

METABOLISMO E FONTES ENERGÉTICAS NO EXERCÍCIO

PARTE 2

Dra. Flávia Cristina Goulart
CIÊNCIAS FISIOLÓGICAS

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Campus de Marília

flaviagoulart@marilia.unesp.br

Déