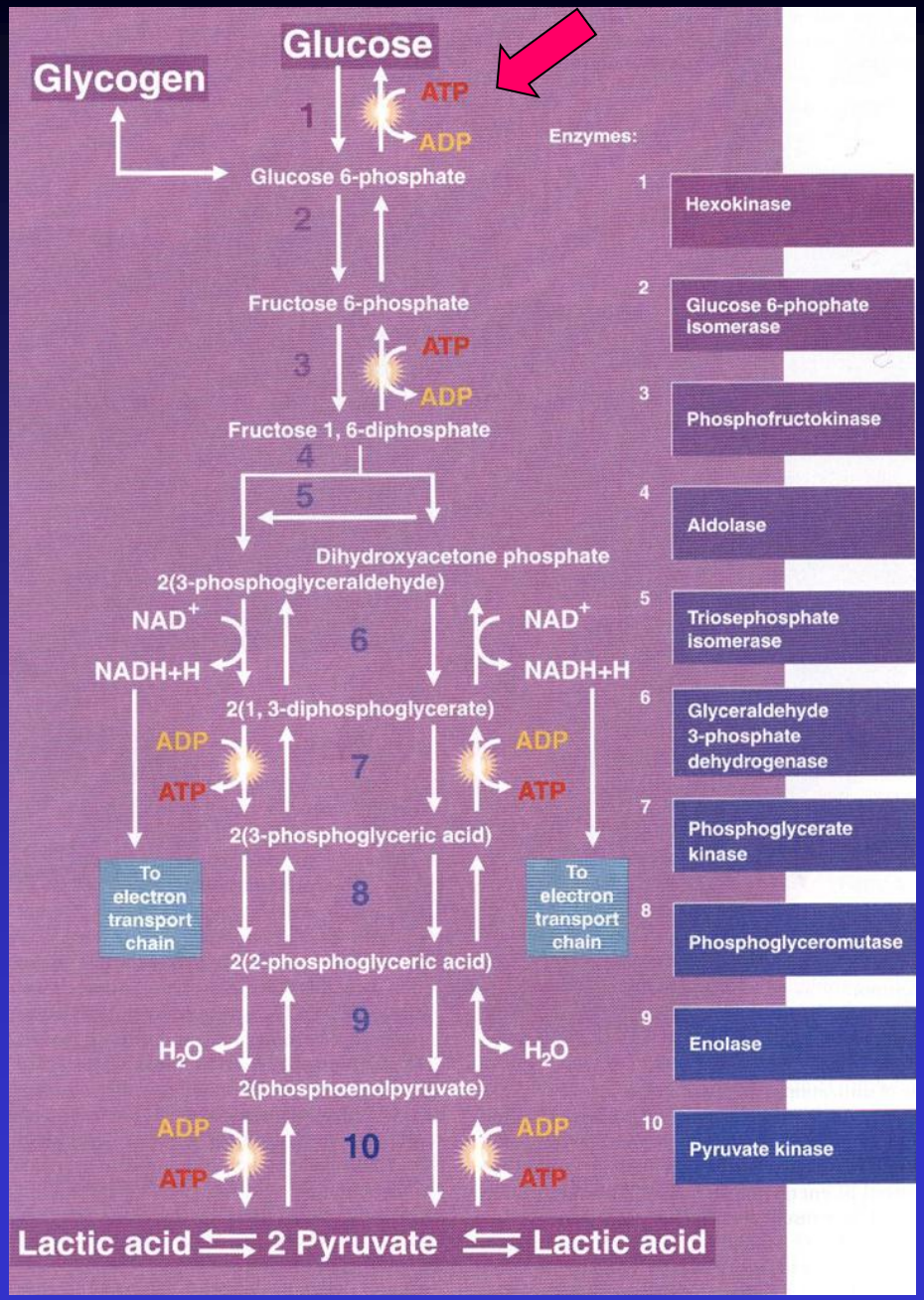
Glicólise



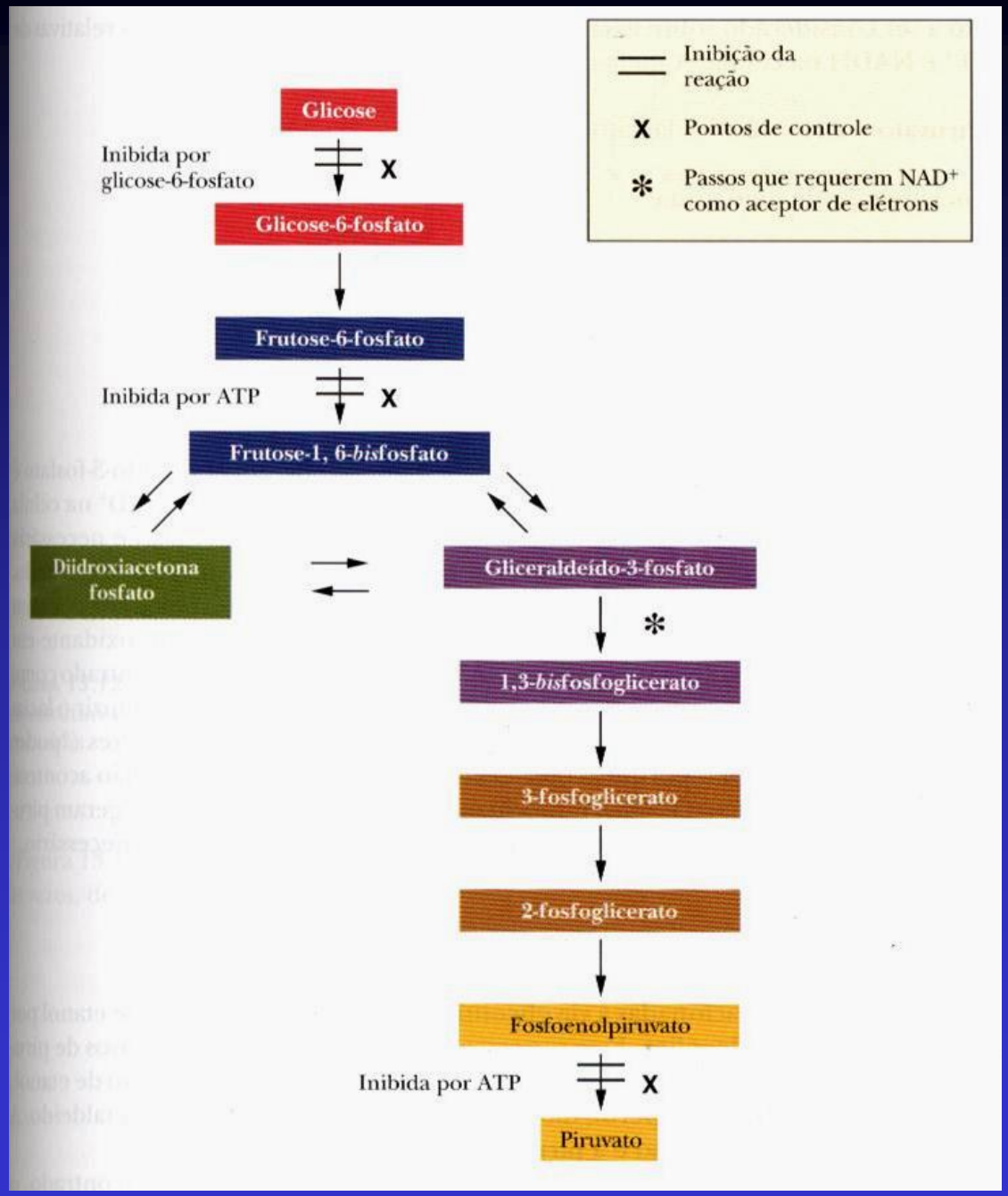
Glicólise


1
Fase de investimento de energia
Glicose
2 ATP necessárias
2
Fase de geração de energia
4 ATP produzidas
2 NADH produzidas
2 piruvatos ou 2 lactatos
Produção:
Entrada
Saída
1 glicose → 2 piruvatos ou 2 lactatos
2 ADP → 2 ATP
2 NAD → 2 NADH

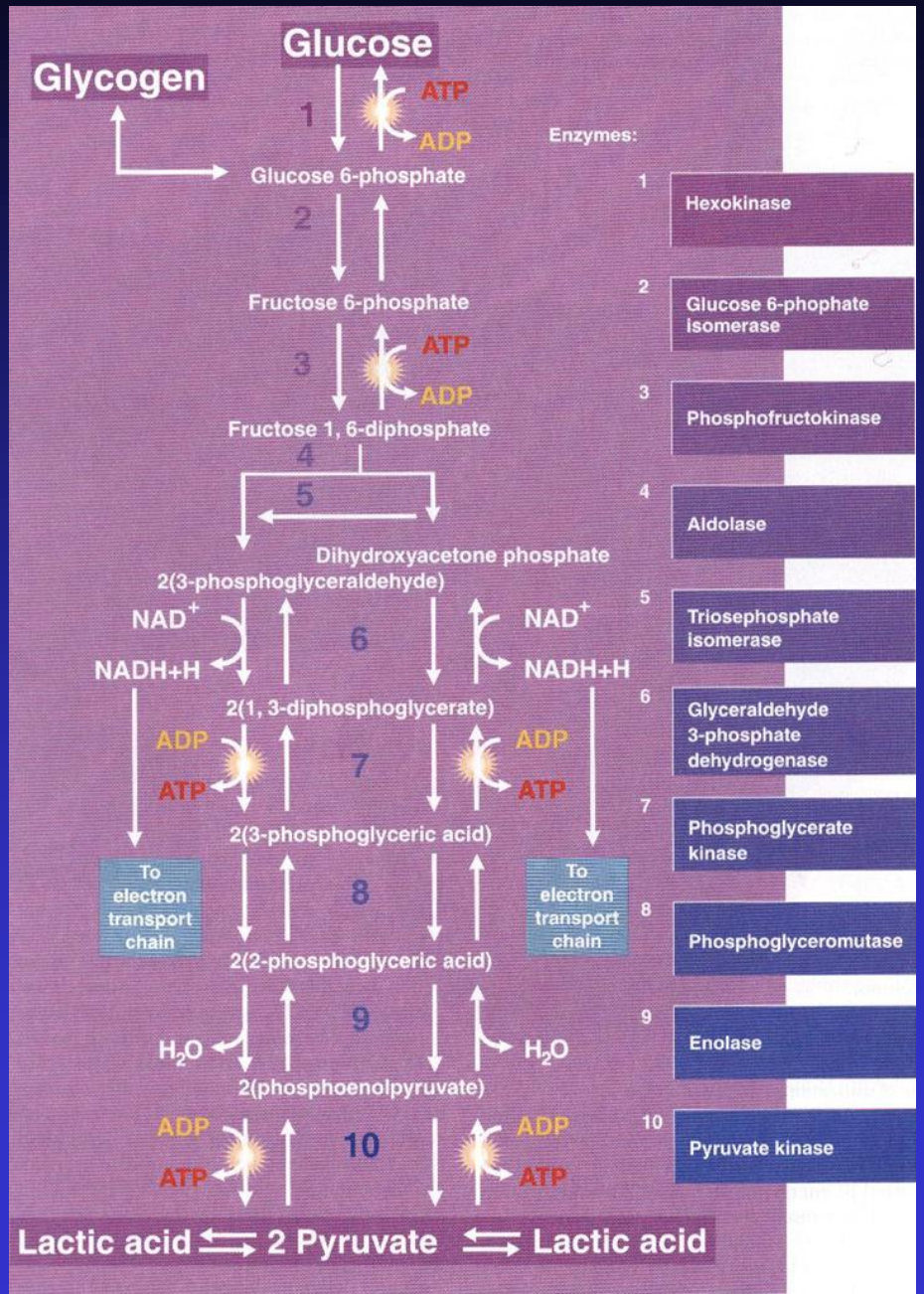
GLICÓLISE



A conversão de glicose a piruvato permite aproveitar menos de 10% da energia total da glicose (47kcal/mol)!!!!! Ficando a maior parte conservada como piruvato (647kcal/mol).


Inibição da reação
X Pontos de controle
* Passos que requerem NAD+ como aceptor de elétrons
Glicose
Inibida por glicose-6-fosfato
X
Glicose-6-fosfato
Frutose-6-fosfato
Inibida por ATP
X
Frutose-1, 6-bisfosfato
Diidroxiacetona fosfato
Gliceraldeído-3-fosfato
*
1,3-bisfosfoglicerato
3-fosfoglicerato
2-fosfoglicerato
Fosfoenolpiruvato
Inibida por ATP
X
Piruvato

Regulação da Glicólise



Hexoquinase:

+ glicose
- G-6-P e ATP

* *PFK-1:*

+ AMP, ADP, Pi, NH_4^+
- ATP e Citrato
+ Frutose 2,6 diP

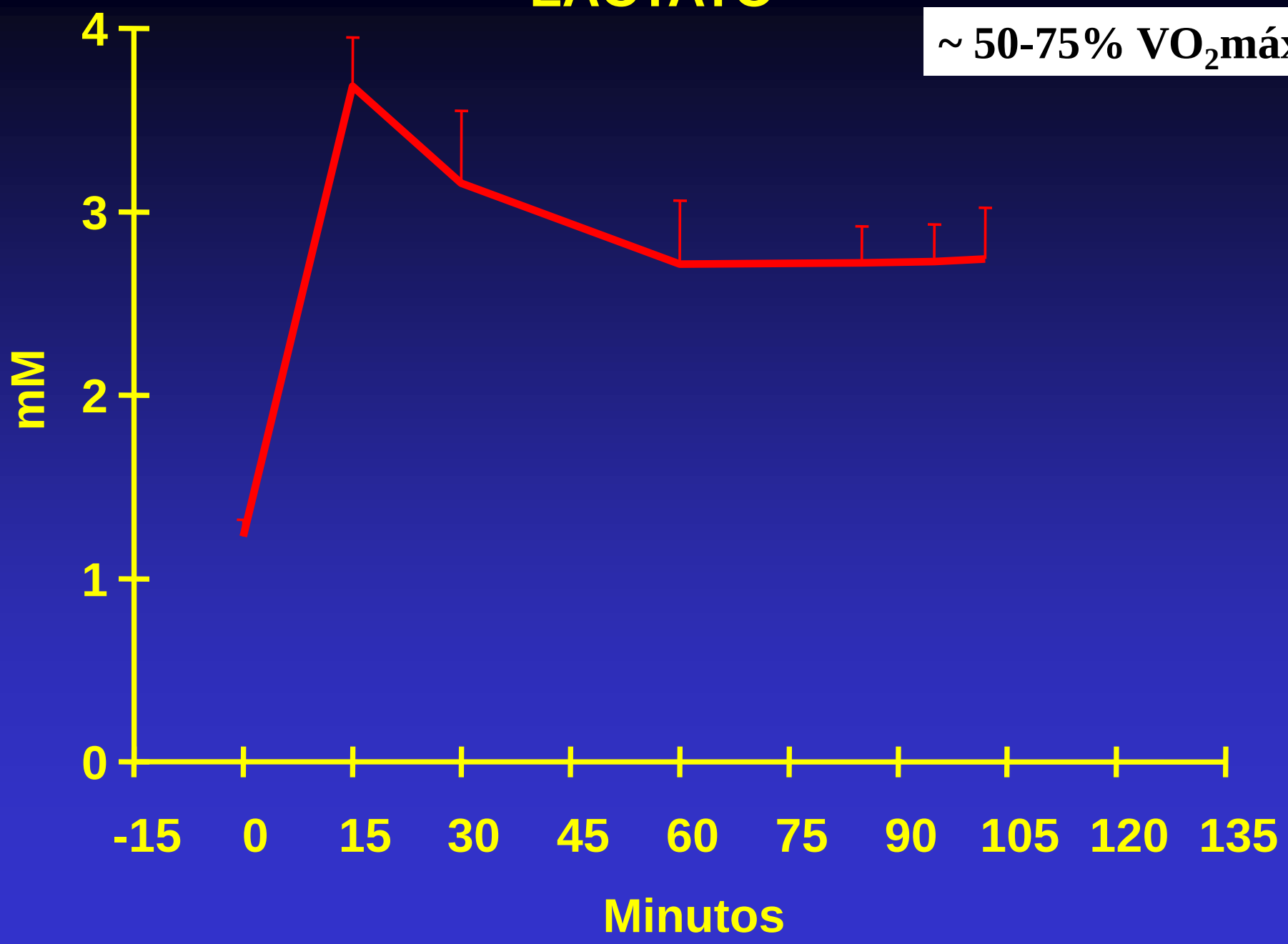
Fosforilação em nível de substrato

PK:

+ Frutose 1,6 di P
- ATP

LDH: - ATP

LACTATO

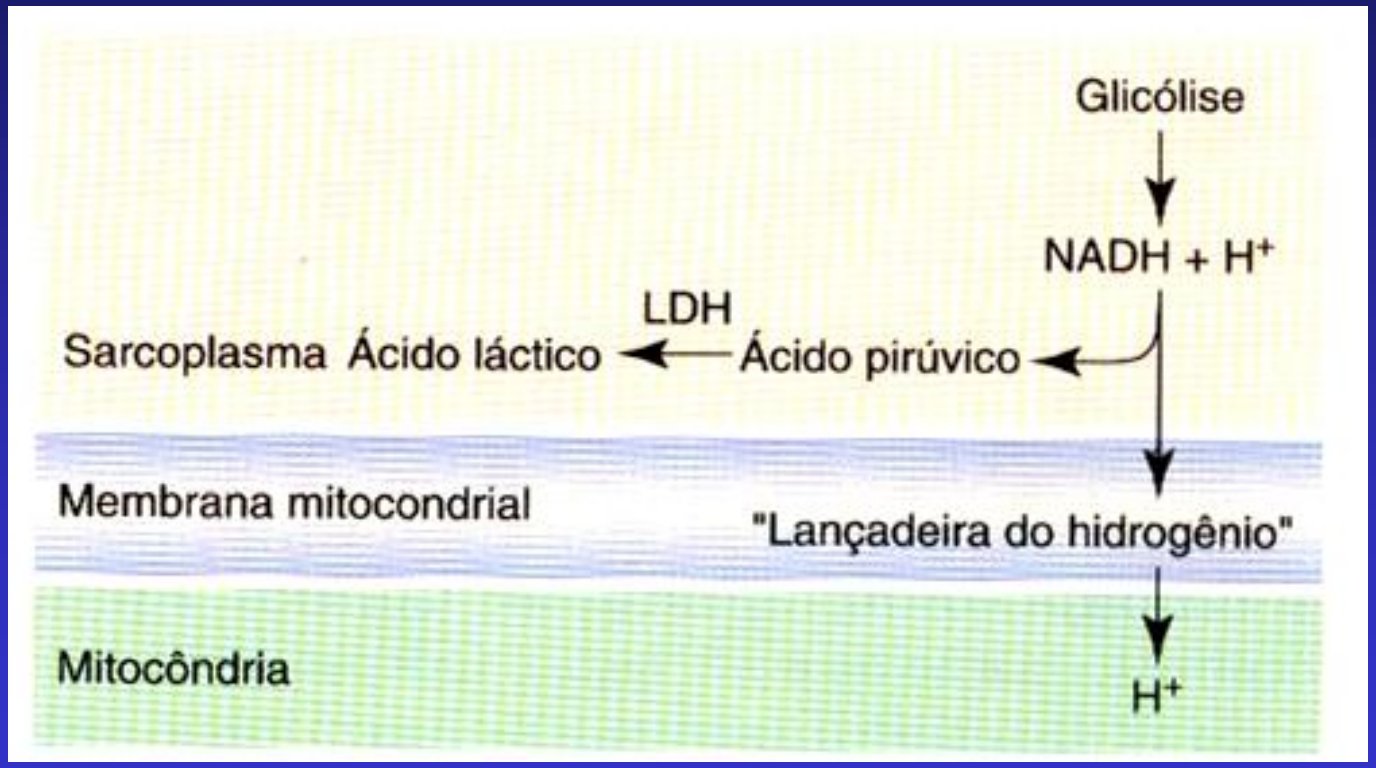


Quais os destinos ?

- NADH + H+

- LACTATO

Destinos dos NADH + H^+



TF ALTA INTENSIDADE
METAB ANAERÓBIO

TF MODERADO
METAB AERÓBIO

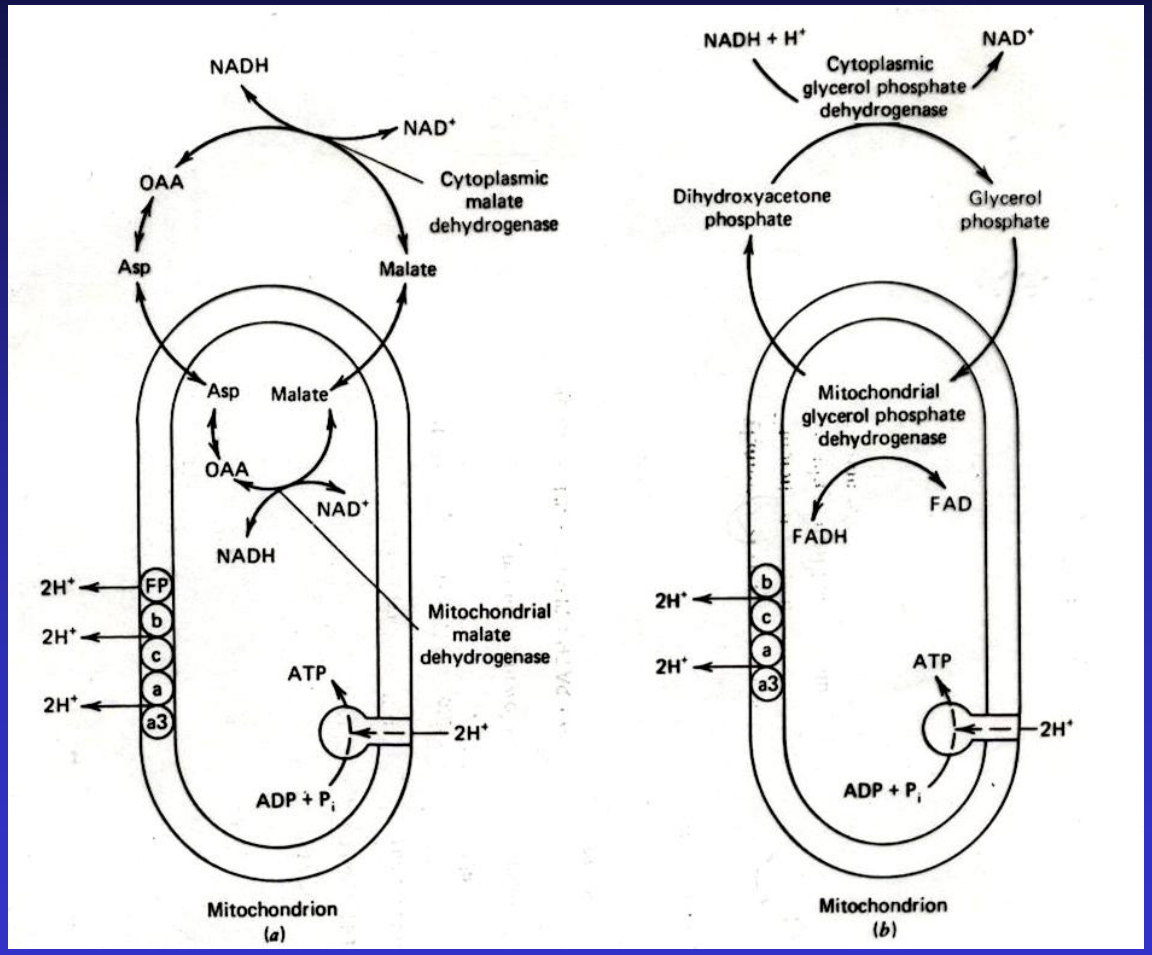
Lançadeiras de elétrons

Malato-Aspartato

Glicerol-Fosfato

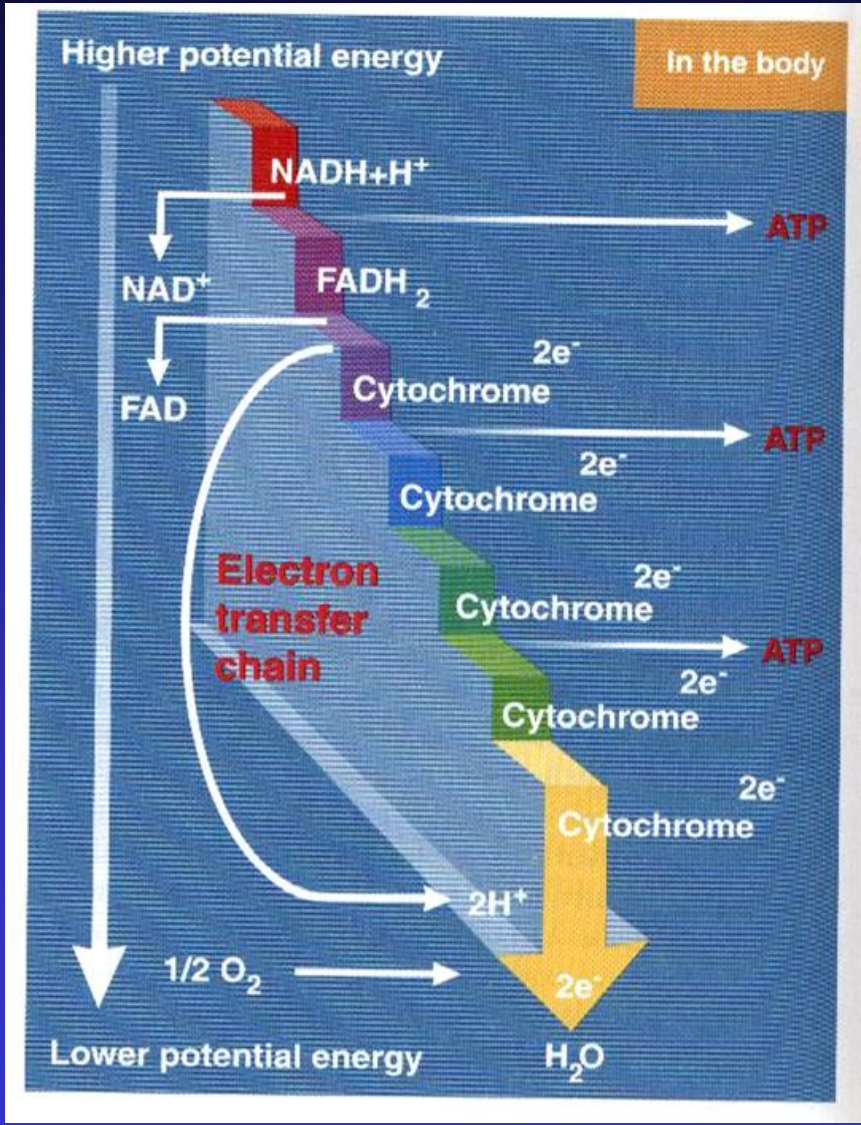
Coração

Fígado

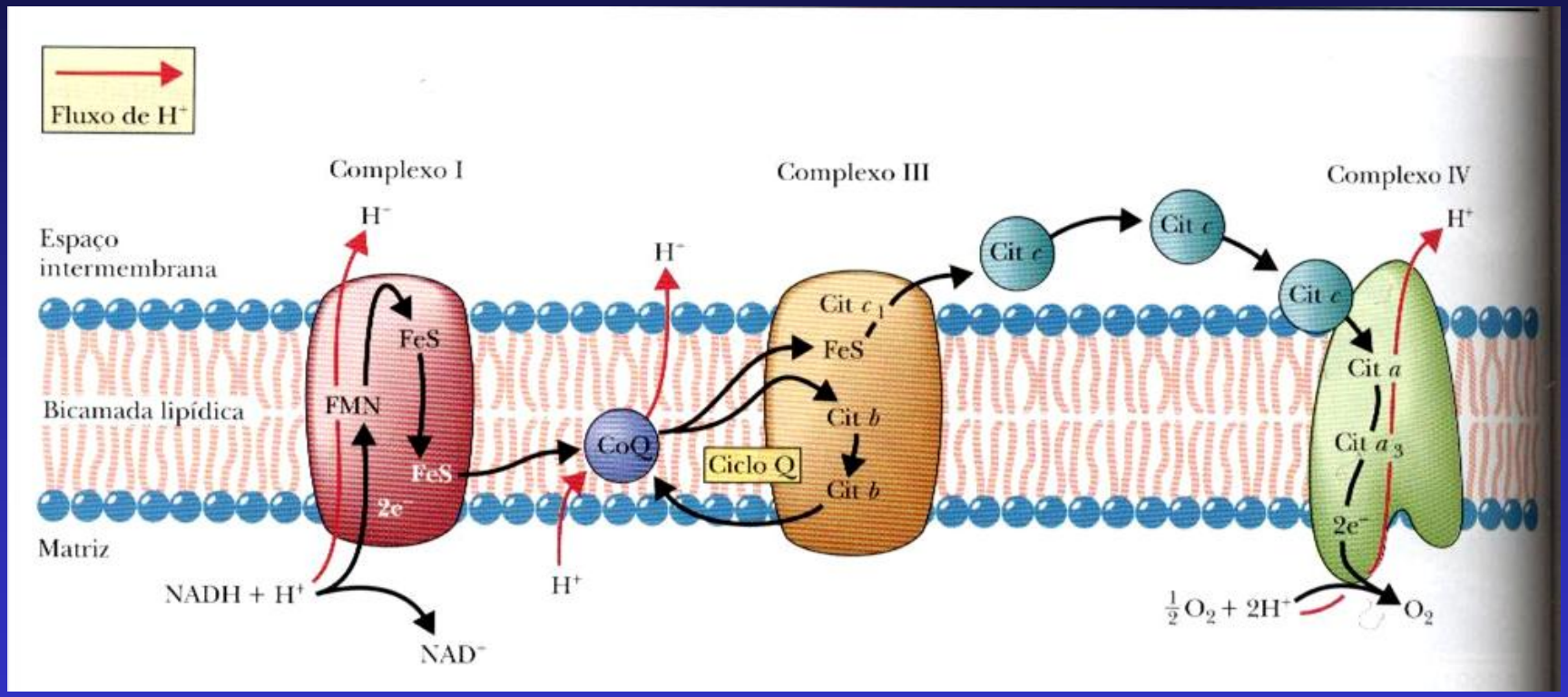


Músculo esquelético

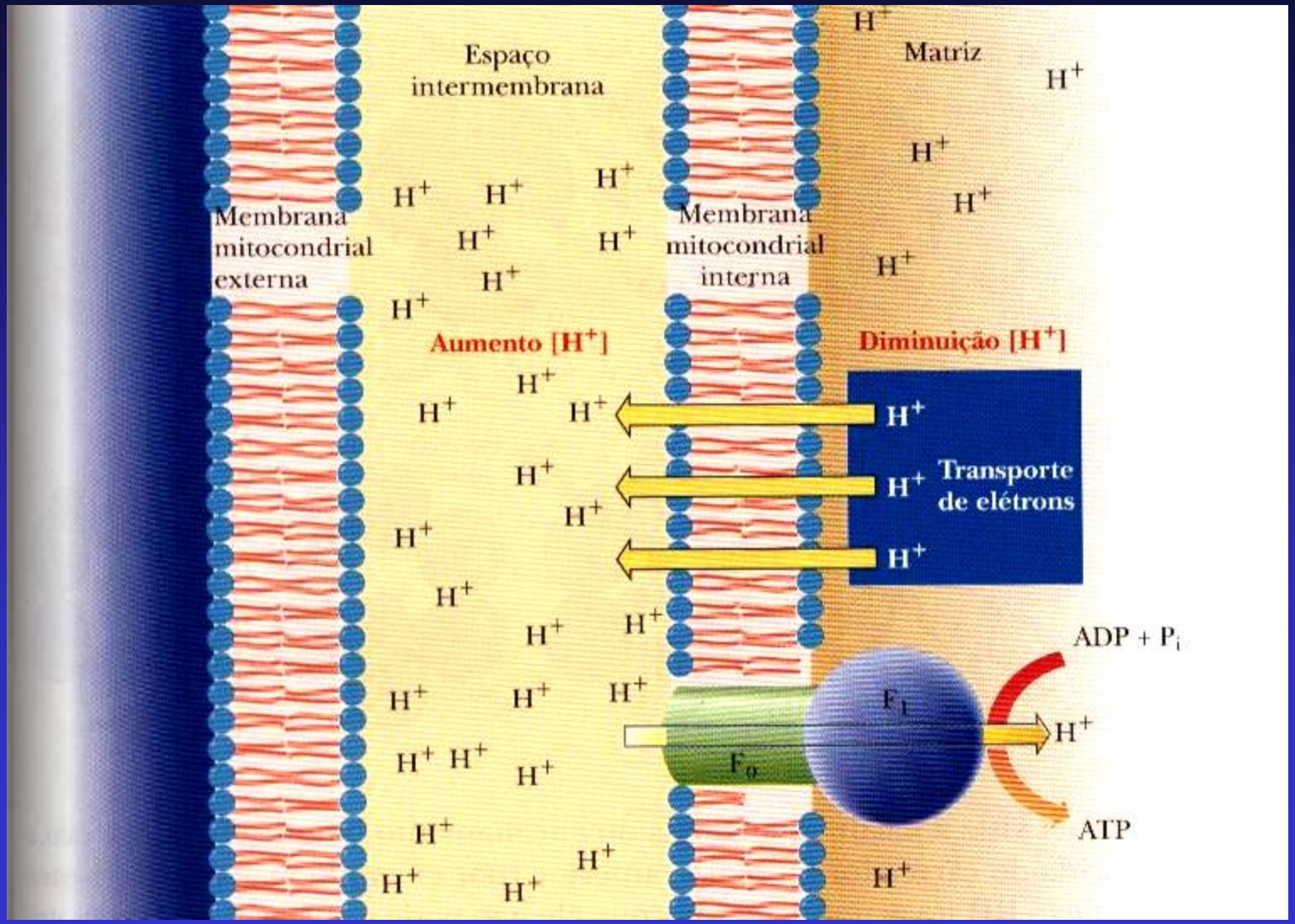
Cadeia de Transporte de Elétrons



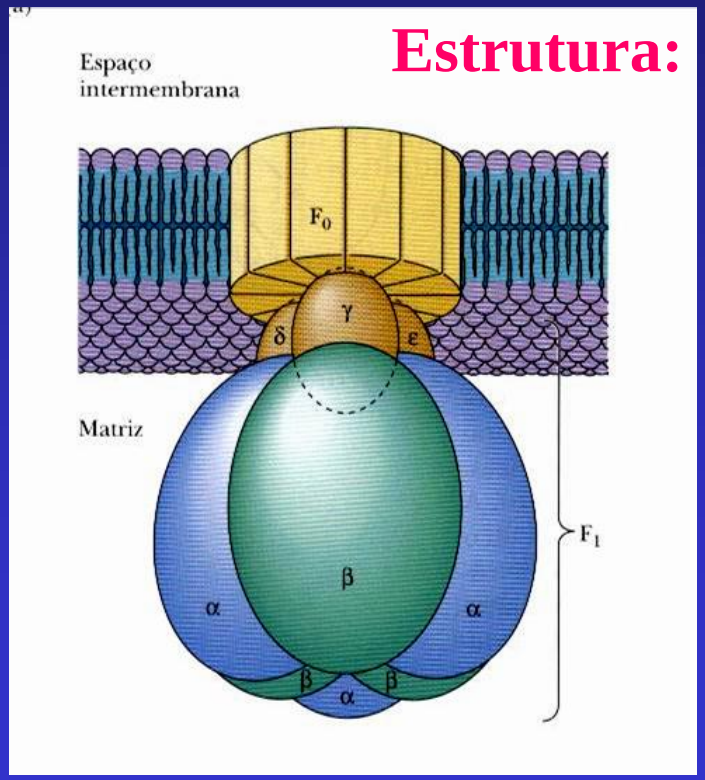
Cadeia de Transporte de Elétrons



FOSFORILAÇÃO OXIDATIVA



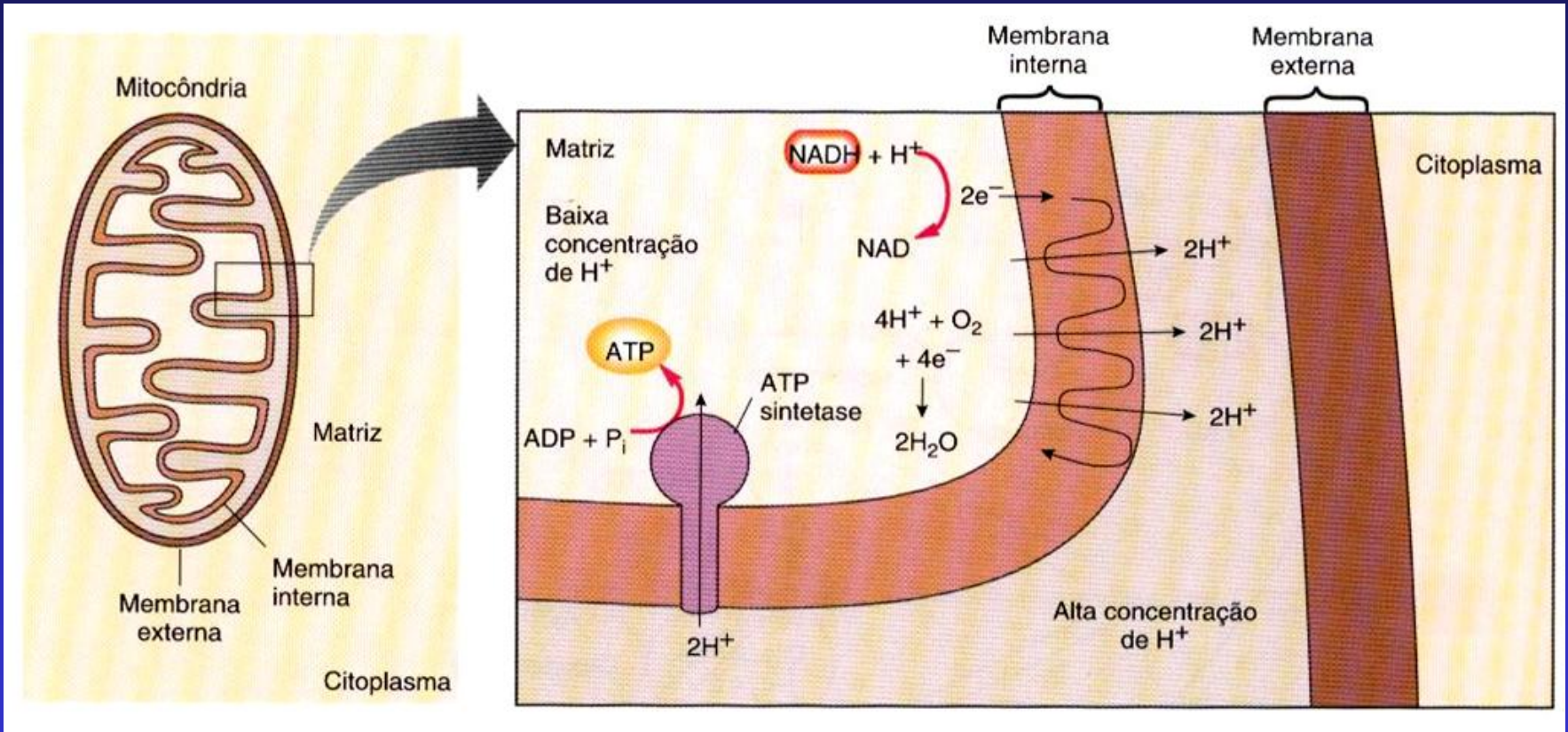
F_0-F_1 - ATPase



Micrografia Eletrônica

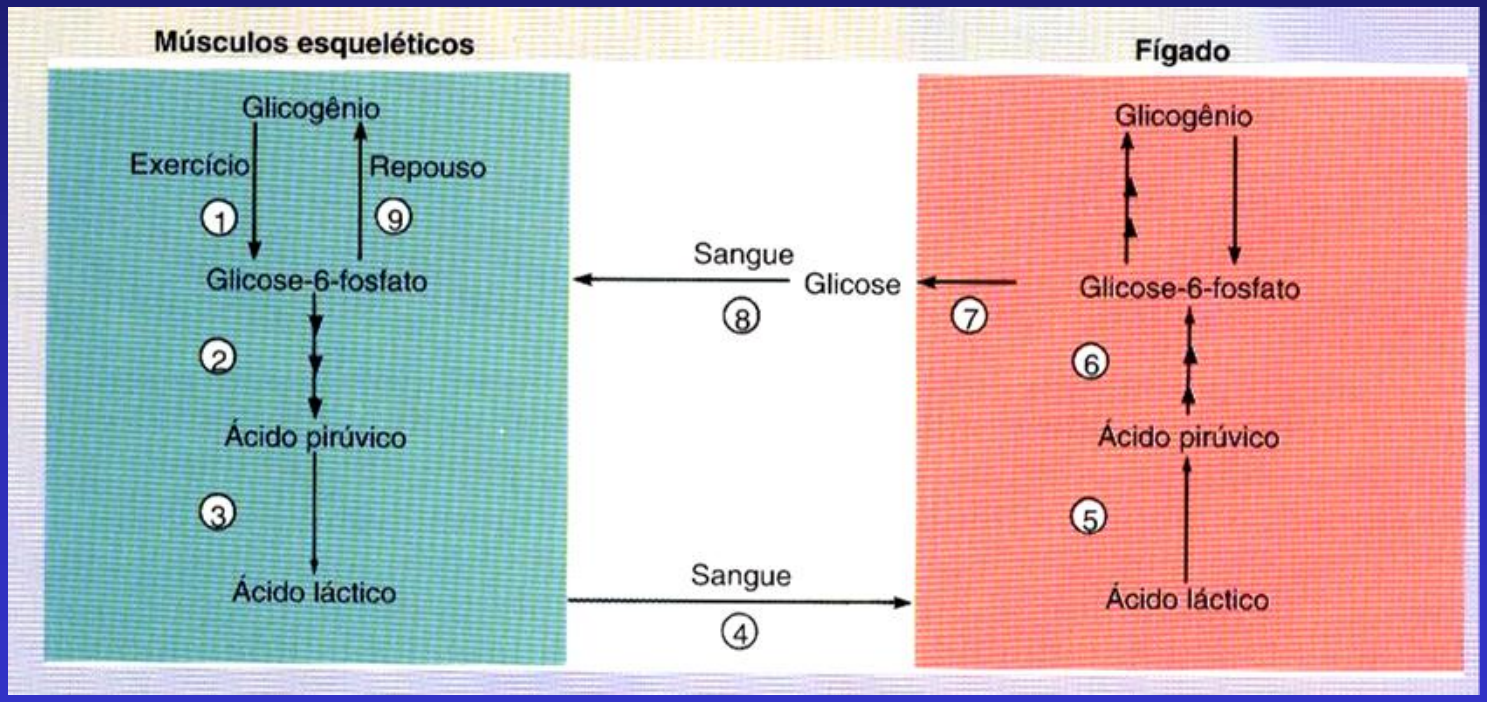
Teoria da Síntese do ATP: Acoplamento

Cadeia de Transporte de Elétrons e Fosforilação Oxidativa

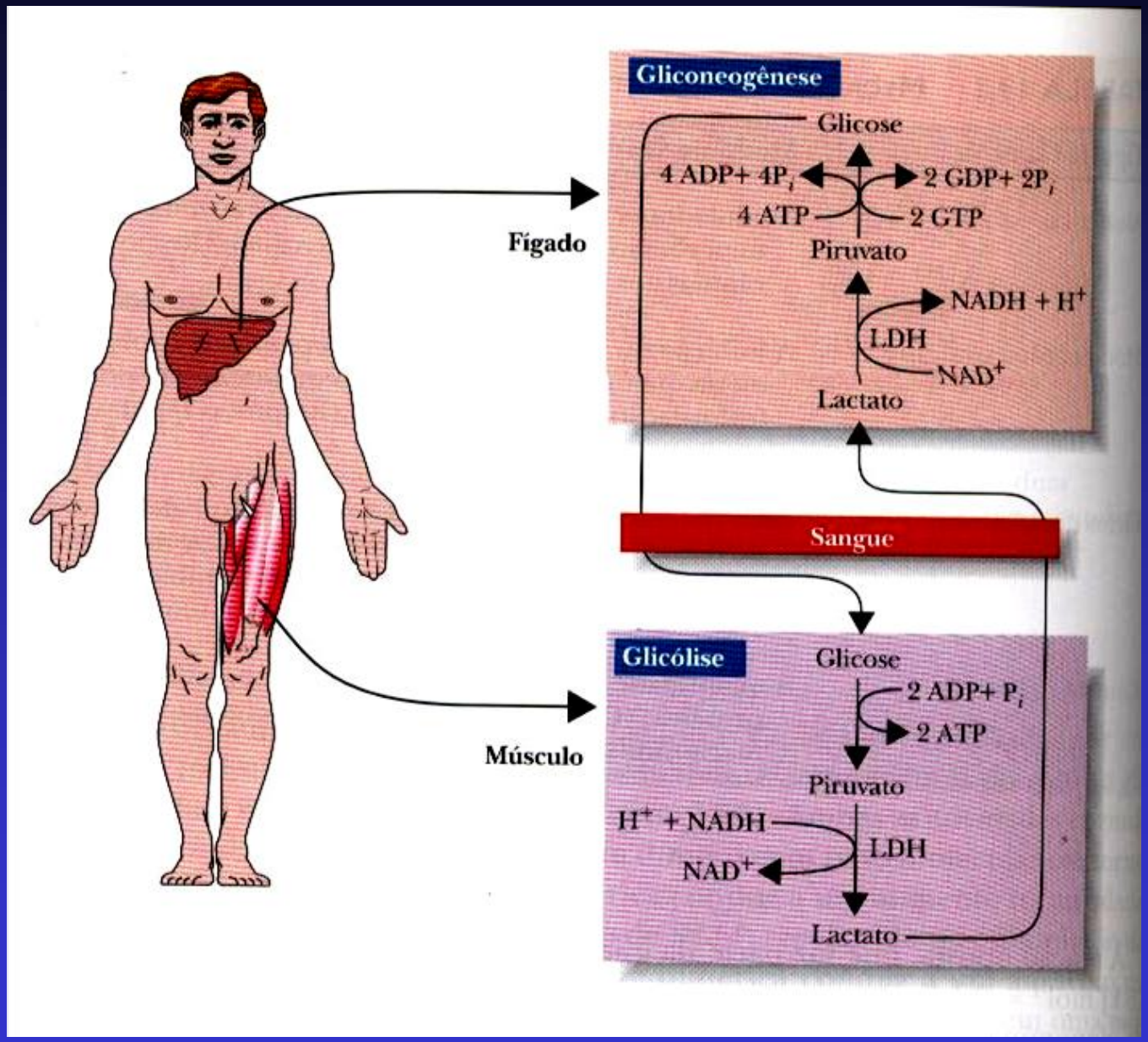


DESTINOS DO LACTATO

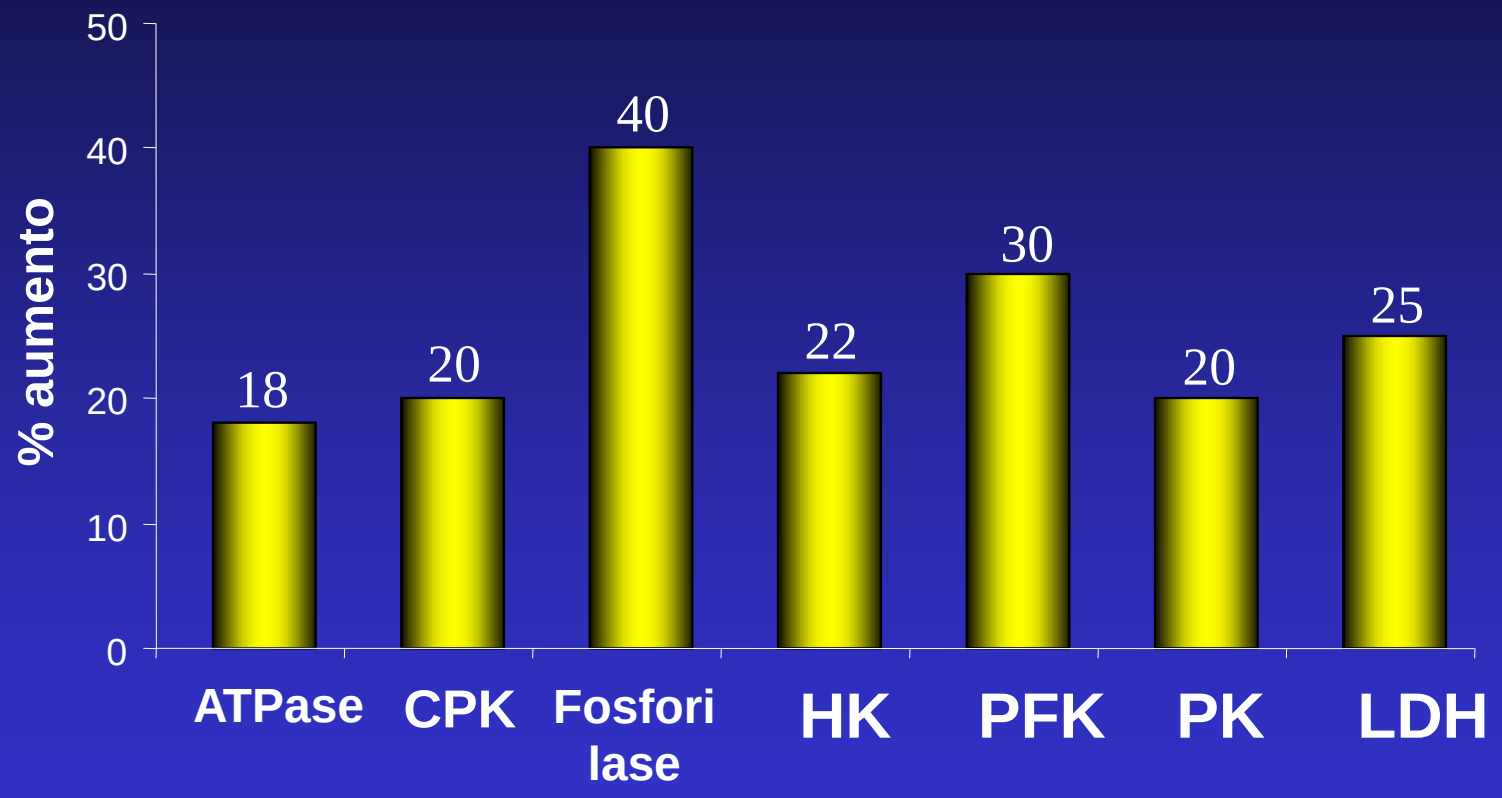
CICLO DE CORI ou GLICOSE-ALANINA



TF ALTA INTENSIDADE: ANAERÓBIO



Exercícios de Alta Velocidade : uso da via glicolítica (informações mais específicas)

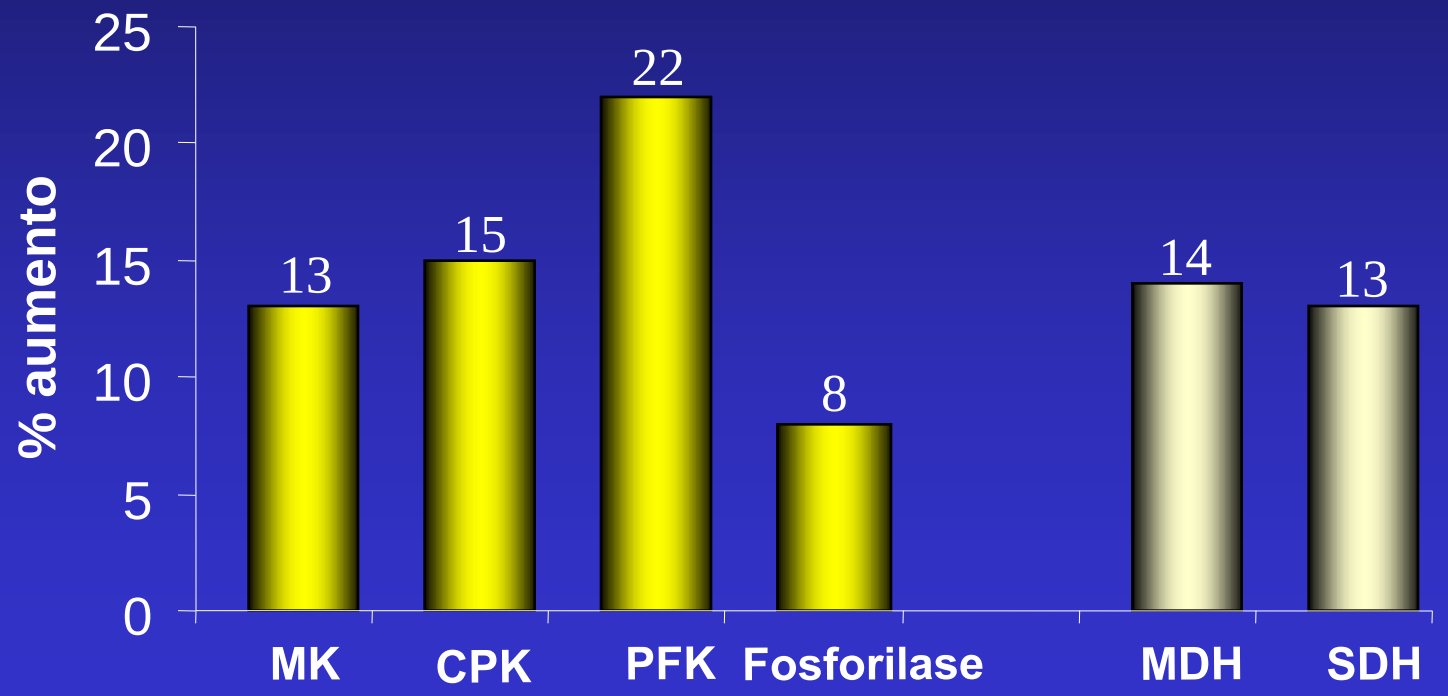


Yakovlev, et al., 1975

Treinamento físico anaeróbio: (elucidar as alterações metabólicas da via glicolítica).

Treinamento: 7 sem; 1 sessão de extensão do joelho; 30-seg exercício máximo

Lactato muscular: repouso: 0,9 mmol/Kg
exercício: 19,4 mmol/Kg



Costill, 1979.

Outros pesquisadores tem demonstrado ↑ atividade da PFK com TF que utilizam via glicolítica mostraram níveis de aumentos muito semelhantes aos vistos anteriormente:

↑21% PFK – *Fournier et al., 1982*

↑ 16% PFK – *Jacobs et al., 1987*

↑ 14-34% PFK – *Simoneau et al., 1987.*

↑ 33% PFK e HK – 15 sem treinamento de alta intensidade intermitente.

Porém, "insights"- com relação aos Tipos de Fibras – 1990.
Takekura e Yoshioka

Treinamento de velocidade:

Ratos machos – treinamento esteira 16 sem/ 5x/ sem.

Protocolo: corrida 45 seg; veloc 85m/min; 10 min

corrida intervalada – 2,75 seg

Sóleo: fibras vermelhas, oxidativas (tipo I)

EDL: fibras intermediárias oxid-glic. e glicolíticas (tipo IIa e IIb)

Resultados:

Sóleo: ↓ 30% CPK
↓ 18% LDH

EDL: ↓ 14% LDH
↑ 53% PK
↑ 44% SDH
↑ 27% PFK

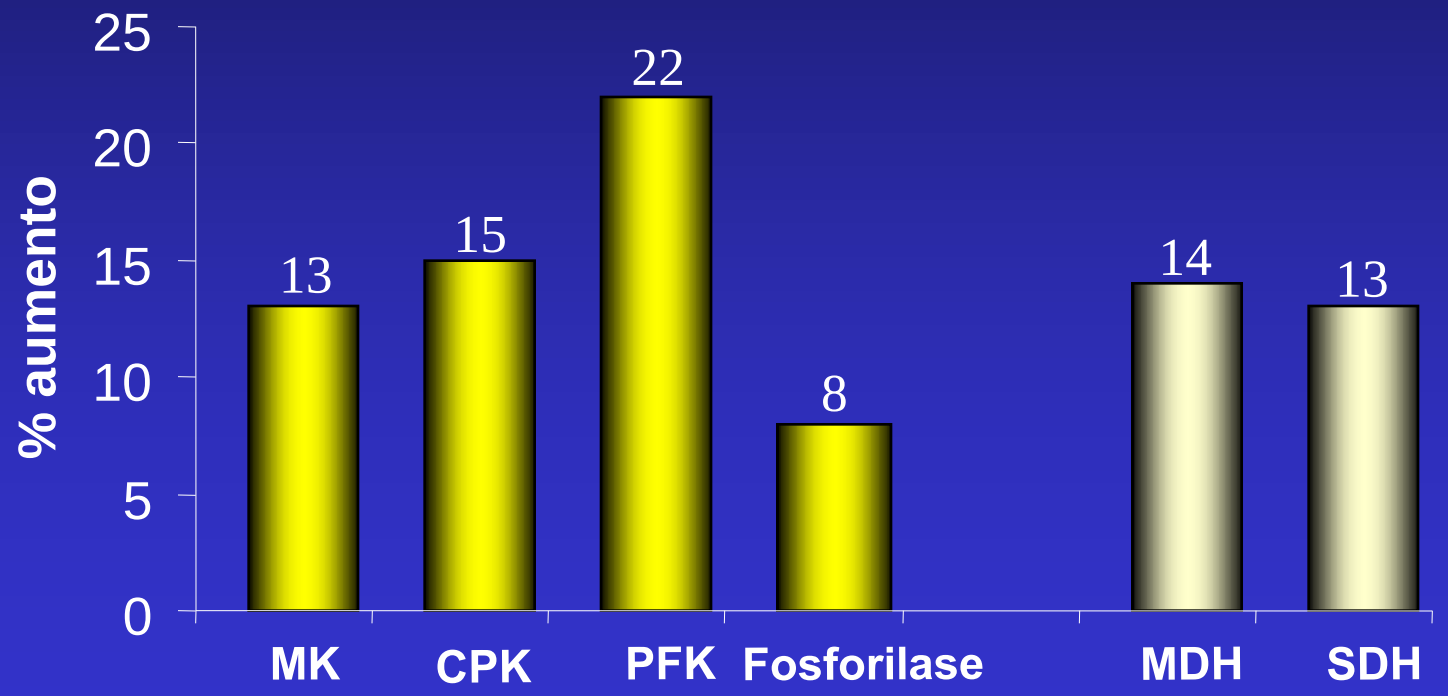
Maior recruta/ de fibras glicolíticas

SDH e MDH: aumentou nos 3 tipos de fibras

Treinamento físico anaeróbio: (elucidar as alterações metabólicas da via glicolítica).

Treinamento: 7 sem; 1 sessão de extensão do joelho; 30-seg exercício máximo

Lactato muscular: repouso: 0,9 mmol/Kg
exercício: 19,4 mmol/Kg

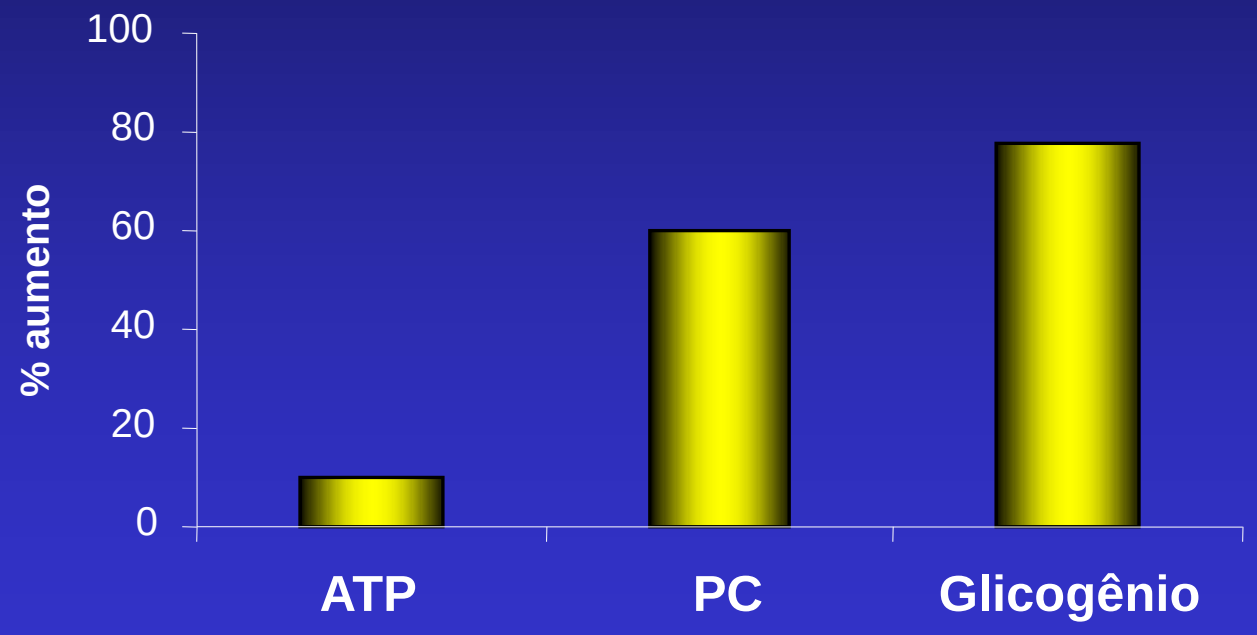


Costill, 1979.

SUBSTRATOS USADOS E ESTOCADOS TF GLICOLÍTICO (ANAERÓBIO)

TF anaeróbio intenso de moderada duração: treinamento de velocidade ou

Corrida de alta veloc e pequena distância intermitente (*sprint*) aumenta conc glicogênio > PC > ATP.



Conclusões:

O TF anaeróbio com objetivo de aumentar a via glicolítica:

1. ↑ atividade de enzimas como ATPase miosínica, CPK, HK, PFK, PK, LDH e fosforilase.

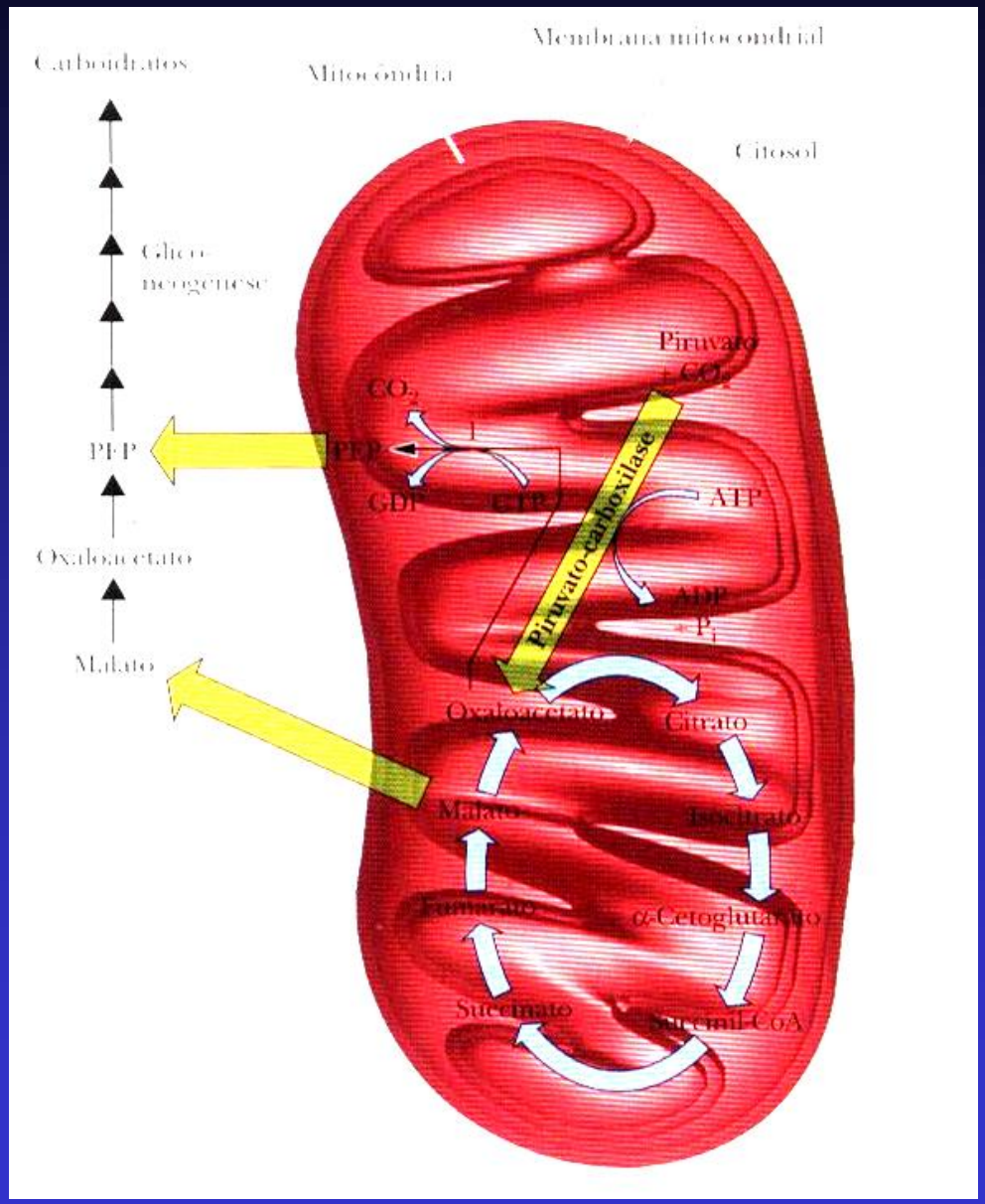
2. Pode ↑ algumas enzimas aeróbias como: CS, SHD, CO, MDH, e NADH redutase).

3. Adaptações pode ser específico para o tipo de fibra: fibras (IIb e IIa).

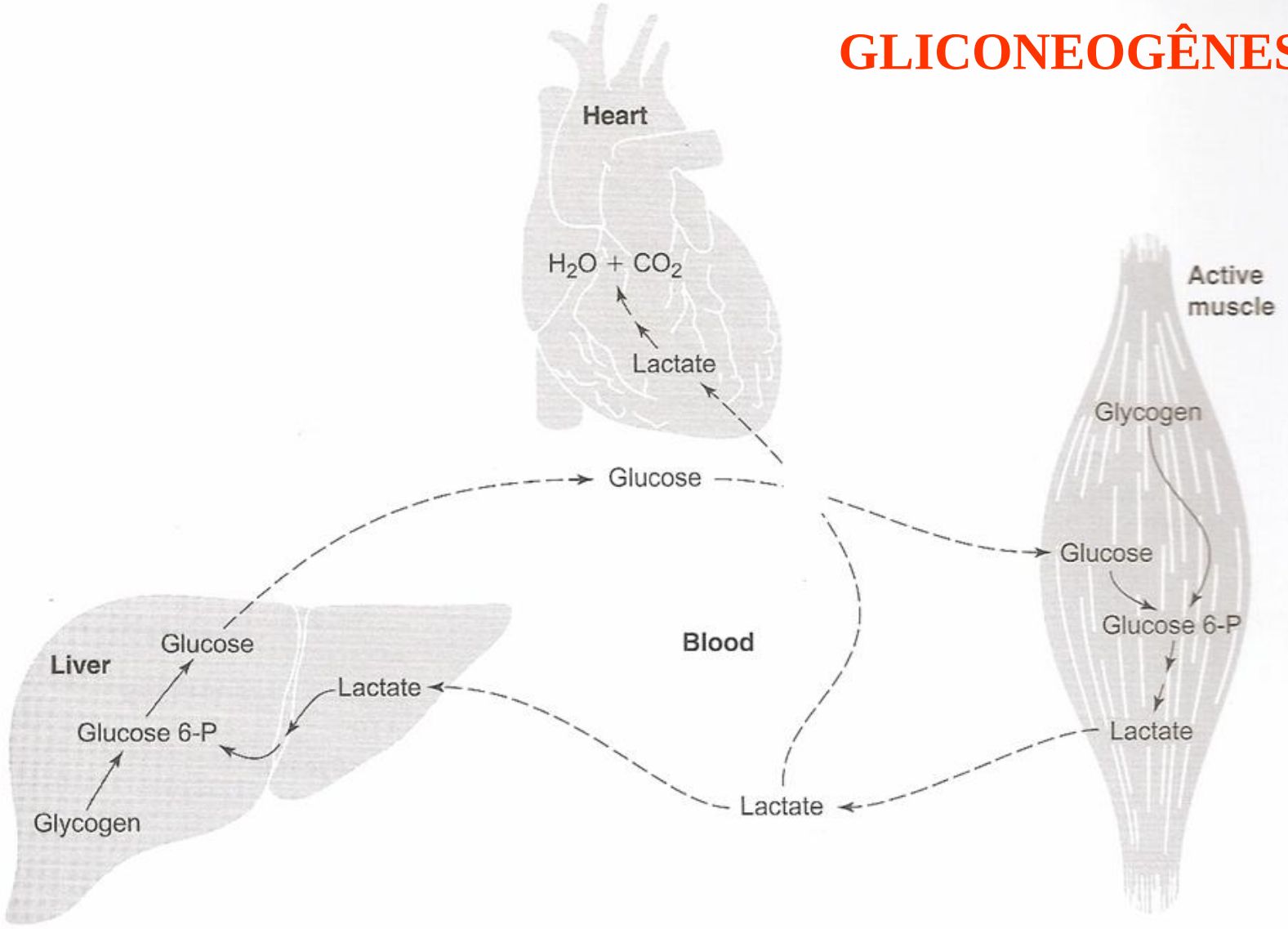
4. Esse treinamento aumenta [ATP, CP, glicogênio] no músculo em repouso com maior adaptação para o glicogênio.

5. ↑ capacidade do músculo para produção total de ATP, sua capacidade glicolítica e sua capacidade para metabolismo oxidativo.

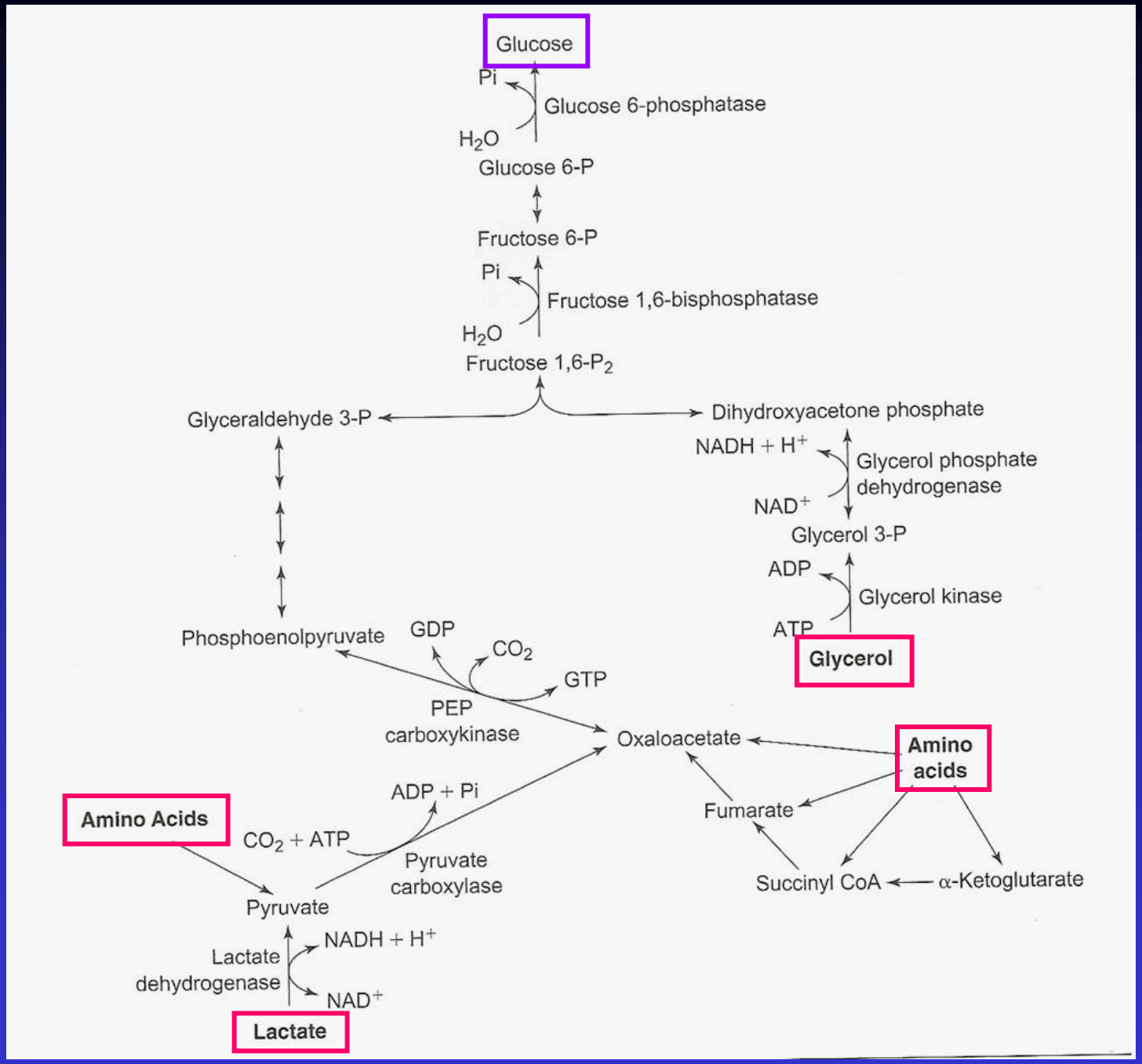
GLICONEOGÊNESE



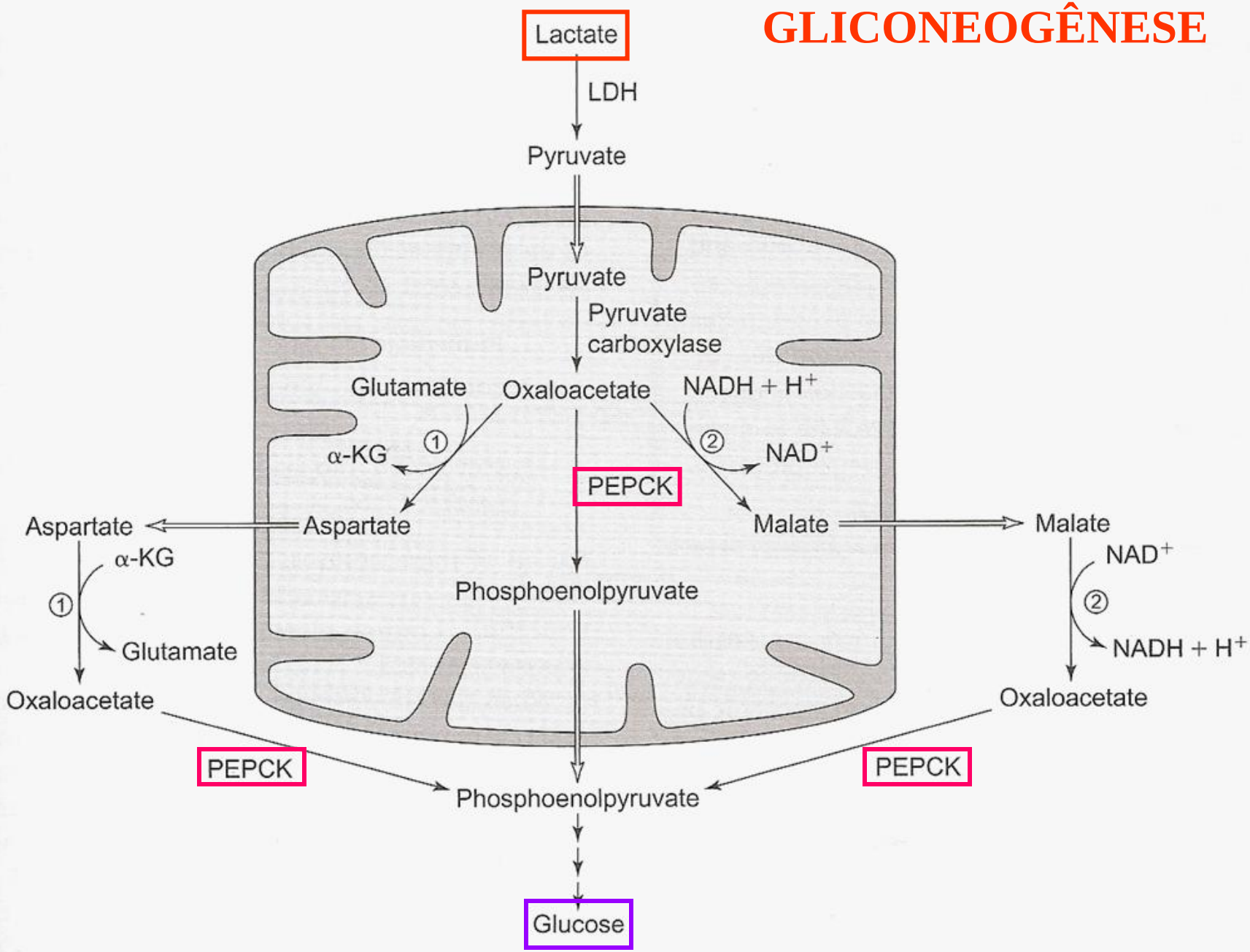
GLICONEOGÊNESE



GLICONEOGÊNESE



GLICONEOGÊNESE



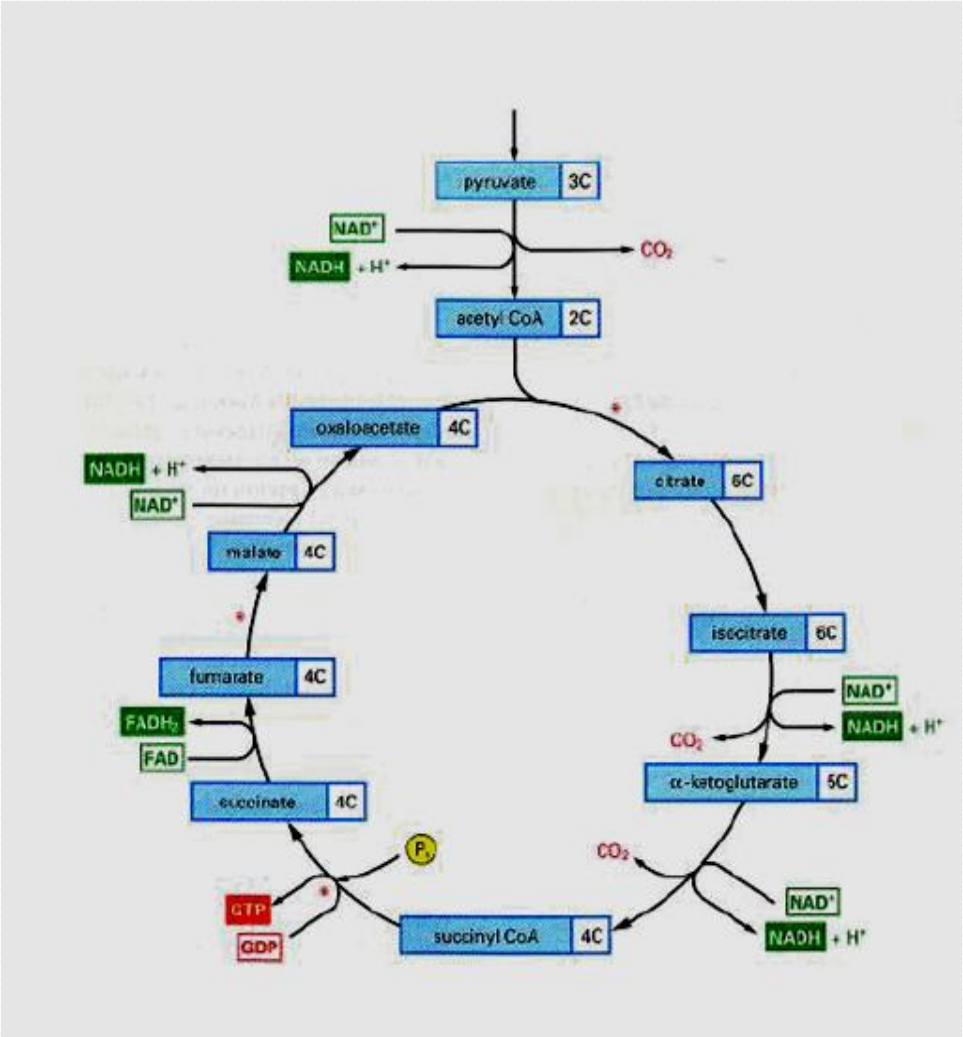
Supermouse - PEPCK

Quais os destinos do Piruvato?

- Formação de LACTATO (Metab Anaeróbio)

- Ciclo de Krebs (Metab Aeróbio)

Ciclo de Krebs



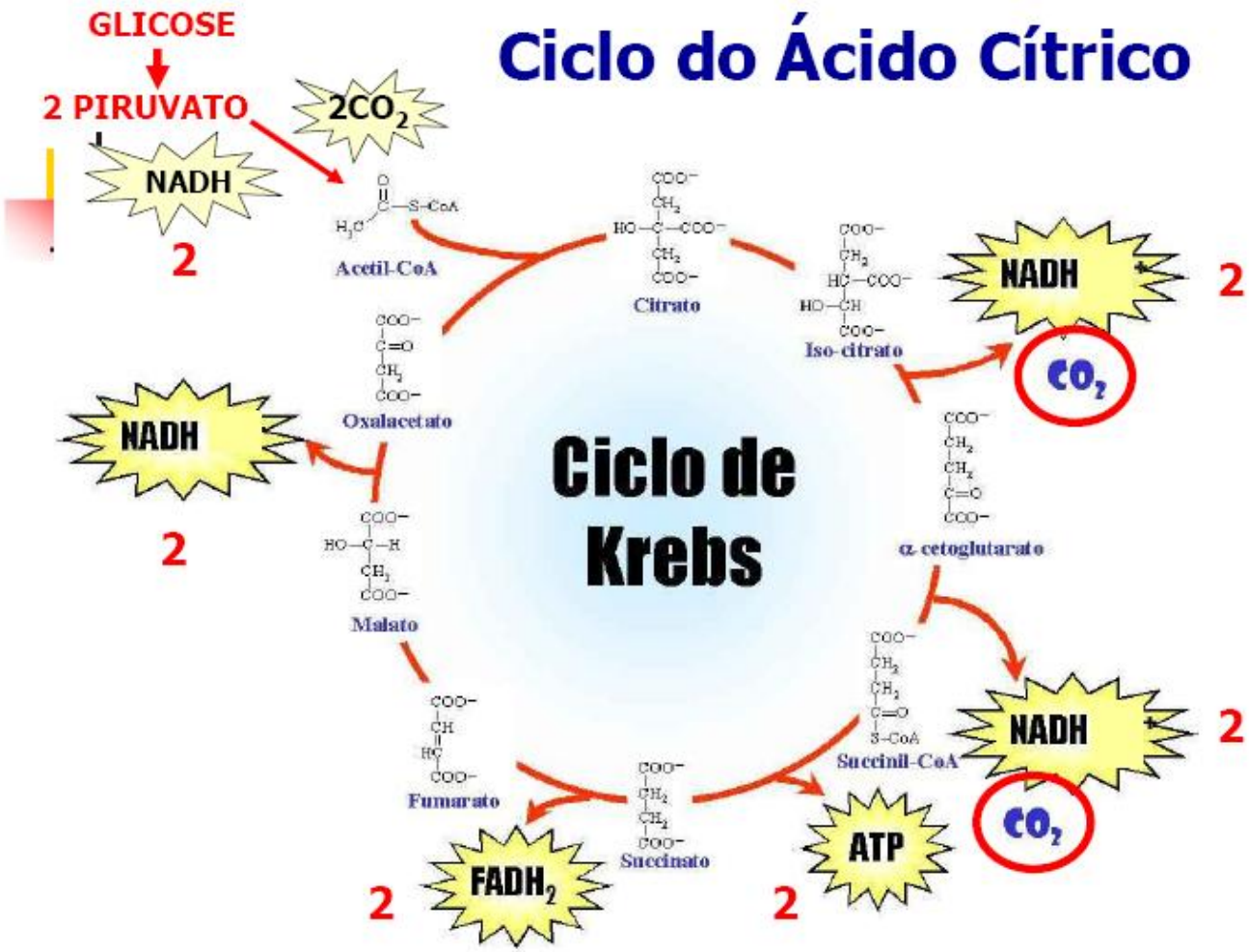
Hans Krebs
1937

The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1953
Hans Krebs, Fritz Lipmann

Hans Adolf Krebs

Fritz Albert Lipmann

The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1953 was divided equally between Hans Adolf Krebs *"for his discovery of the citric acid cycle"* and Fritz Albert Lipmann *"for his discovery of co-enzyme A and its importance for intermediary metabolism"*.

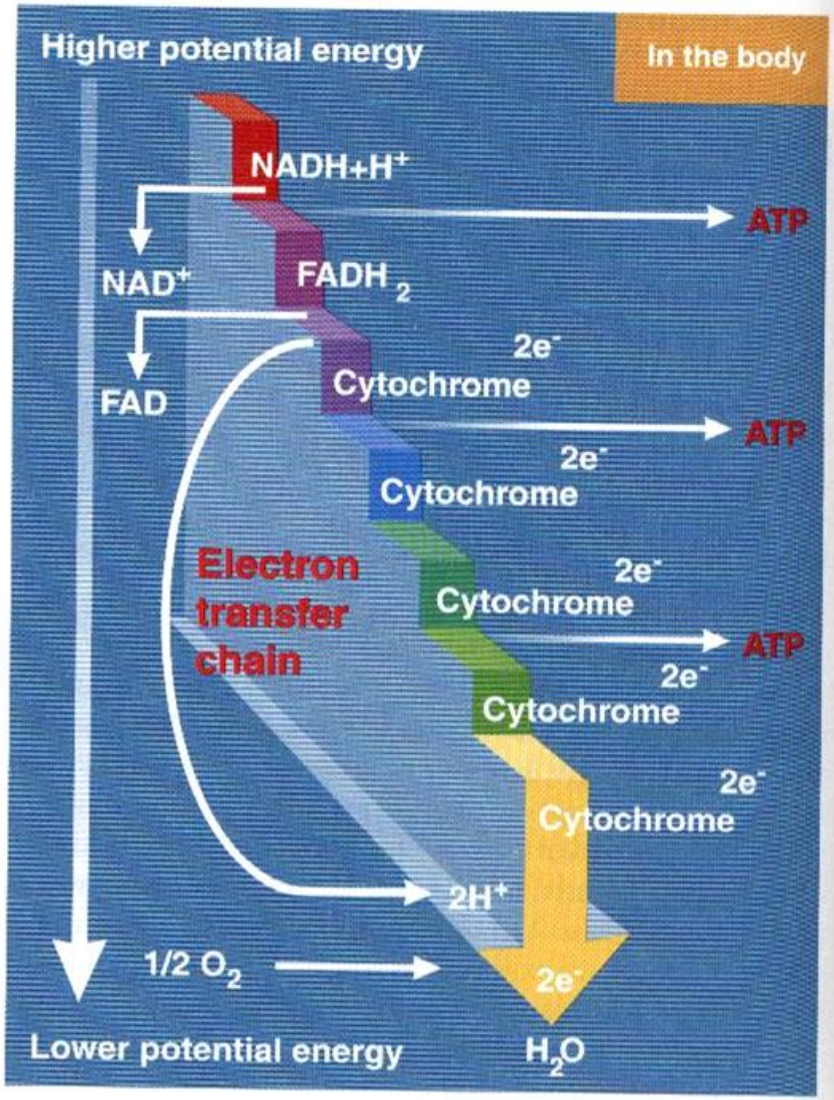

Ciclo do Ácido Cítrico
GLICOSE
2 PIRUVATO
NADH
2
2CO2
Acetil-CoA
Citrato
Iso-citrato
NADH
2
CO2
Oxalacetato
NADH
2
Ciclo de Krebs
α-cetoglutarato
Malato
Succinil-CoA
NADH
2
CO2
Fumarato
Succinato
ATP
2
FADH2
2

Cadeia de Transporte de Elétrons

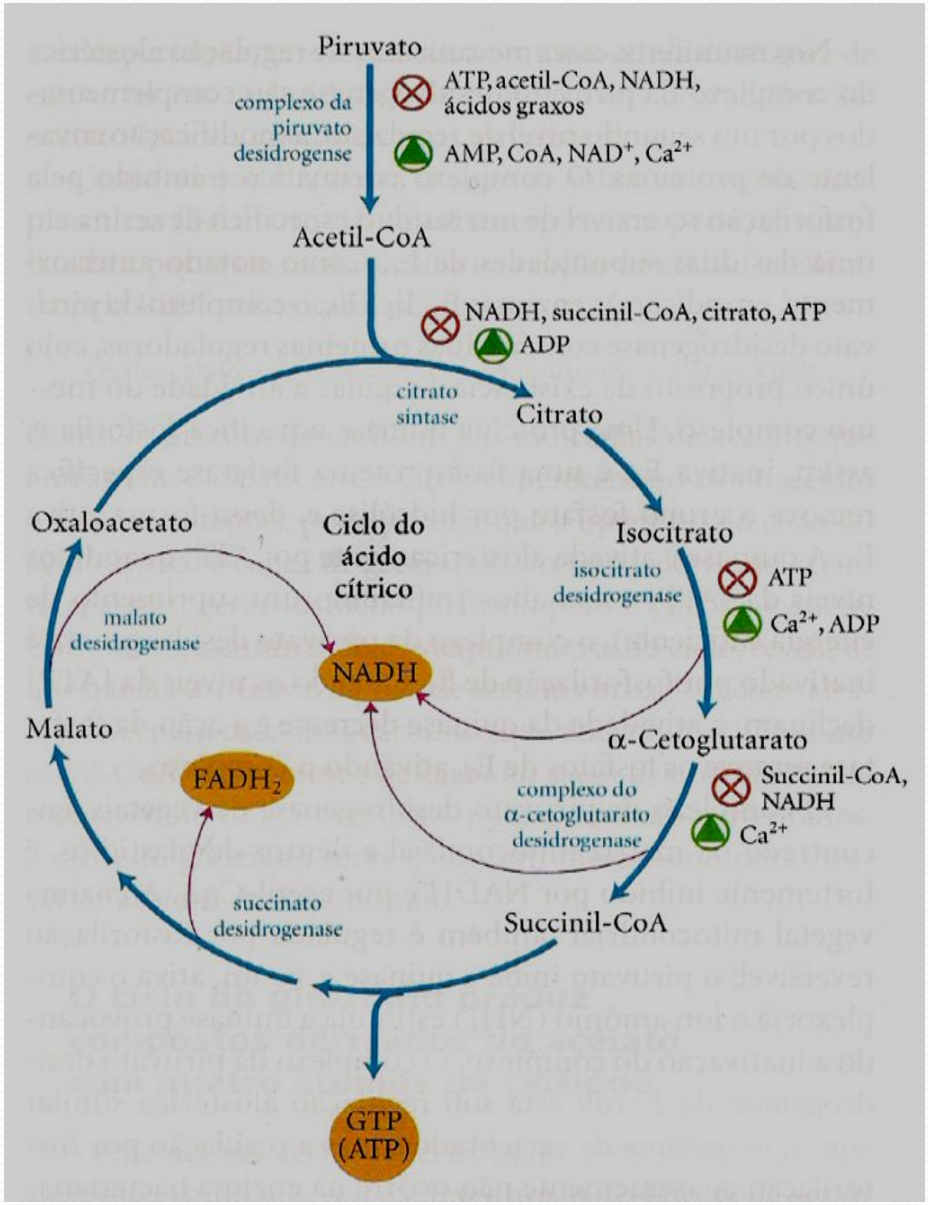
E^0 (volts)

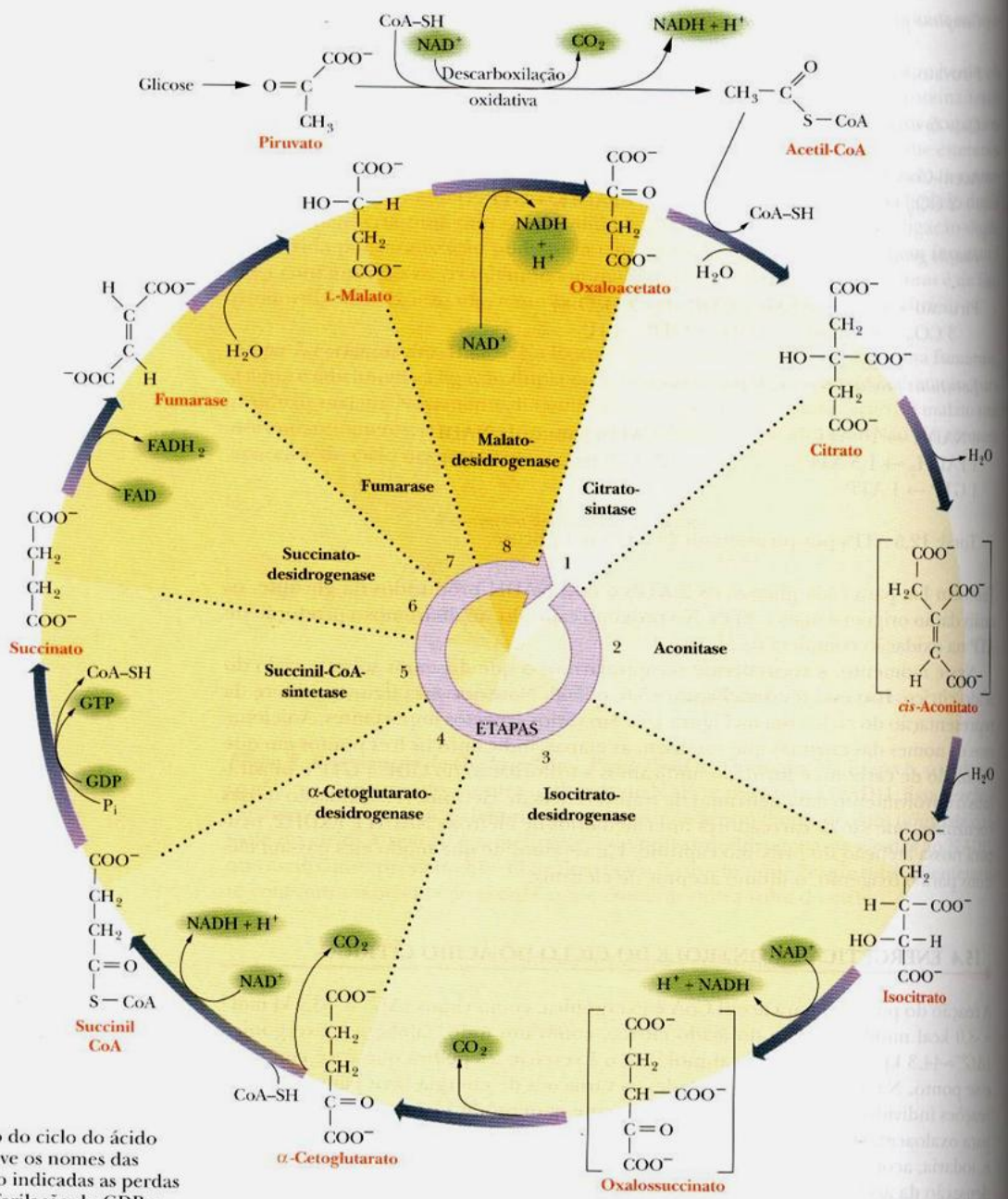
- 0,4
- 0,2
+ 0,2
+ 0,4
+ 0,6
+ 0,8

Óxido-redução



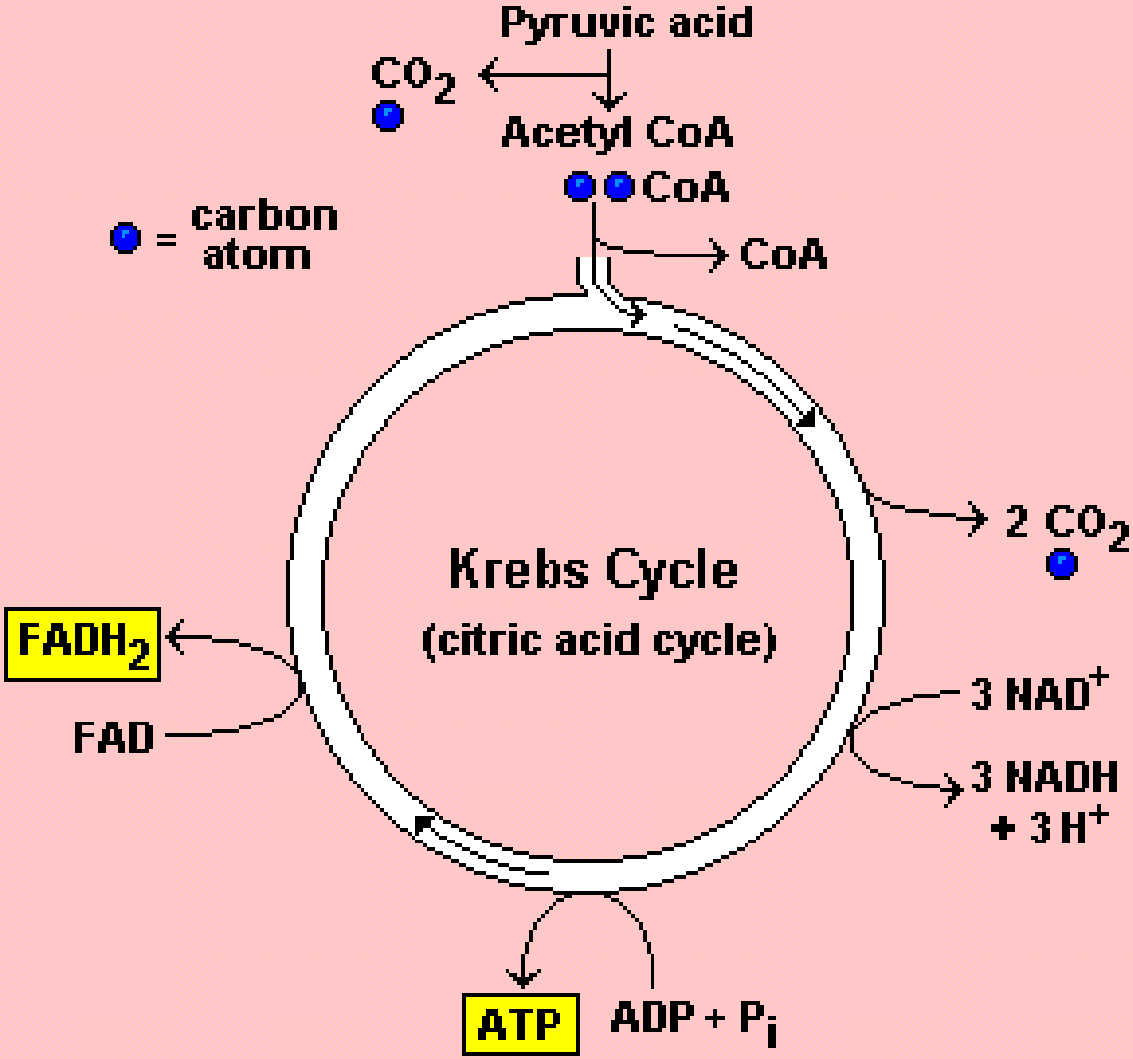
Regulação do Ciclo de Krebs



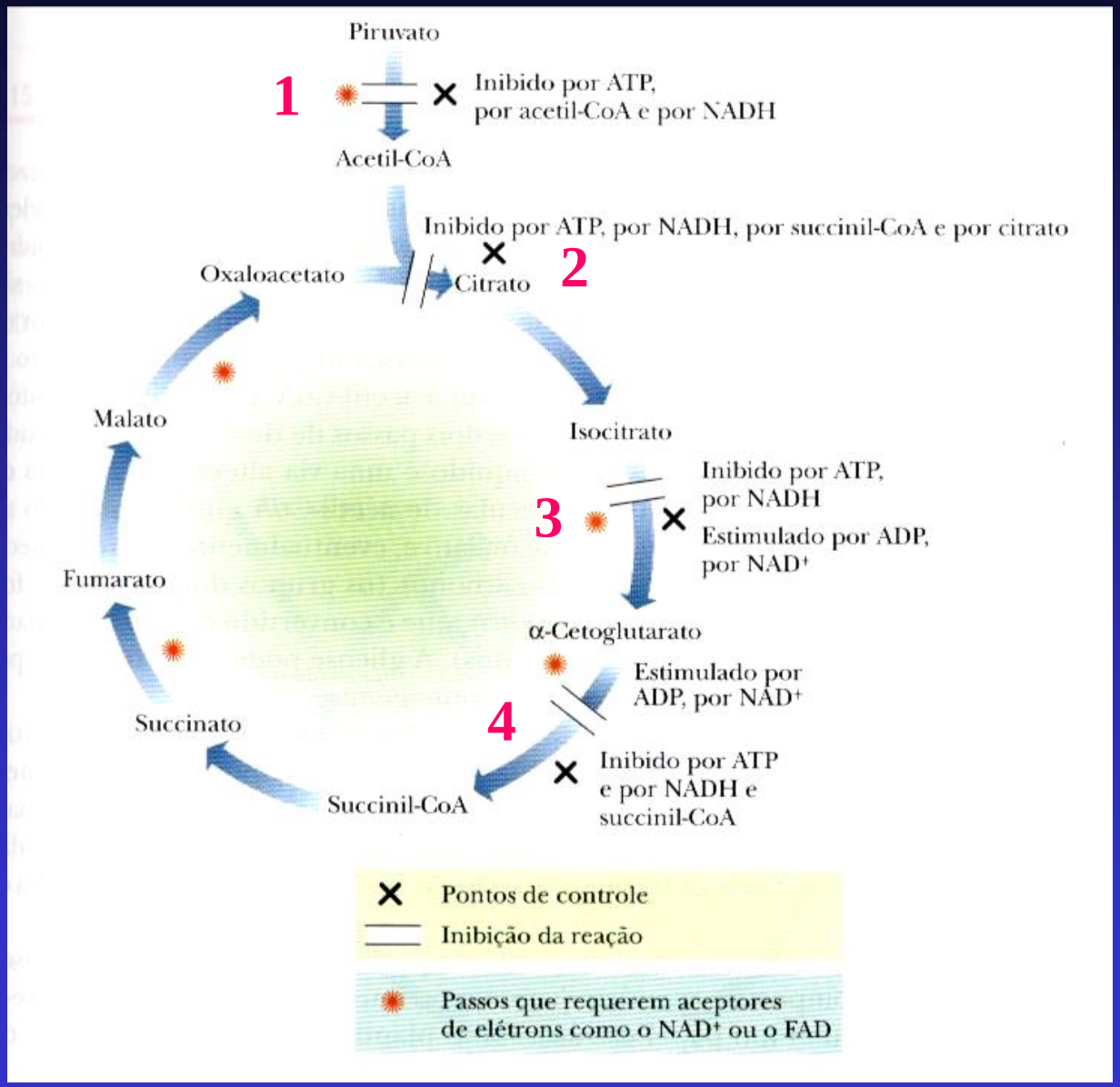


.6
ação do ciclo do ácido
observe os nomes das
Estão indicadas as perdas
fosforilação do GDP a
pontos de produção de

A Summary Diagram of The Krebs Cycle



Regulação do Ciclo de Krebs



1- Piruvato descarboxilase

2-Citrato sintase

3- Isocitrato desidrogenase

4- Alfa-cetoglutarato desidrogenase

AS PRINCIPAIS MODIFICAÇÕES DA ENZIMAS MITOCONDRIAIS SÃO OBSERVADAS COM TF AERÓBIO (moderada intensidade e longa duração).

O **1º trabalho** e mais notável nesta área foi publicado pelo Dr Holloszy em 1967. Onde foi mostrado um protocolo de TF aeróbio, capaz de promover adaptações metabólicas ao no músculo esquelético.

Ratos machos treinados em esteira, inclinação 8%
Treinamento: 5 dias/ sem
Adaptação: 10 min/ 2x/dia (intervalado) de 4 horas/ 22 m/min
Treinamento: 12 sem; 120 min; 31m/min;
com 12 seg de corrida alta veloc a 42m/min
intervaladas por 10 min através de todo o período do treinamento.

Holloszy JO. Biochemical adaptations in muscle: Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *J Biol Chem* 242 (9): 2278-2282, 1967.

Capacidade Respiratória das enzimas aeróbias ao TF (músculos gastroquinêmio e sóleo)

Enzimas	% aumento com TF
Cit oxidase	
Gastro	81
Sóleo	62
Sucinato oxidase	
Gastro	68
Sóleo	60
NADH hidrogenase (Gastro)	111
NADH Cit C redutase (Gastro)	140
Sucinato desidrogenase (Gastro)	82

Holloszy, 1967

Dois anos após: Holloszy e Oscai em1969, mostraram as adaptações que ocorrem na cadeia de transporte de elétrons.

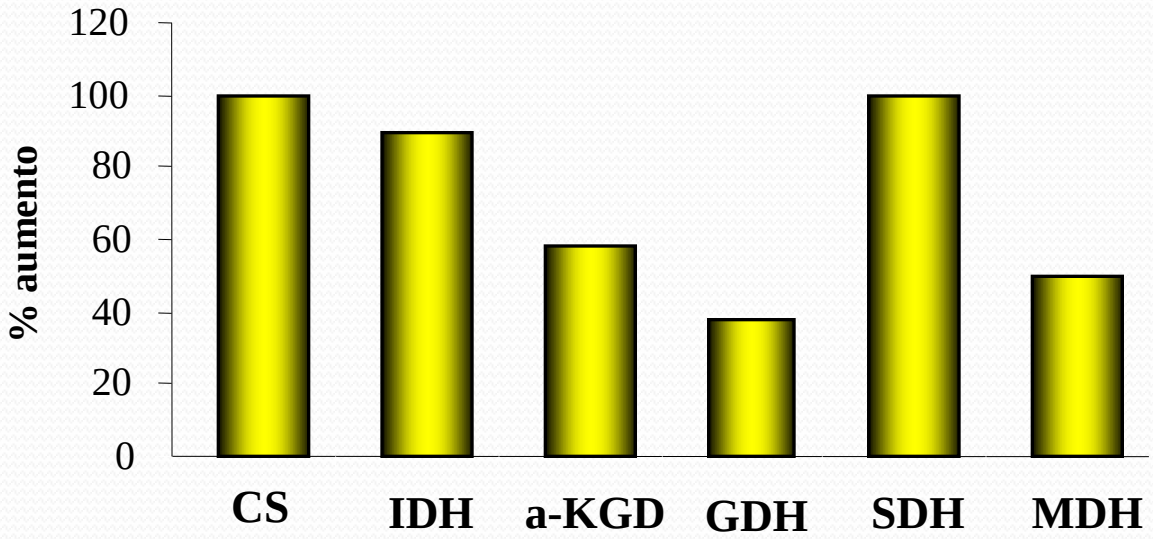
Gastroquinêmio:

CO (citocromo oxidase): ↑ 91%
Citocromo C: ↑ 101%

1º estudo do Lab do Dr Holloszy (1970):

Mostra o conteúdo de Cit C no gastro com TF: ↑ 102%

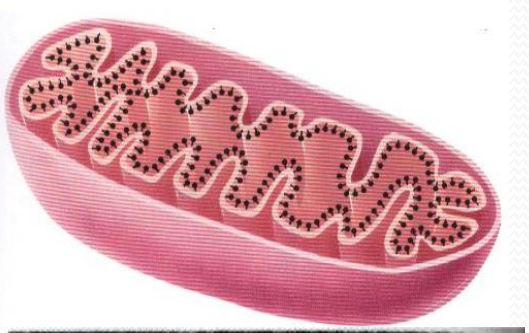
Isocitrato desidrogenase (IDH)- enzima limitante do Ciclo de Krebs: ↑ 90%



Posteriormente vários outros trabalhos confirmaram estes resultados mostrando aumento na Cit C.

Estes estudos estabeleceram rapidamente uma das maiores adaptações enzimáticas mitocondriais que ocorrem com o TF.

A Cit C passou a ser utilizada como um marcador de TF aeróbio.

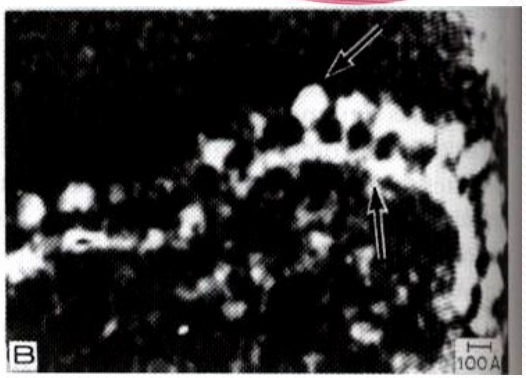


CK e MK: não aumentaram

F1-ATPase – sensível a oligomicina

- sóleo: ↑ 76%
- gastro: ↑ 113%

Confirmando esse protocolo de treinamento como aeróbio



Os resultados iniciais da literatura não se preocupavam com a composição muscular e tipos de fibras de cada músculo.

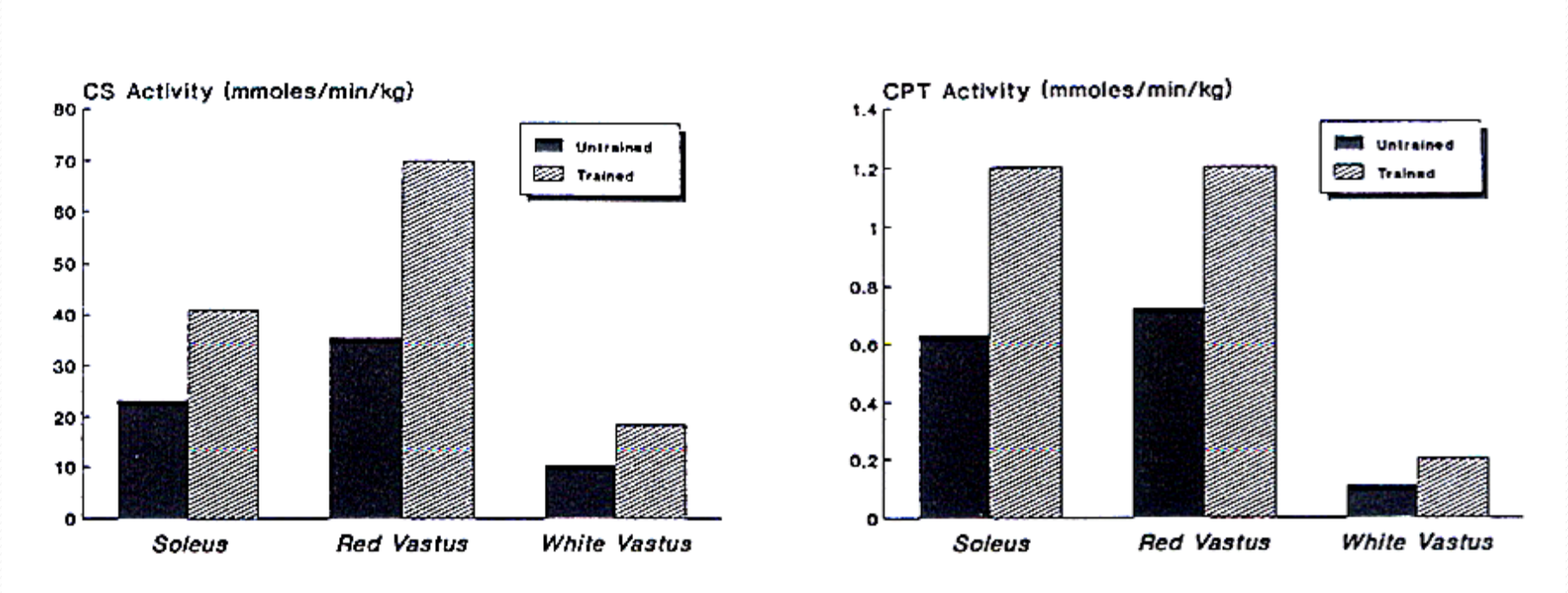
Somente em 1971, que Baldwin começou a se preocupar com tipo de fibra muscular.

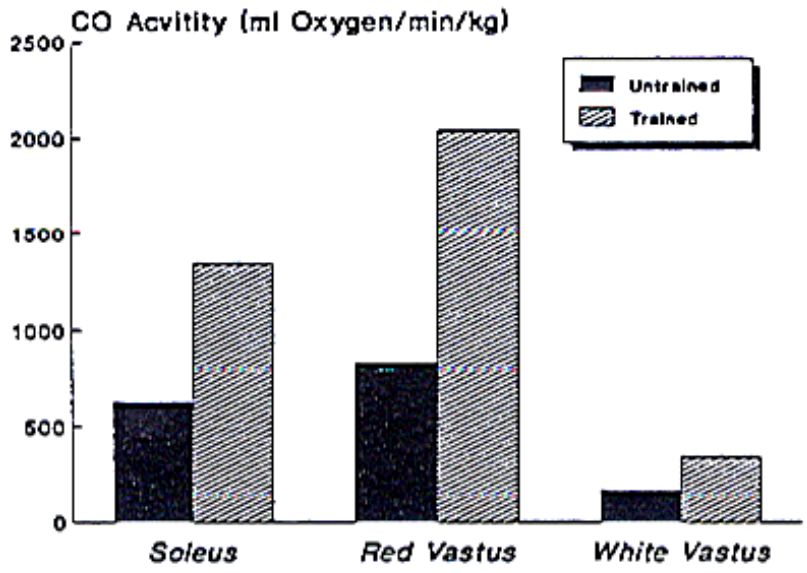
Músculo	I (Ic)	IIa	IIx (IIb)
Sóleo	96	4	-
VL (verm) profundo	30	70	-
VL (br) superficial	-	-	100

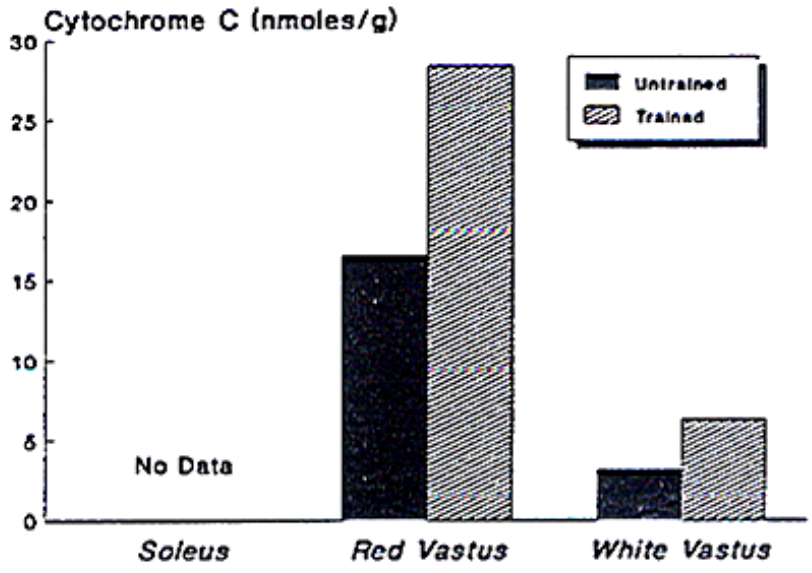
Concluíram que existia uma grande diferença nas respostas entre fibras brancas e vermelhas

Após a diferenciação do tipo de fibras foi determinada a atividade da Cit C, CS, CO (cit oxidase), CPT

Sóleo, RV (vasto lateral-verm) e WV (vasto lateral-branca)



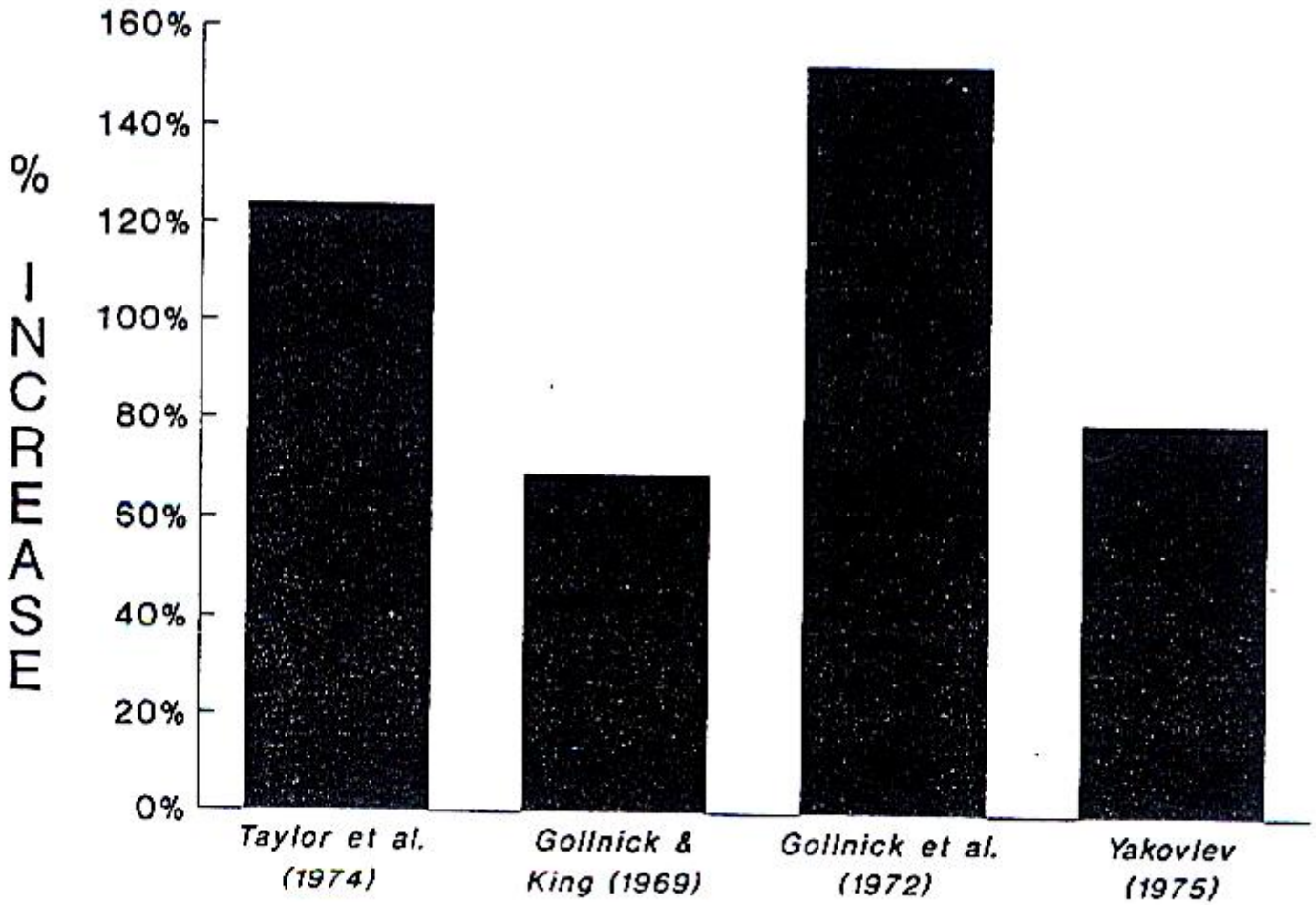




A capacidade dos três tipos de fibras para metabolismo aeróbio aumenta proporcionalmente na mesma extensão.

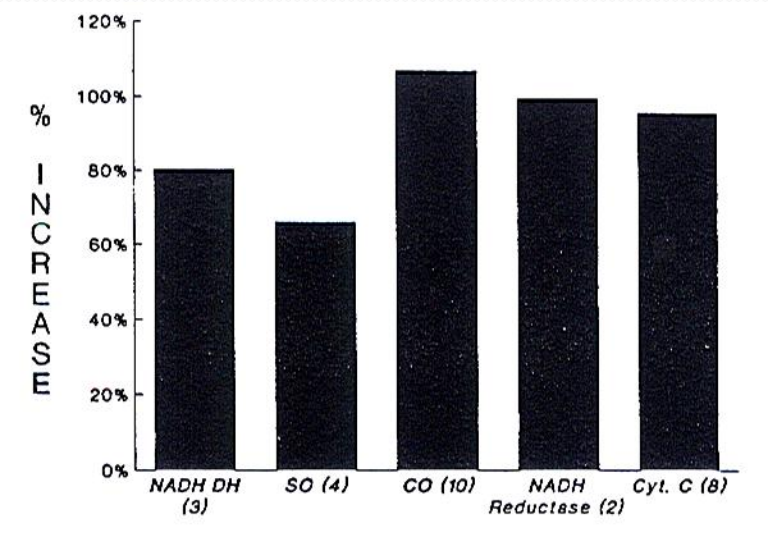
SDH e MDS aumentam em proporções equimolares nos 3 tipos de fibras de músculo esquelético

Aumenta os estoques de glicogênio por TF aeróbio

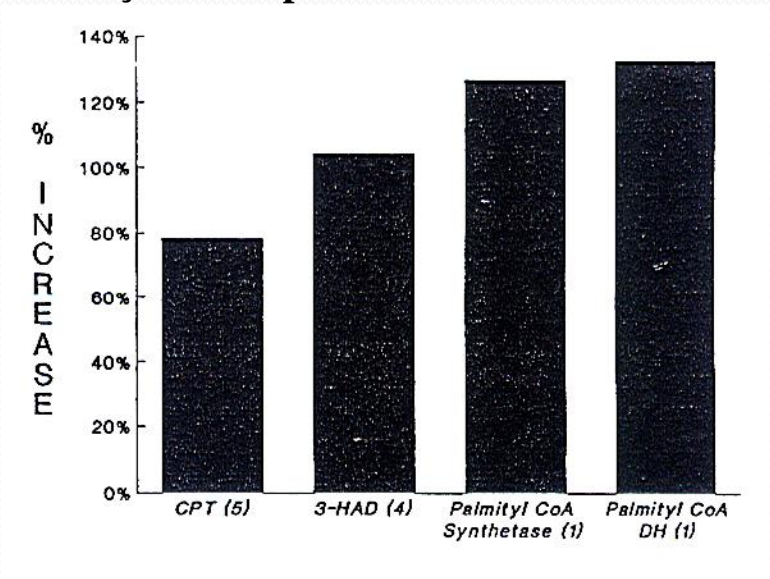


Sumarizando

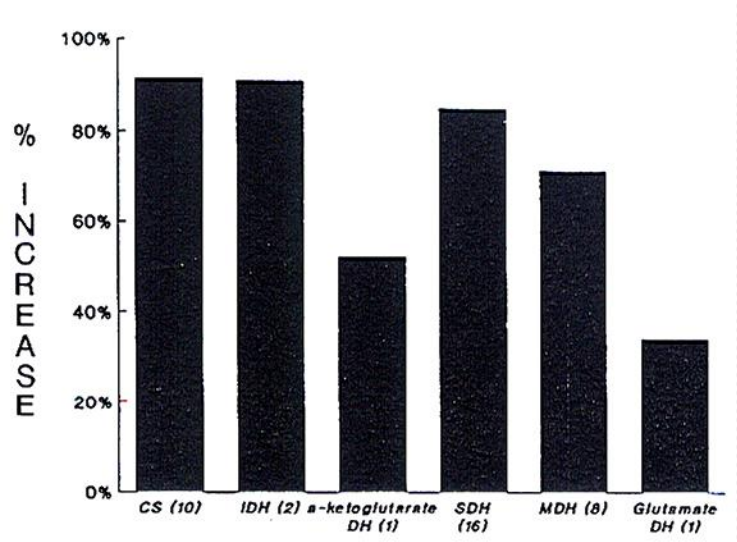
Cadeia de transporte de elétrons



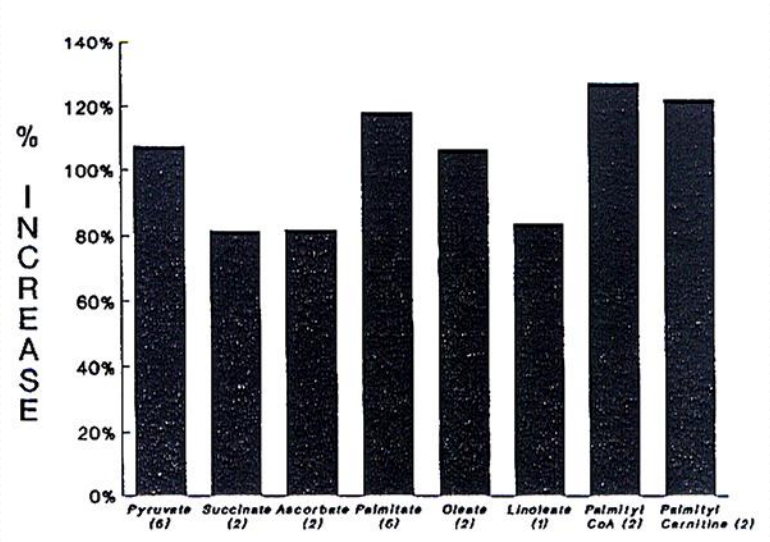
Oxidação de Lipídeos



Ciclo de Krebs

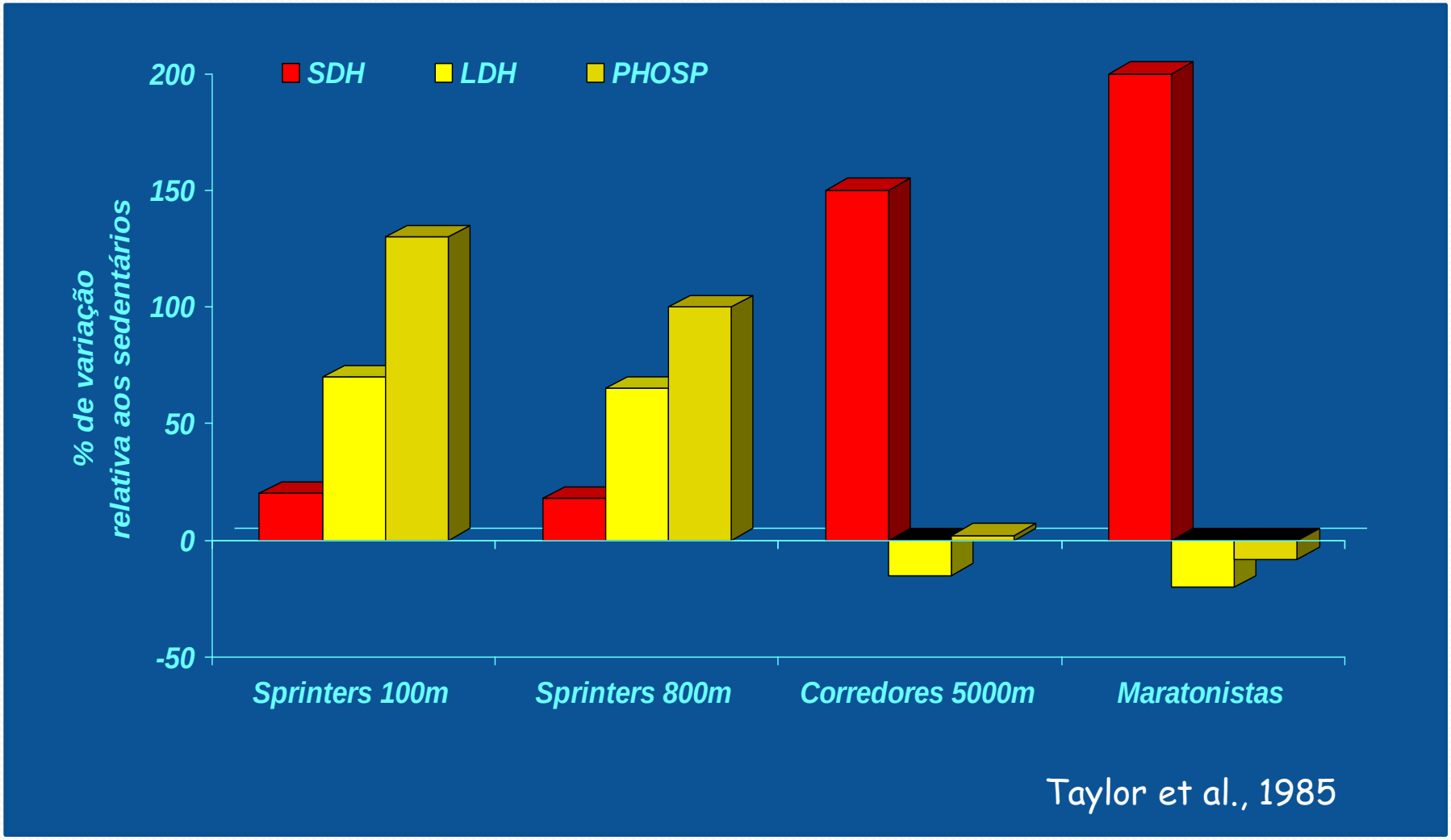


Capacidade oxidativa de substratos



Variações na atividade enzimática

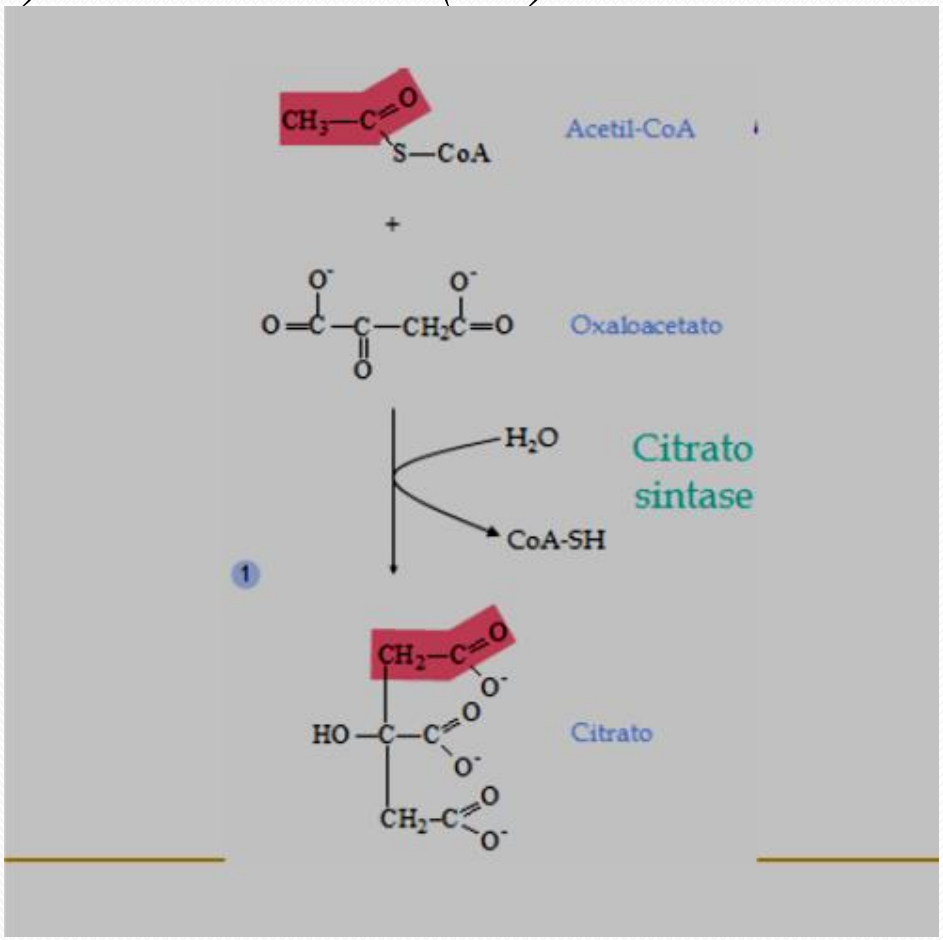
de acordo com o tipo de modalidade praticada (Vastus lateralis)



Taylor et al., 1985

Citrato Sintase

Acetil-CoA (2C) + oxalacetato (4C) + H2O → citrato (6C) + CoA



Citrato Sintase

Marcador Metabólico de Treinamento Físico

METODOLOGIA

- Sistema de natação para ratos

- Sobrecarga adaptada a cauda

Oliveira EM et al., *Journal of the Renin-Angiotensin-Aldosterone System*, 2009.

Treinamento dos Animais

- **Protocolos de treinamento (P):**

➢ **P1:** 1ª - 10ª semana → 5x / semana / 60min / dia.

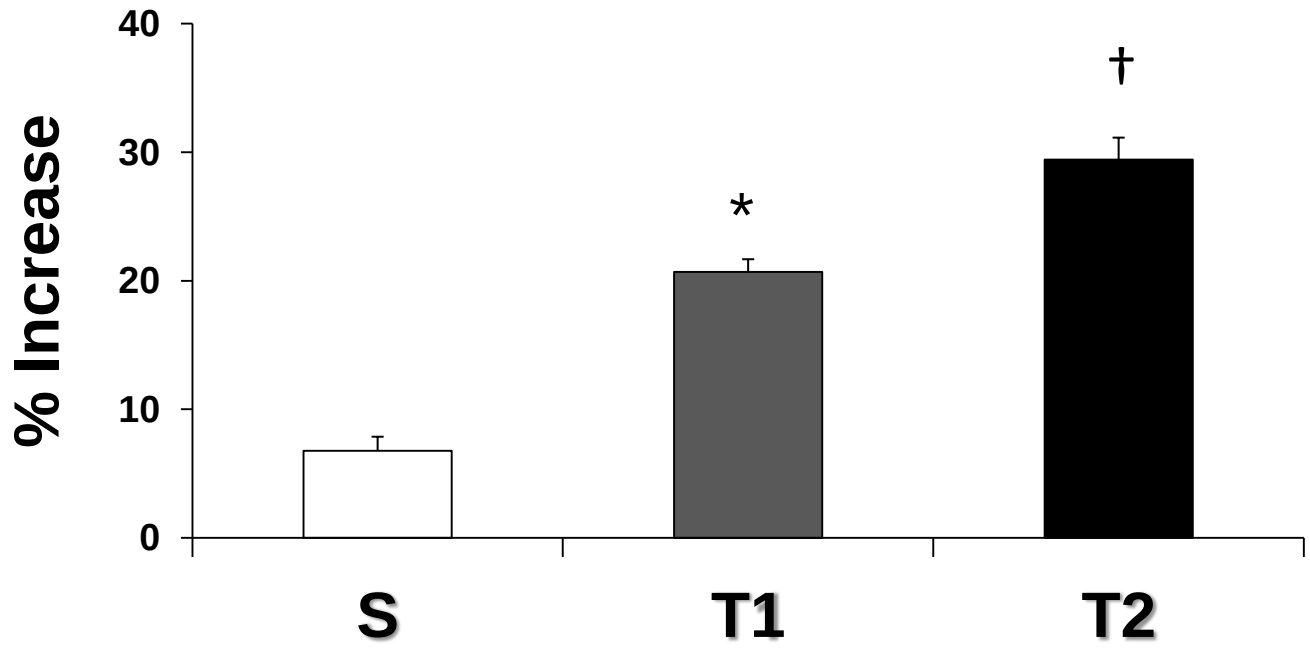
➢ **P2:** 1ª - 8ª semana → igual ao P1,
9ª semana → 5x / semana / 60min / 2x/dia,
10ª semana → 5x / semana / 60min / 3x/dia.

Sobrecarga: 5% do peso corporal adaptado à cauda do animal.

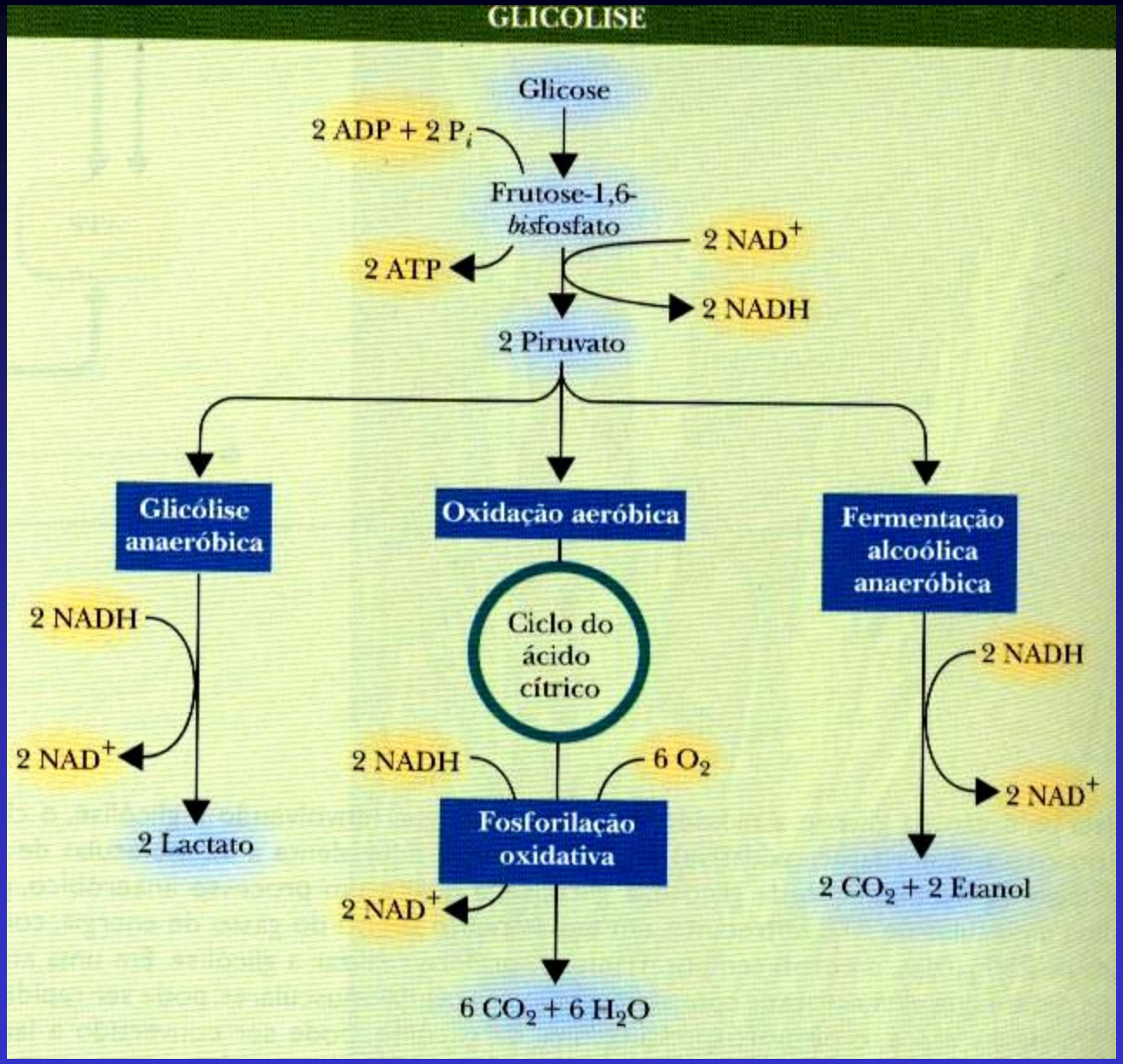
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	semanas
0	3 4 5	5	5	5	5	5	5	5	5	Carga (%PC)
30 40 50 60	40 50 60	60	60	60	60	60	60	60 2x/dia	60 3x/dia	Tempo (min) P2

Oliveira EM et al., *Journal of the Renin-Angiotensin-Aldosterone System*, 2009.

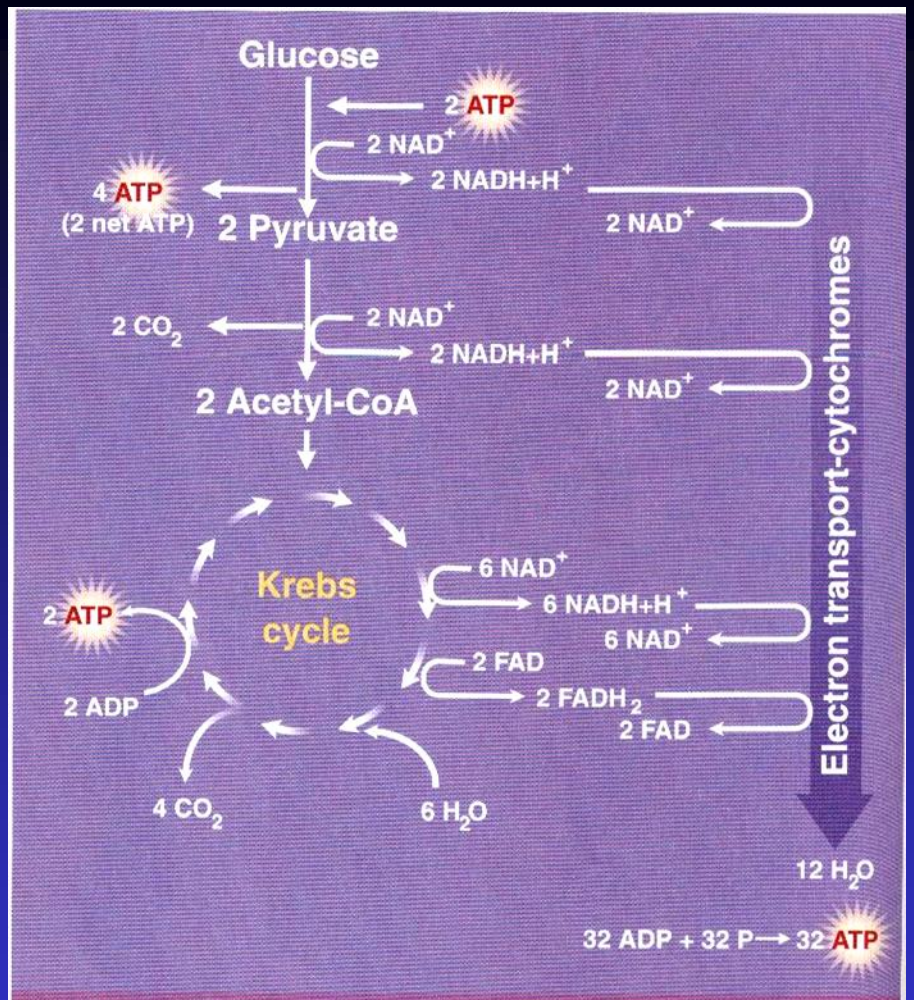
Atividade da Citrato Sintase no sóleo



Oliveira EM et al., *Journal of the Renin-Angiotensin-Aldosterone System*, 2009.


GLICOLISE
Glicose
2 ADP + 2 P_i
Frutose-1,6-*bis*fosfato
2 ATP
2 NAD^+
2 NADH
2 Piruvato
Glicólise anaeróbica
Oxidação aeróbica
Fermentação alcoólica anaeróbica
2 NADH
2 NAD^+
2 Lactato
Ciclo do ácido cítrico
2 NADH
6 O_2
Fosforilação oxidativa
2 NAD^+
6 CO_2 + 6 H_2O
2 NADH
2 NAD^+
2 CO_2 + 2 Etanol

Síntese liquida de ATP apartir de uma molécula de Glicose



Net ATP from glucose metabolism

Source	Reaction	Net ATP
Substrate phosphorylation	Glycolysis	2
2 H_2 (4 H)	Glycolysis	4
2 H_2 (4 H)	Pyruvate → Acetyl-CoA	6
Substrate phosphorylation	Krebs cycle	2
8 H_2 (16 H)	Krebs cycle	22
	Total:	36 ATP

ADAPTAÇÕES MUSCULARES AO TREINAMENTO FÍSICO

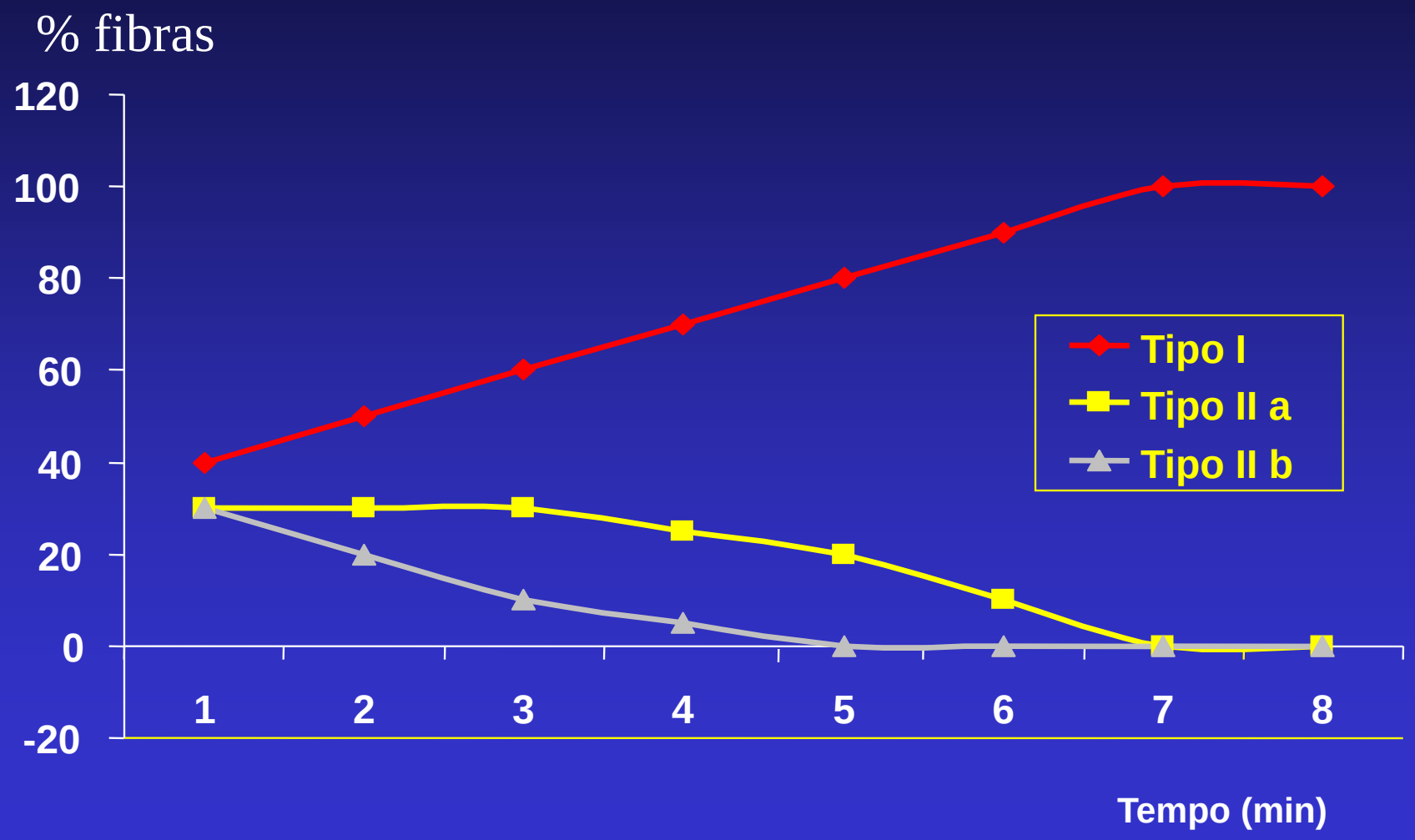
Adaptações ao TF

- Aumento da vascularização (endurance)

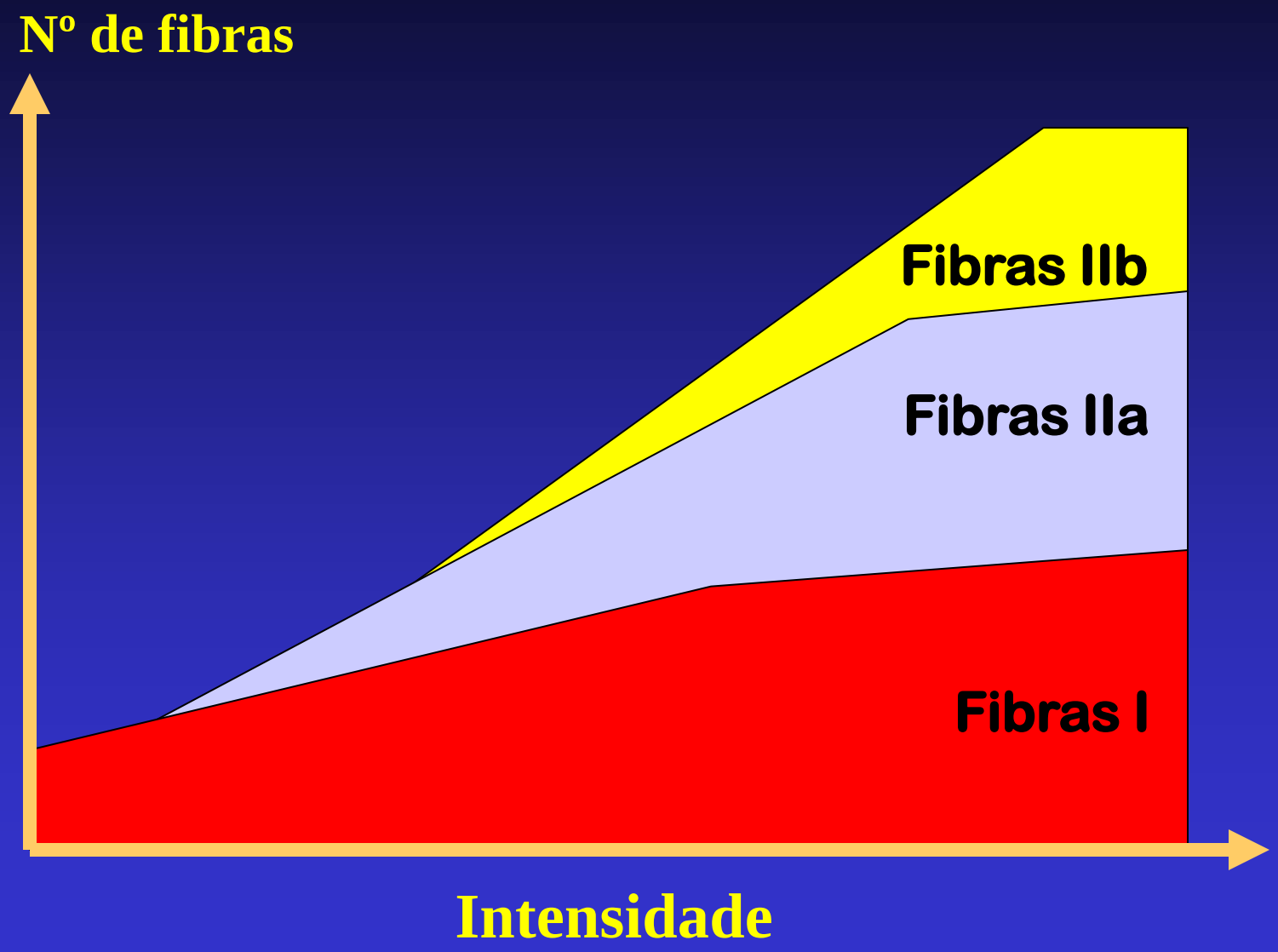
- Aumento na massa mitocondrial (volume e tamanho)

- Aumento de enzimas respiratórias (TF animais com corrida e natação forçada)

Recrutamento ordenado das UM
Exercício Intensidade decrescente



Recrutamento de unidades motoras durante o EF



Características das fibras musculares

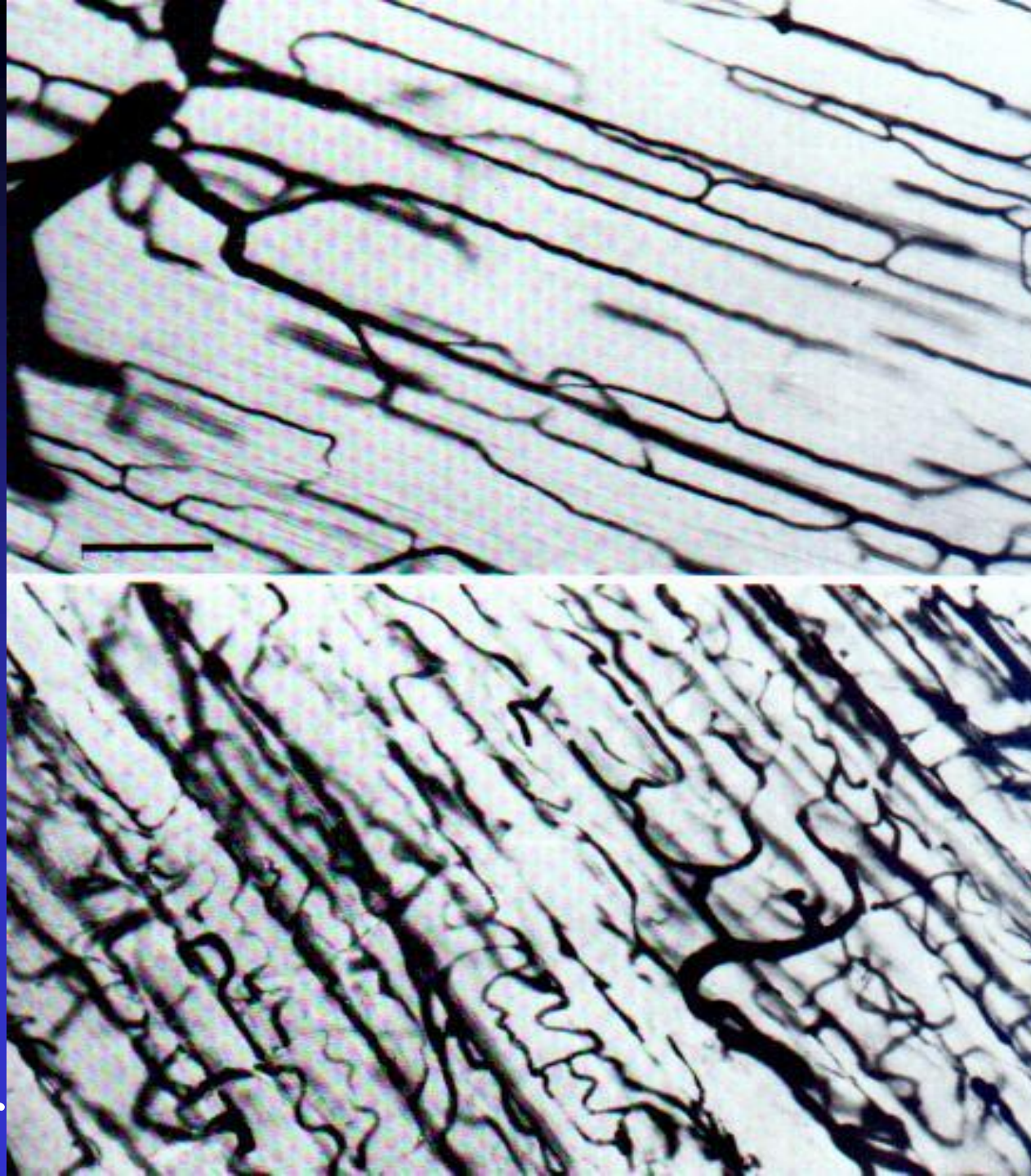
	I	IIa	IIb
Cor	vermelha	branca	branca
Dens. mitocôndrias	↑	↑	↑
Capilarização	↑	↑	↑
Bioquímicas	oxidativa	glicolítica/ oxid.	glicolítica
Funcionais			
Tempo de contração/relaxam.	lenta	rápida	rápida
Força de contração	↑	↑	↑
Rendimento	não fatigável	fatigável	fatigável
Limiar de excitabilidade	↑	↑	↑

Capilarização

Velocista

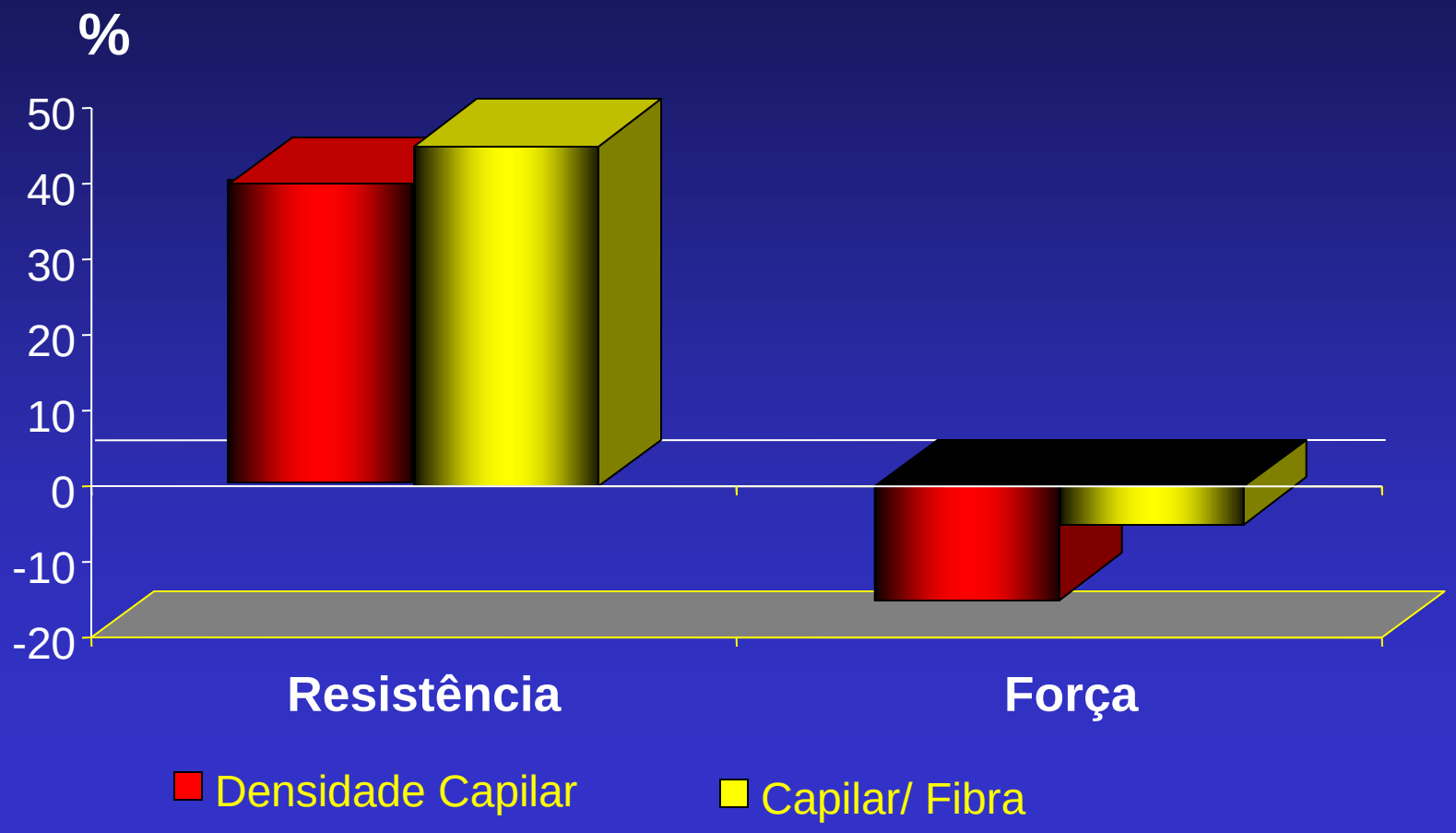
Resistência

Tortuosidade capilar



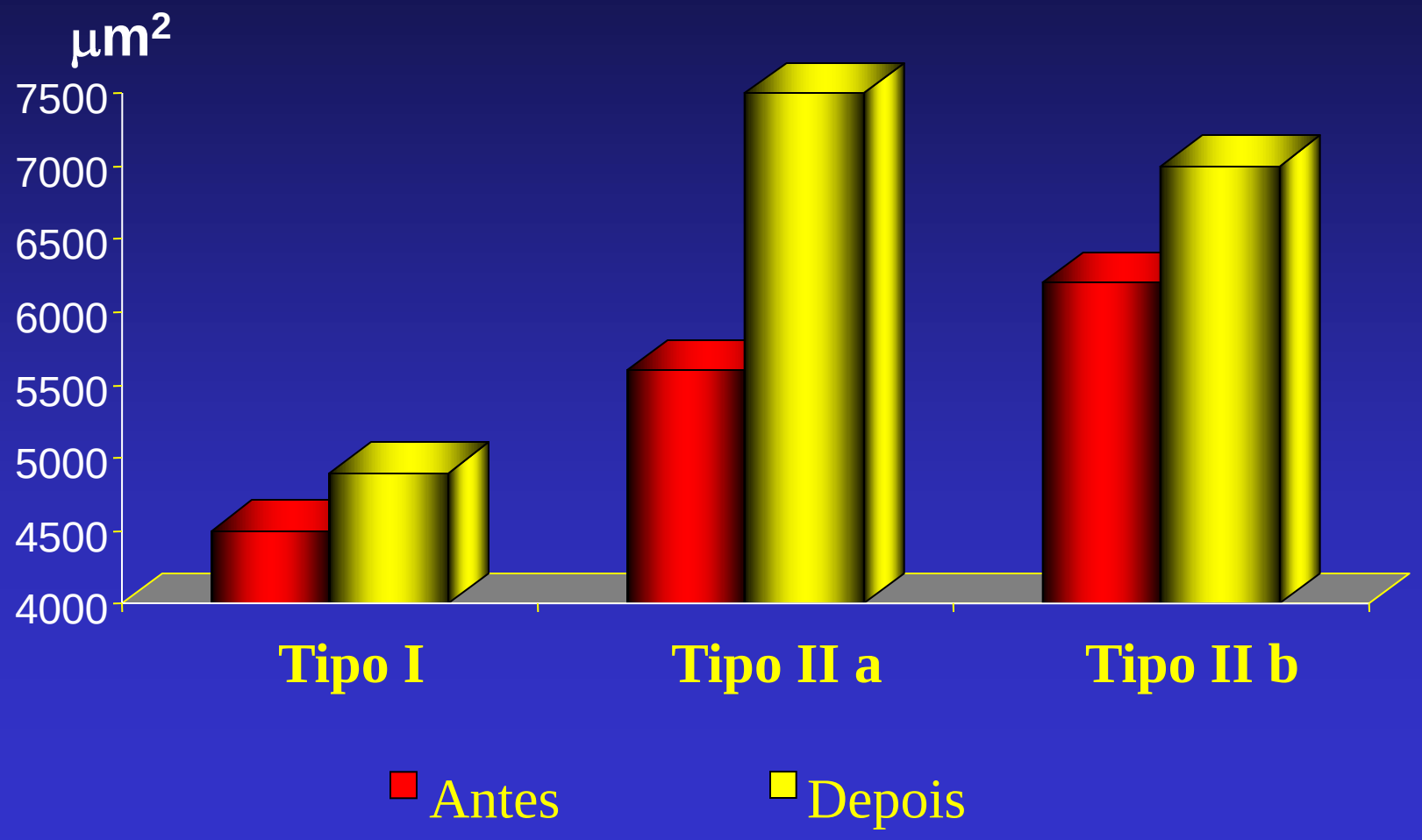
Capilarização

Resistência e Força

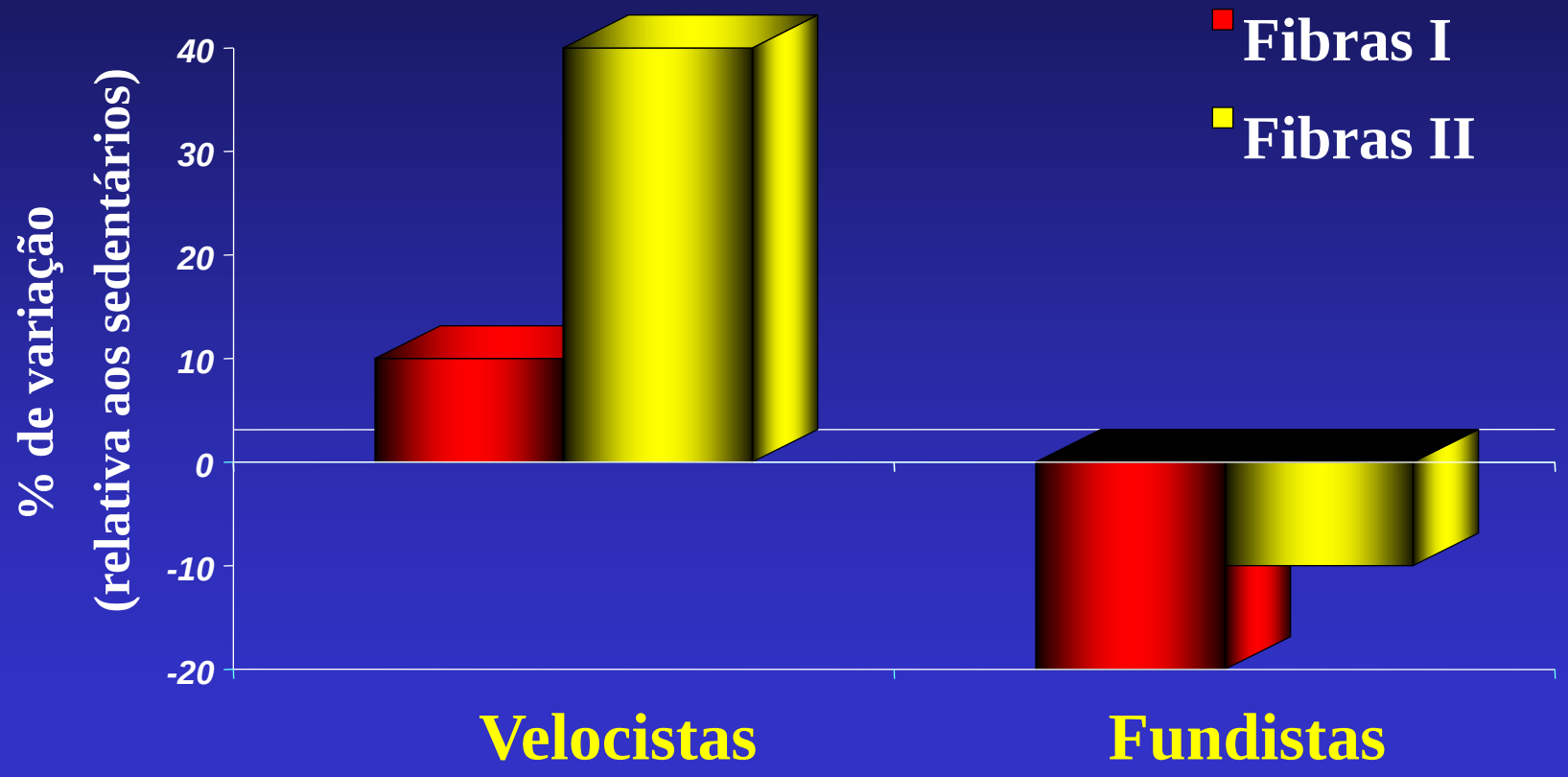


Hipertrofia muscular

Treino da força - 6 meses



Áreas dos diferentes tipos de fibras de acordo com a modalidade praticada



Brooks e Fahey, 1985

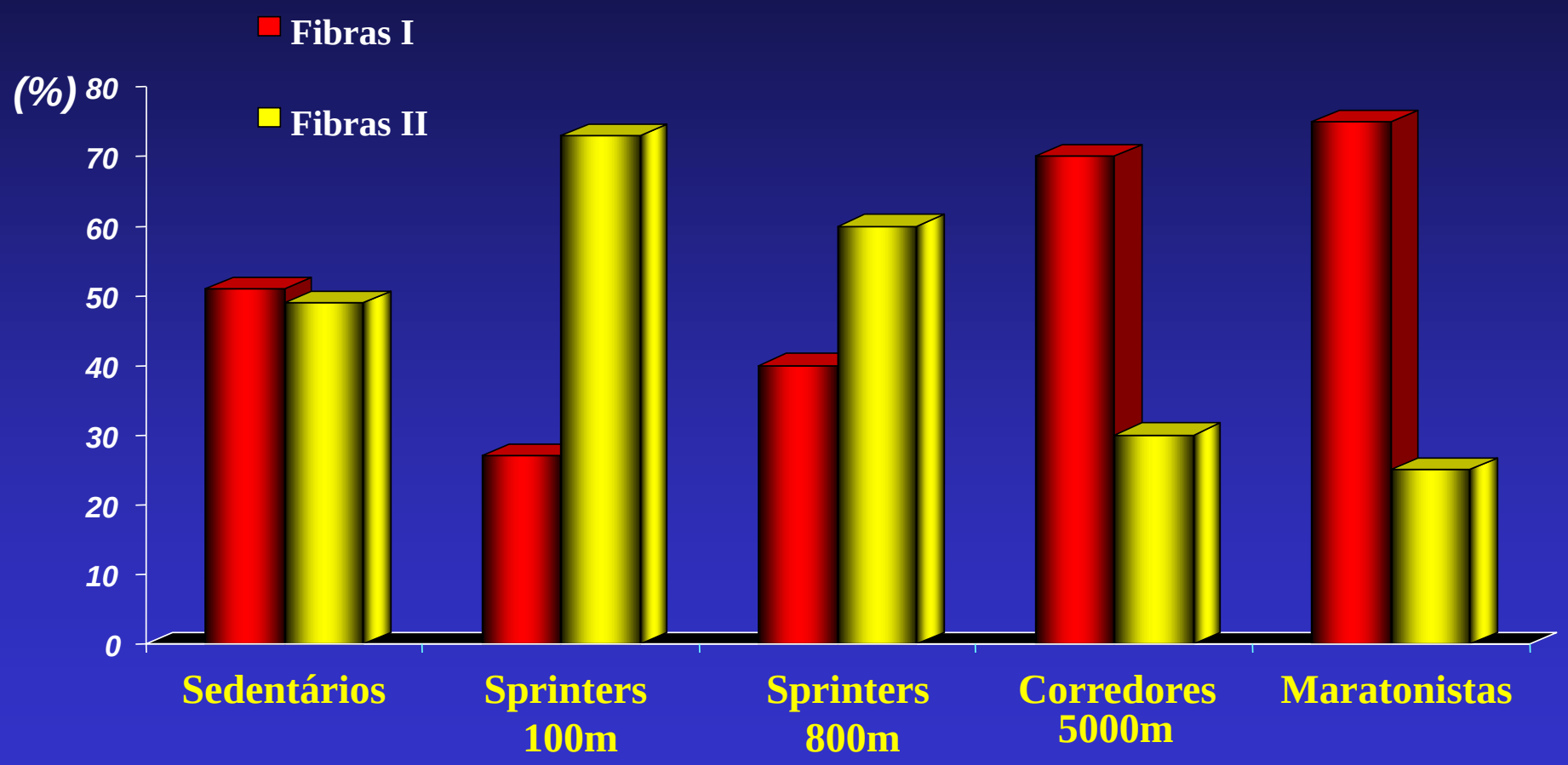
Tipo de fibras e especialidade desportiva

Atleta	Sexo	Músc.	% I	% II
Sprinter	M	Gast	24	76
	F	Gast.	27	73
Fundista	M	Gast.	79	21
	F	Gast.	69	31
Ciclista	M	VL	57	43
	F	VL	51	49
Nadador	M	Delt.	67	33
Halterof.	M	Gast.	44	56
	M	Delt.	53	47
Canoistas	M	Delt.	71	29
Sedent.	M	VL	47	53
	F	Gast.	52	48

Variações na % de distribuição de fibras

de acordo com o tipo de modalidade praticada

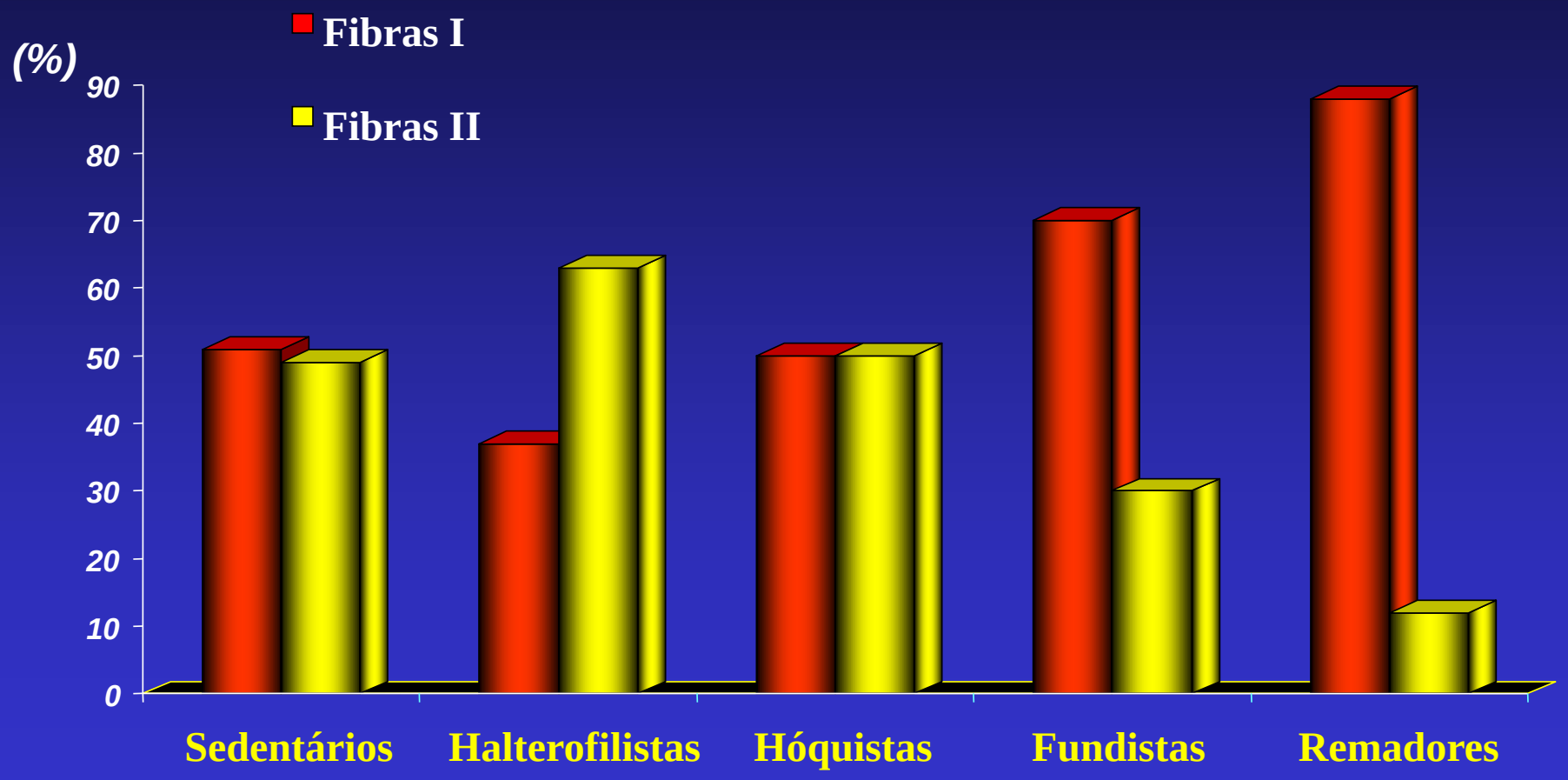
(Vastus lateralis)



Taylor et al., 1985

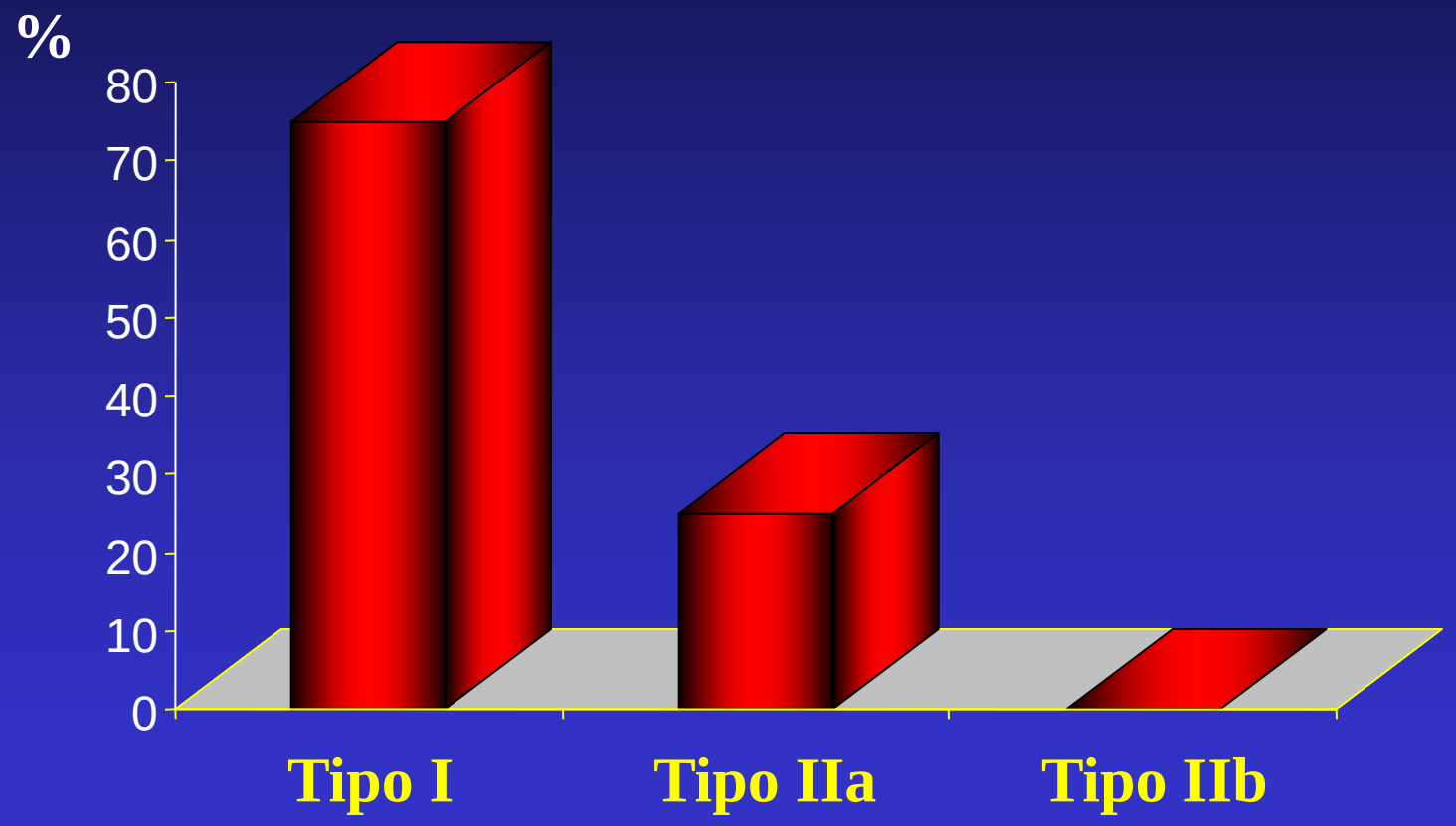
Variações na % de distribuição de fibras

de acordo com o tipo de modalidade praticada



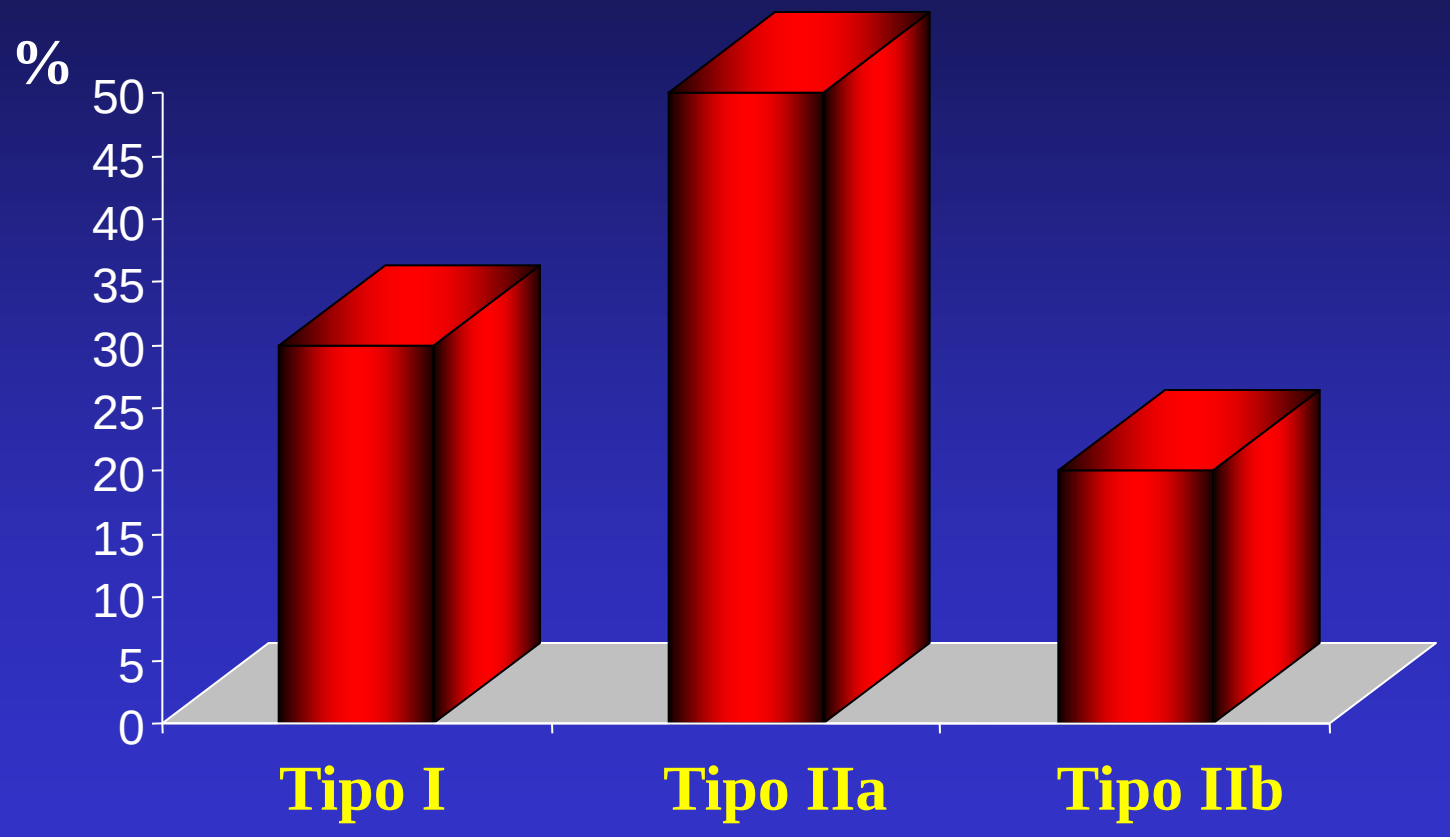
Fundista

Composição muscular



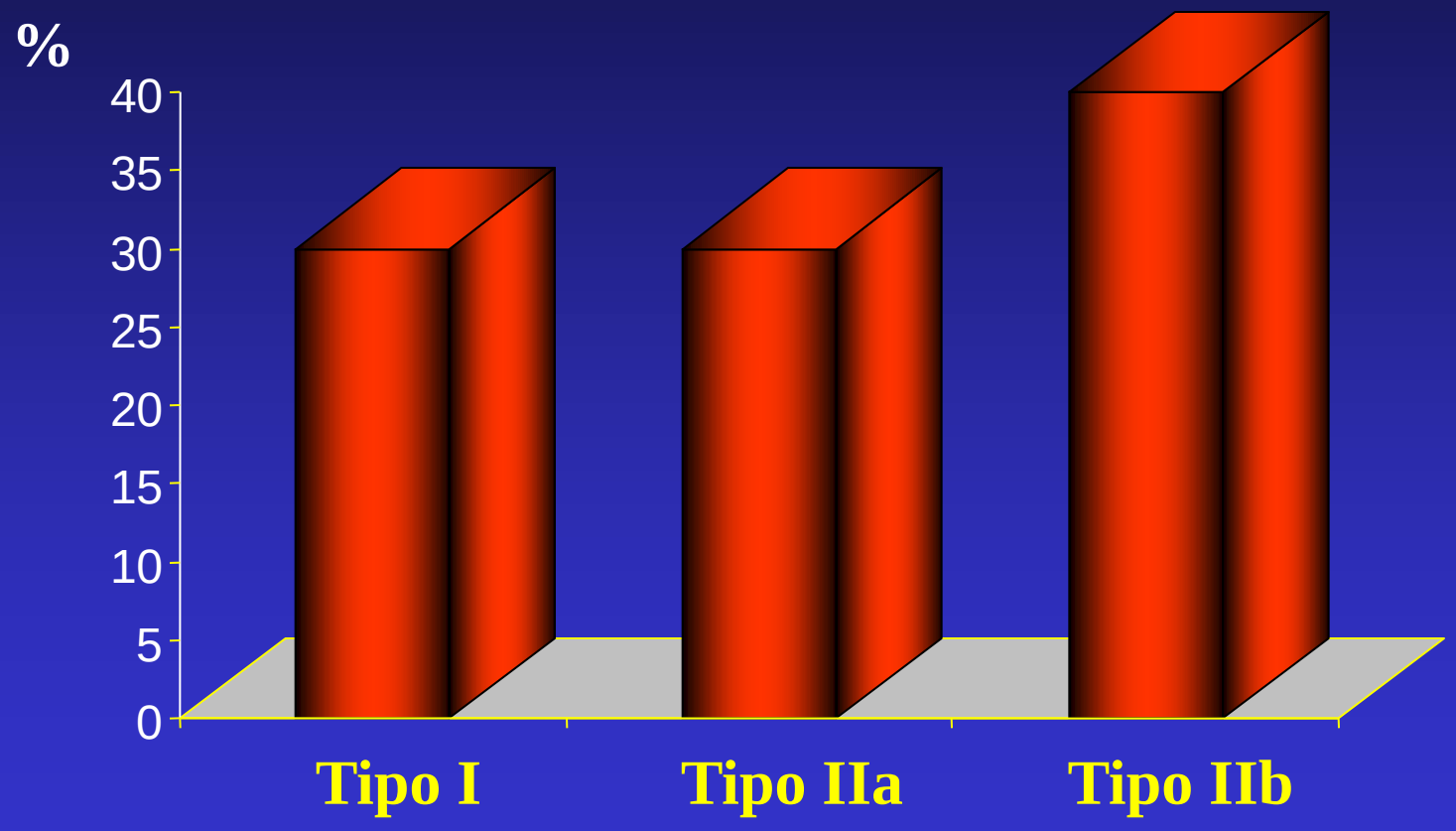
Meio fundista

Composição muscular

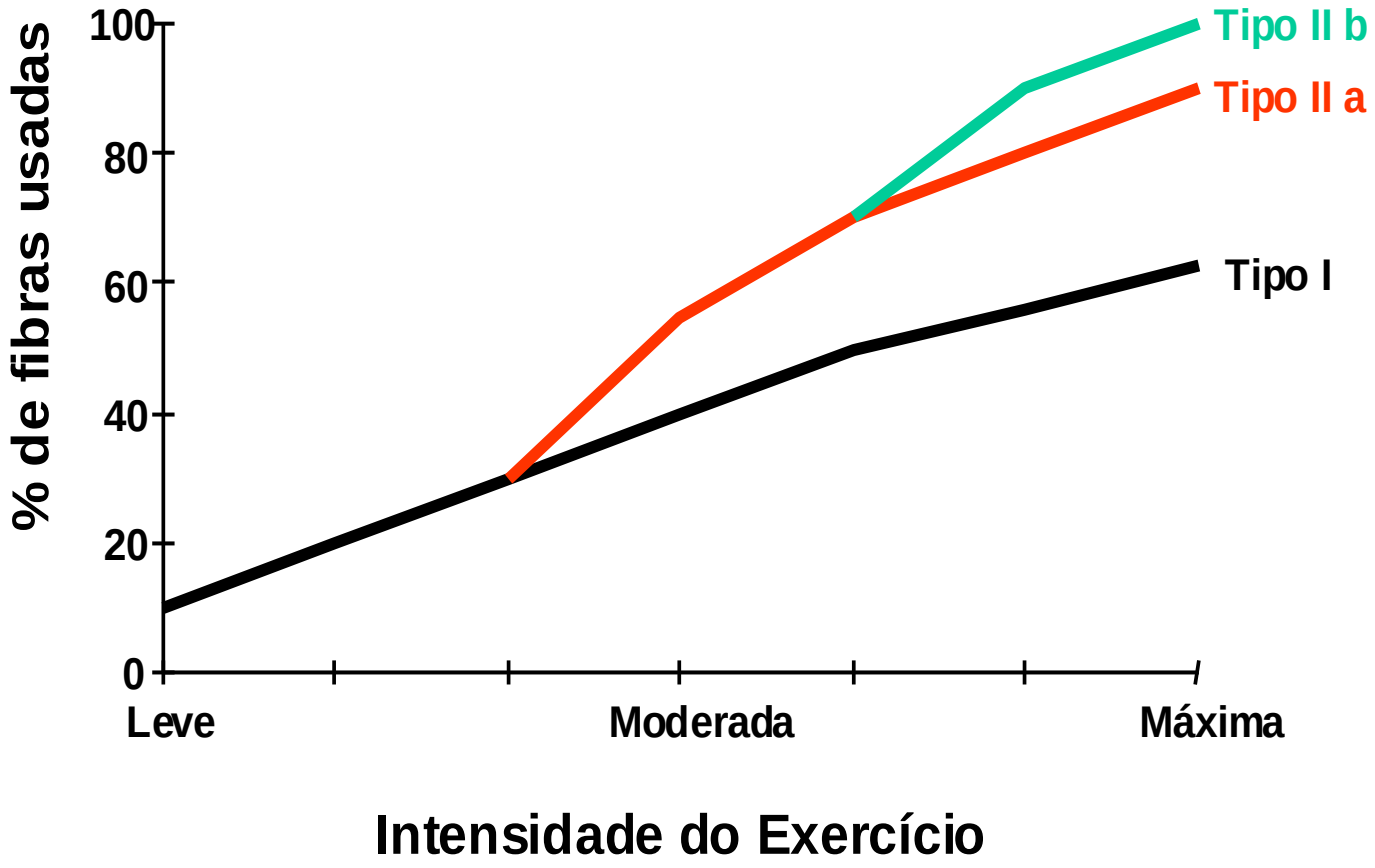


Velocista

Composição muscular



RECRUTAMENTO DAS FIBRAS MUSCULARES



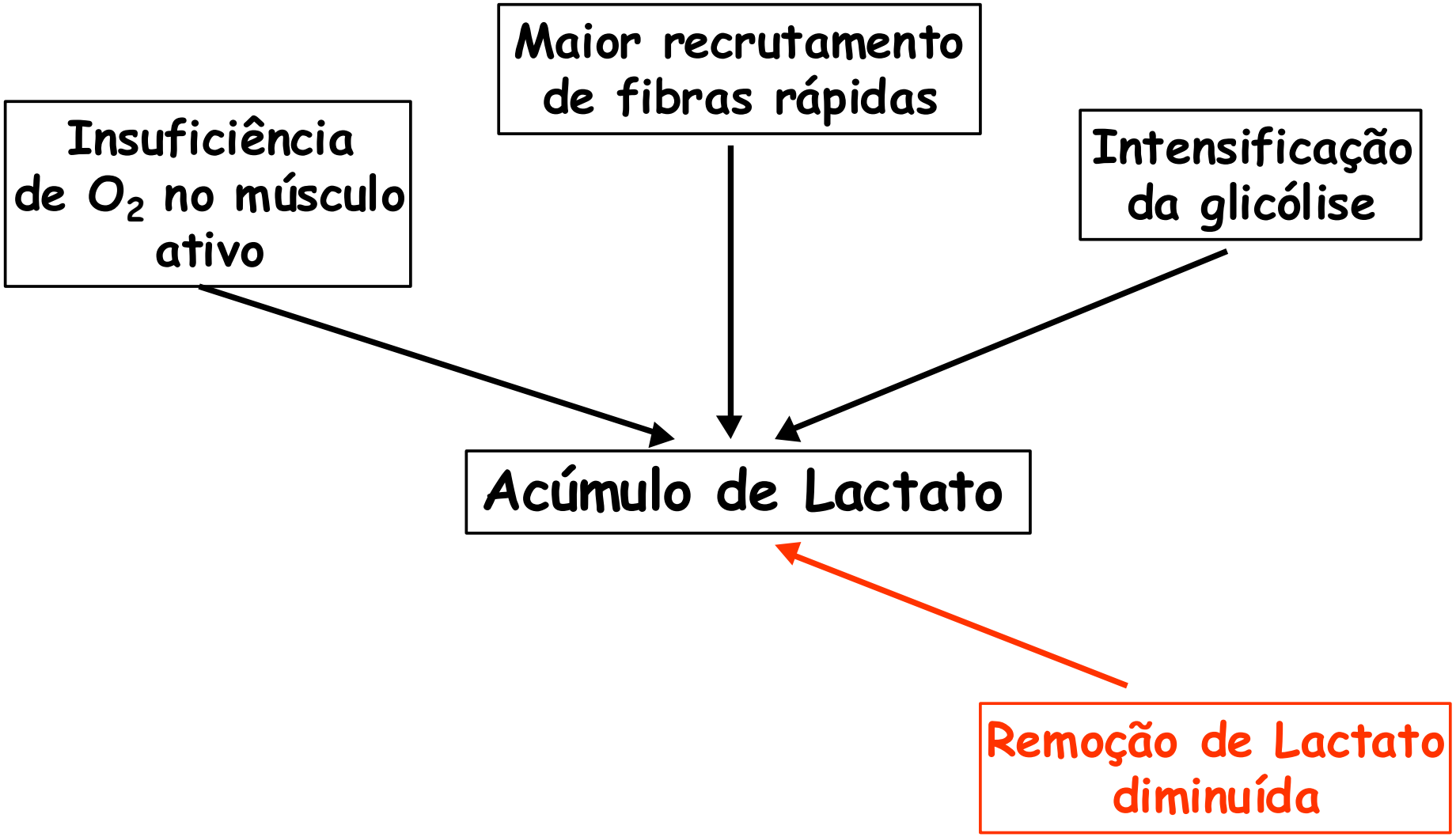
3) Com o incremento de carga ocorre uma maior liberação de catecolaminas (norepinefrina e epinefrina)

↑ Catecolaminas ↑ Glicogenólise ↑ Glicólise

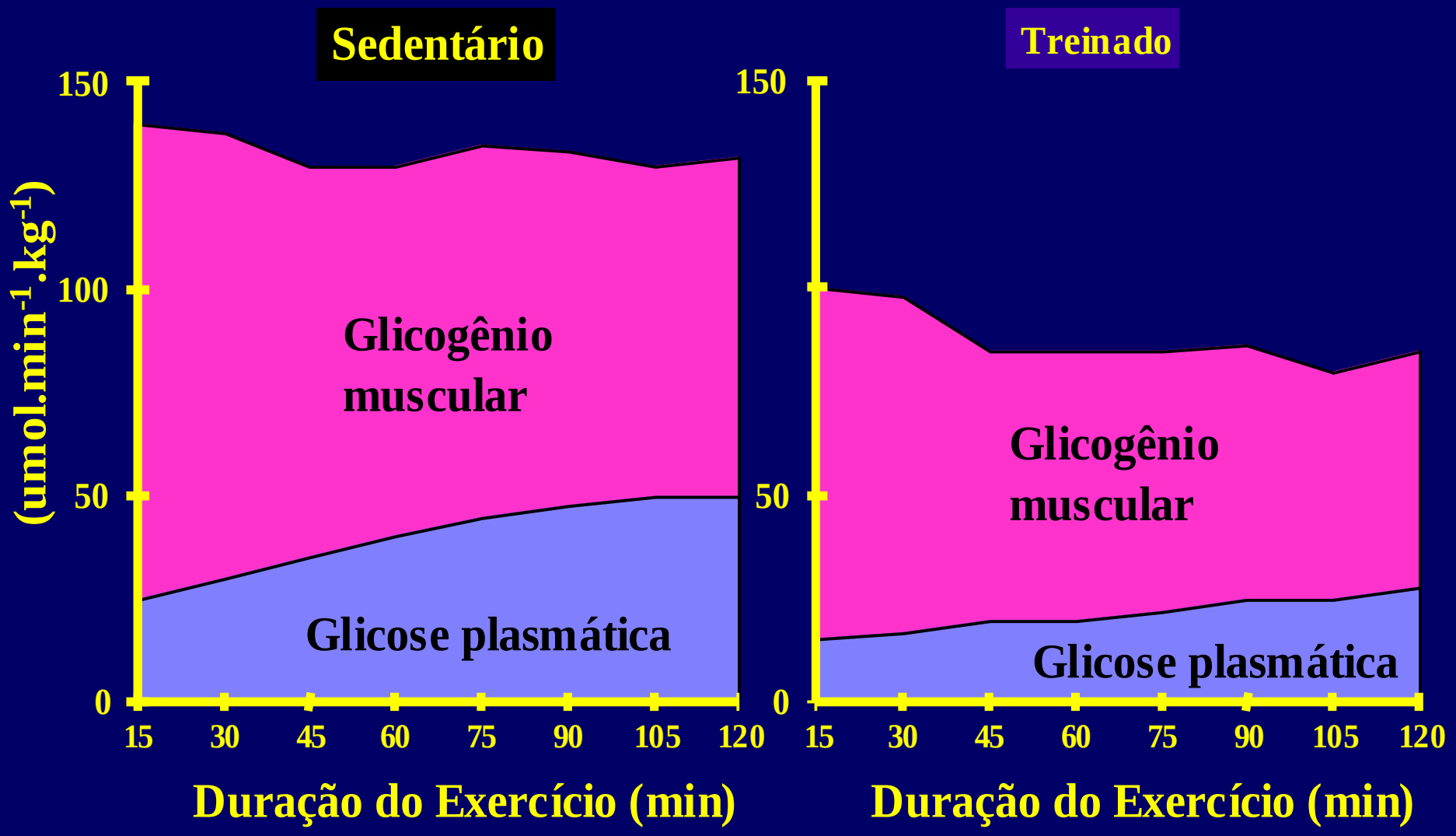
↑ Produção de Lactato.

4) Com o incremento de carga ocorre modificações na taxa de remoção de Lactato.

	[Lactato]	= Produção	- Remoção
Ex. leve	↔	↑	↑
Ex. Mod-Int	↑	↑↑	↓
Ex. Intenso	↑↑↑↑↑	↑↑↑↑	↓↓


Maior recrutamento de fibras rápidas
Insuficiência de O_2 no músculo ativo
Intensificação da glicólise
Acúmulo de Lactato
Remoção de Lactato diminuída

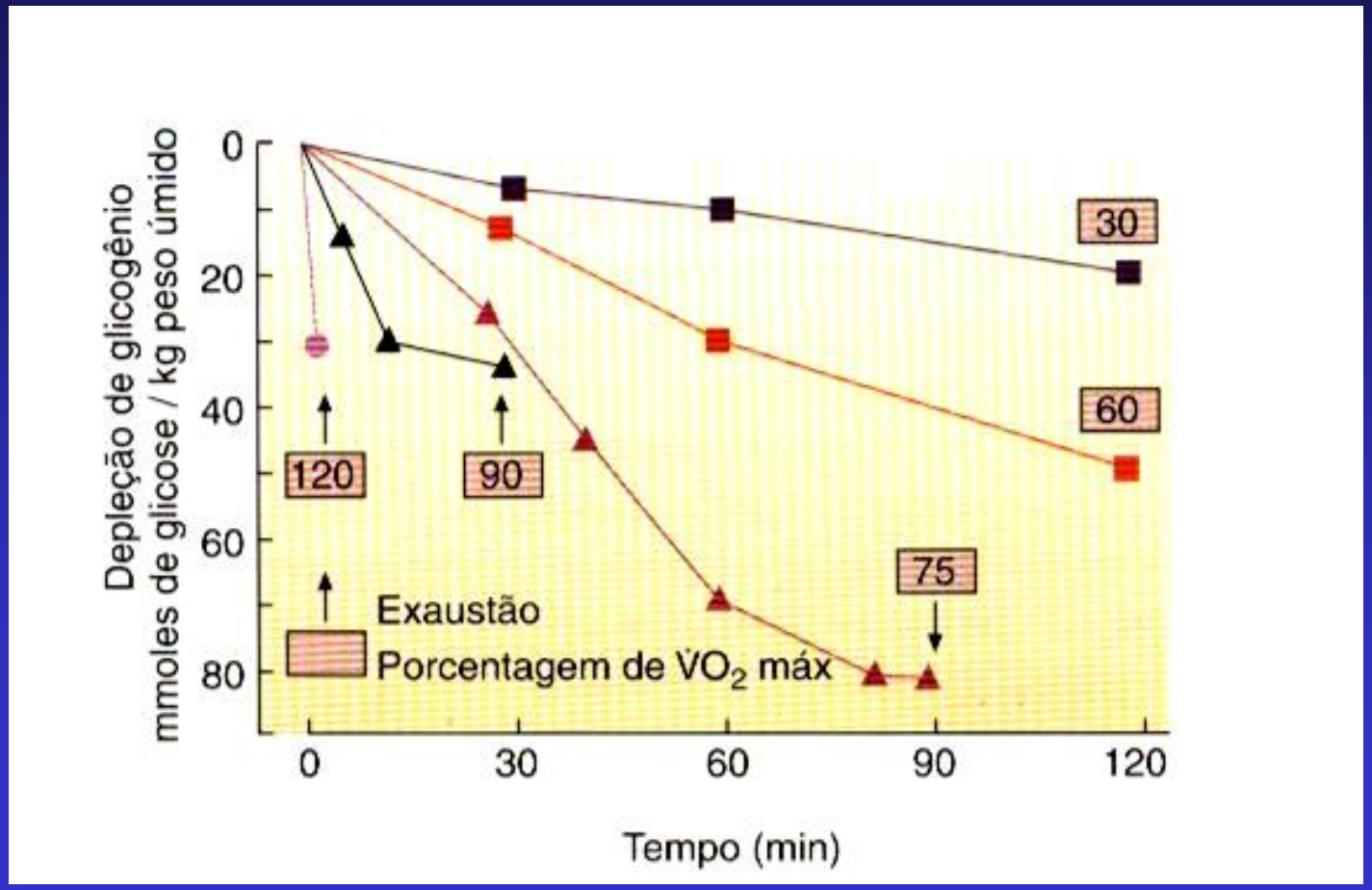
Treinamento Físico e Oxidação de Carboidratos



F6.2

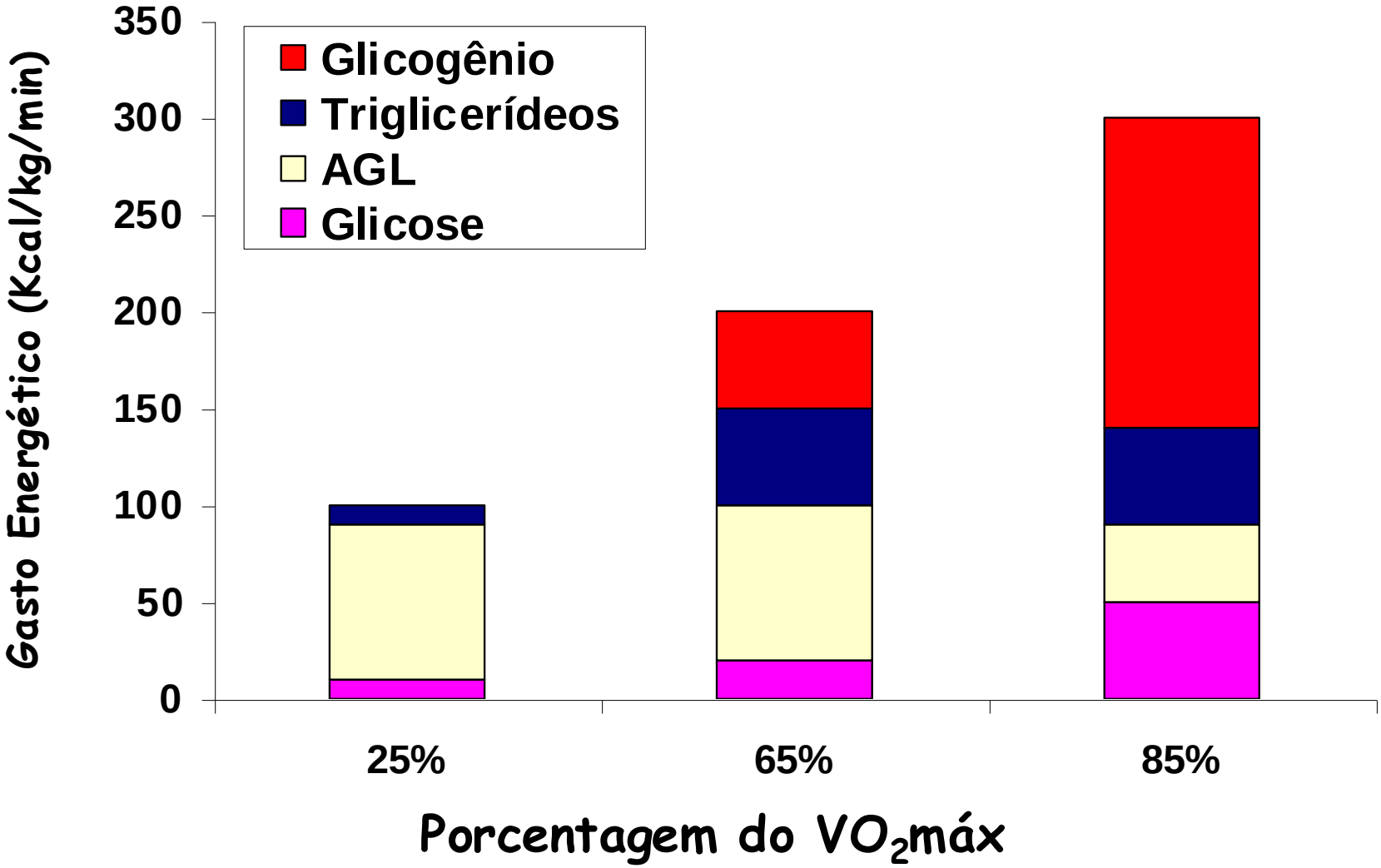
Adaptado de Hargreaves, 199

Depleção de glicogênio no músculo quadríceps durante o exercício com aumento gradual de intensidade em bicicleta

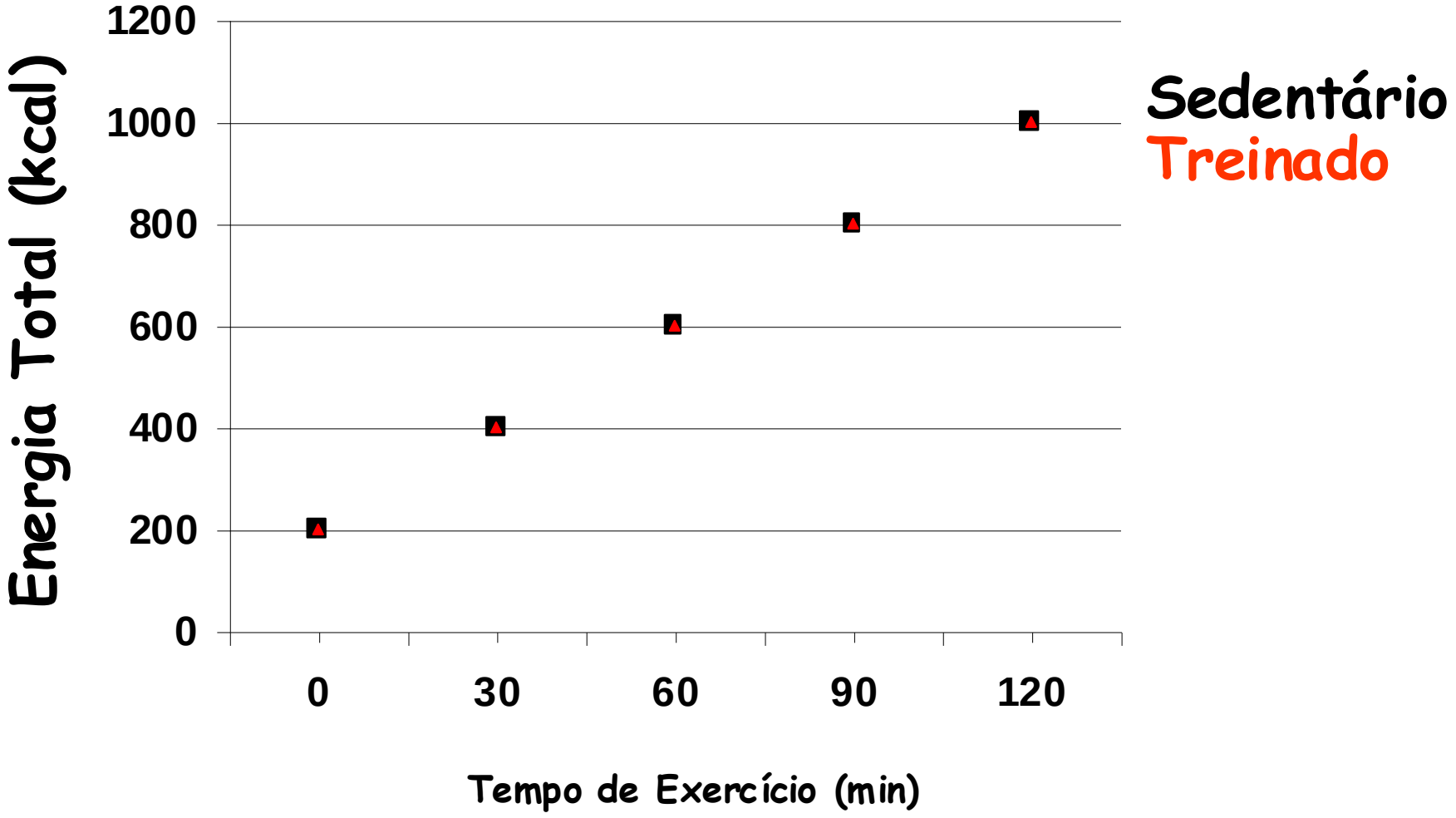


Powers e Howley, 2000

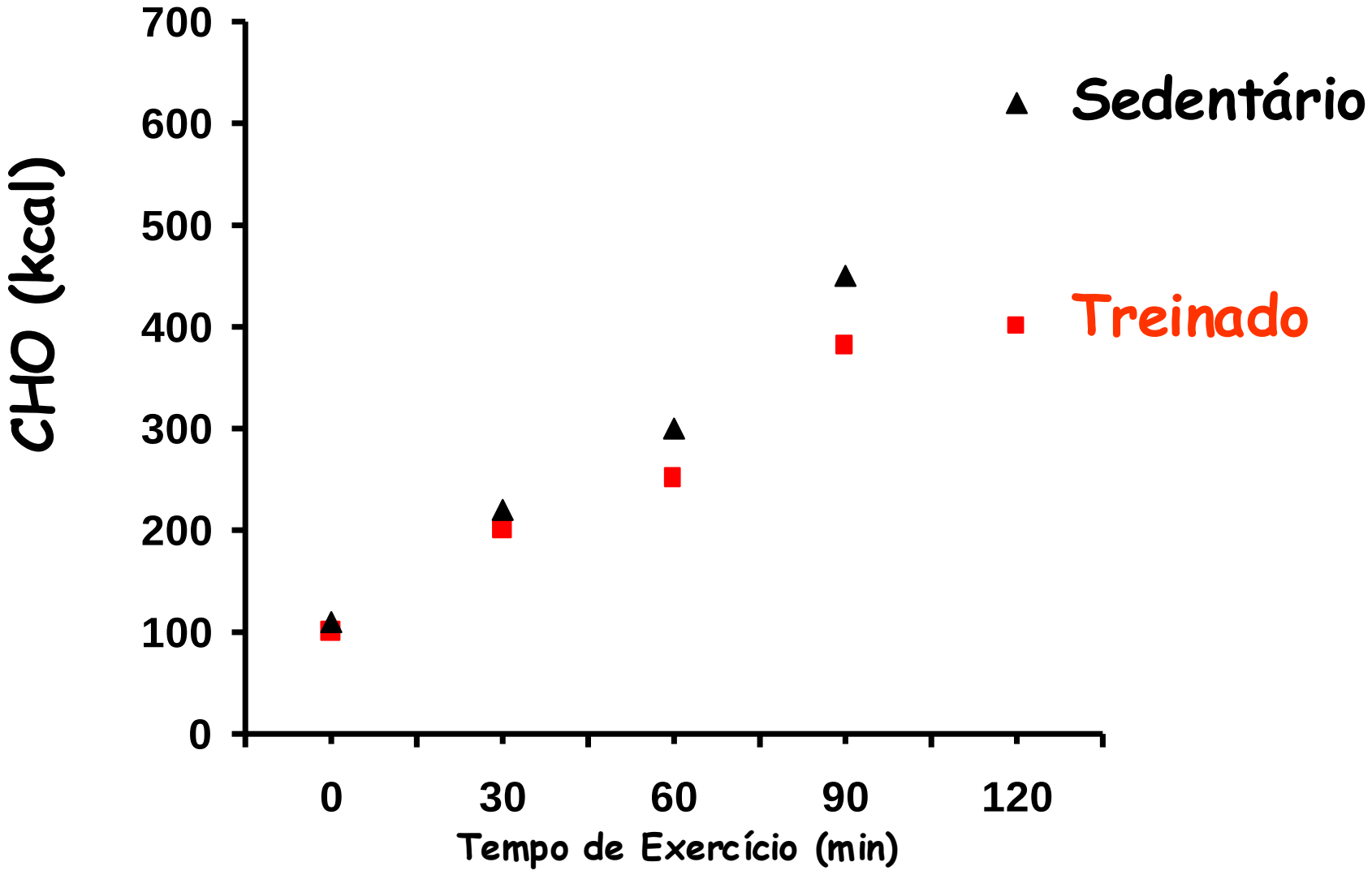
Efeito da Intensidade do Exercício na Utilização de Substrato



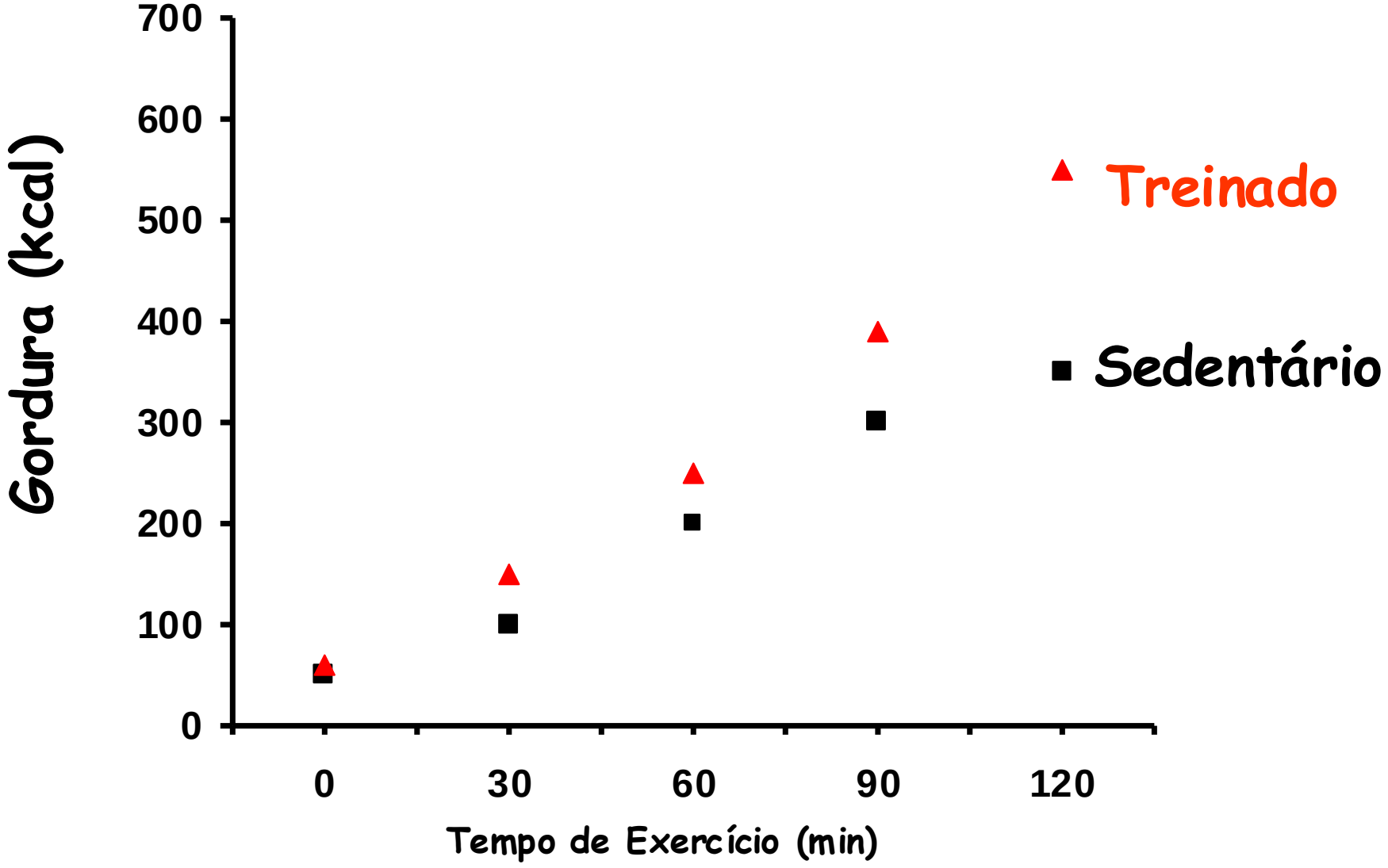
Efeito do Treinamento Físico no Gasto Calórico Total



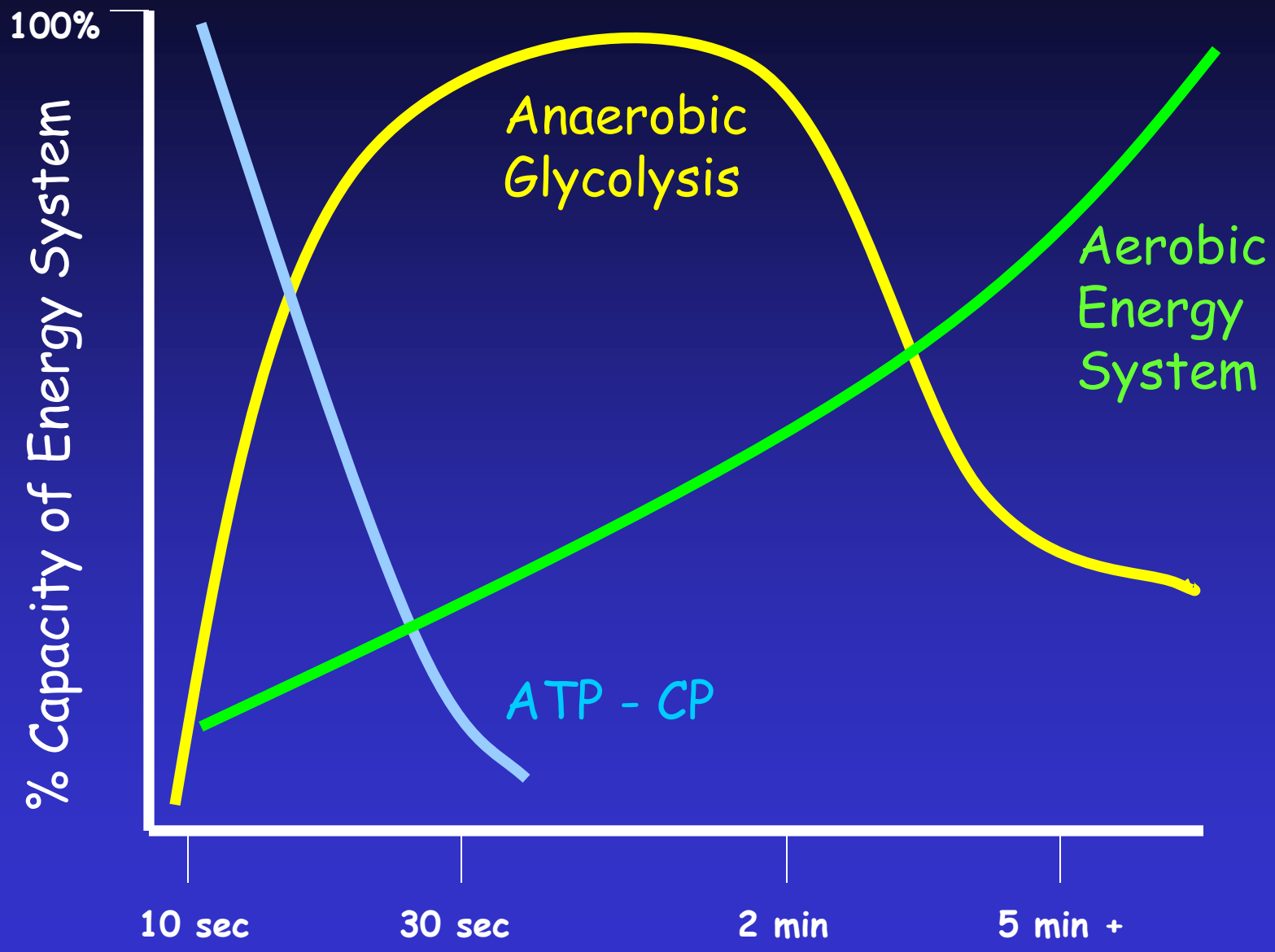
Efeito do Treinamento Físico no Metabolismo de Carboidratos



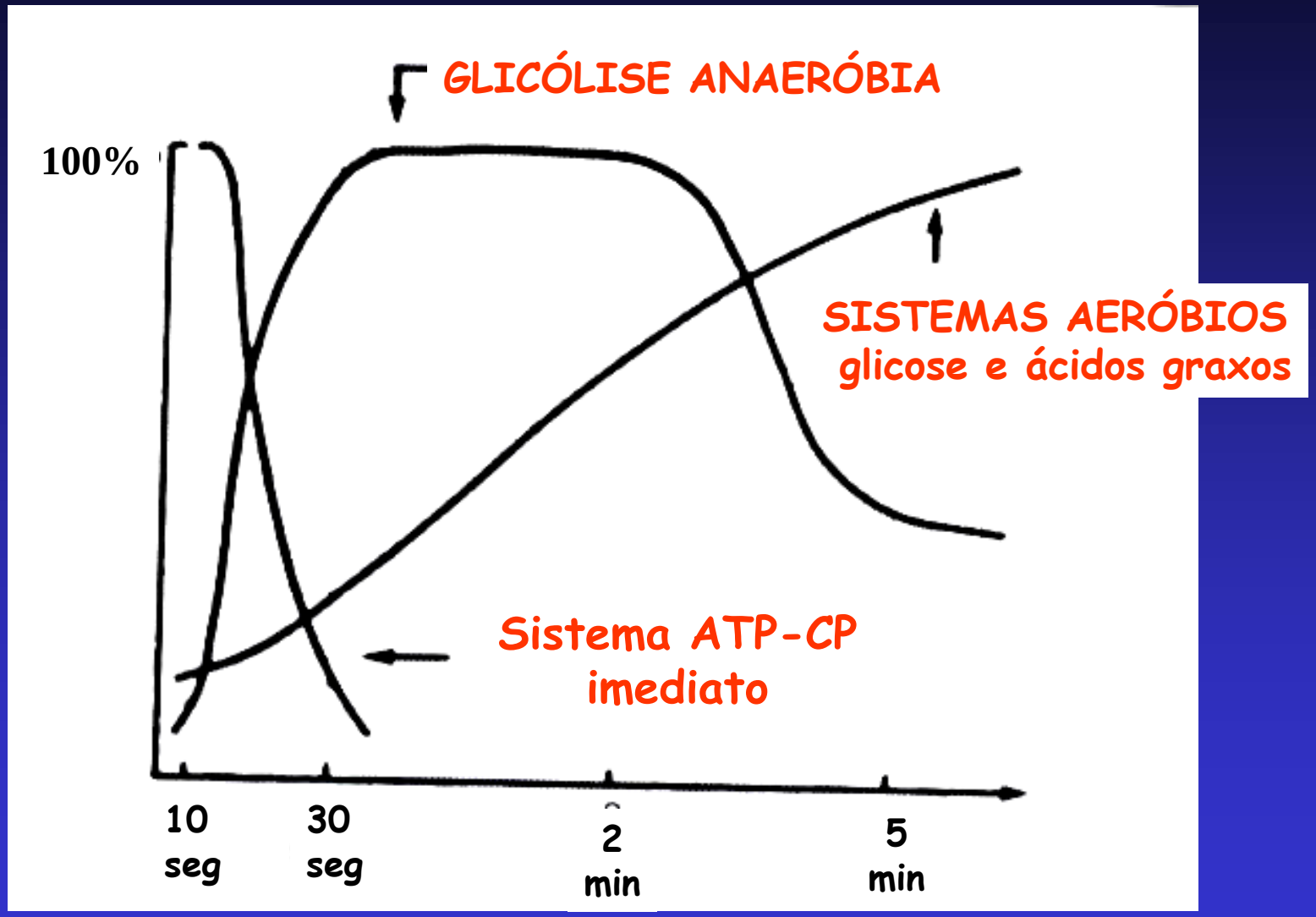
Efeito do Treinamento Físico no Metabolismo de Gordura

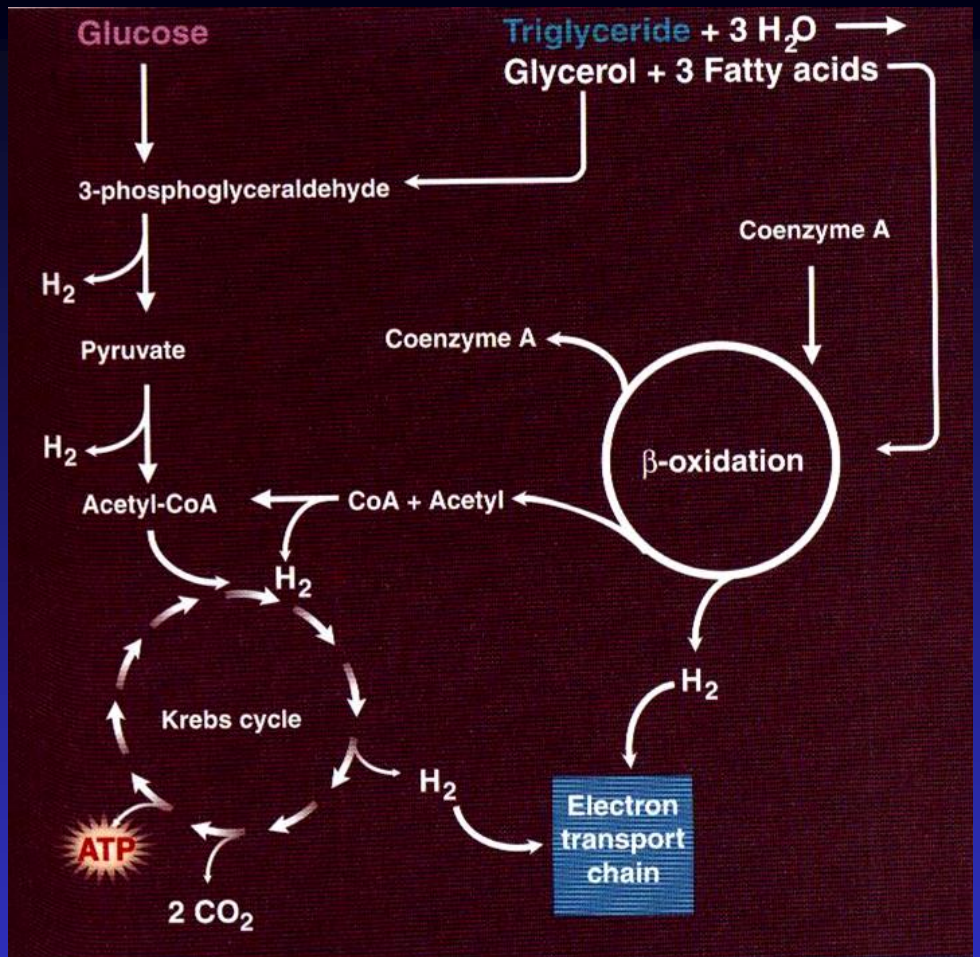


Energy Transfer Systems and Exercise

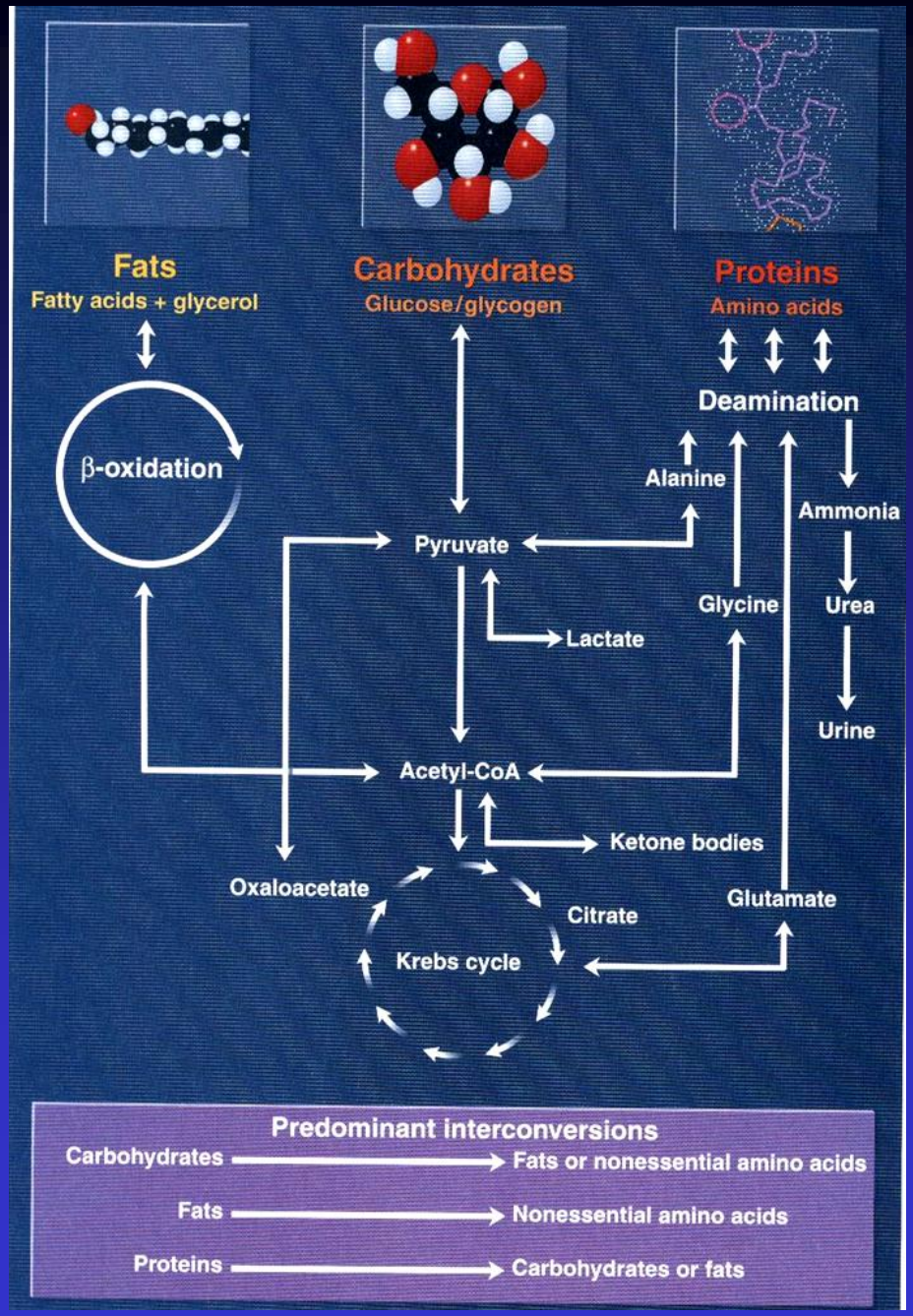
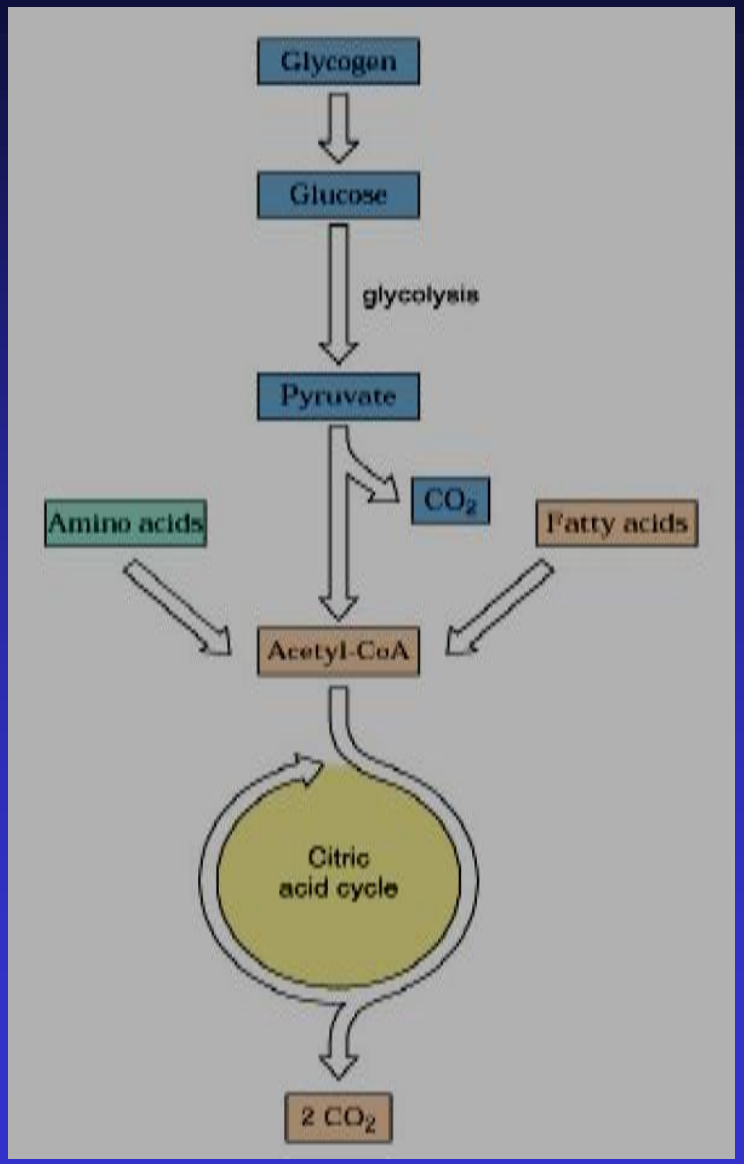


Sistemas de Obtenção de energia durante o exercício físico





Source	Pathway	ATP yield per molecule neutral fat
1 molecule glycerol	Glycolysis + Krebs cycle	19
3 molecules of 18-carbon fatty acid	β-oxidation + Krebs cycle	441
	Total:	460 ATP


Fats
Fatty acids + glycerol
Carbohydrates
Glucose/glycogen
Proteins
Amino acids
Deamination
β-oxidation
Alanine
Ammonia
Pyruvate
Glycine
Urea
Lactate
Urine
Acetyl-CoA
Ketone bodies
Oxaloacetate
Citrate
Glutamate
Krebs cycle
Predominant interconversions
Carbohydrates → Fats or nonessential amino acids
Fats → Nonessential amino acids
Proteins → Carbohydrates or fats

Fontes de AcetilCoA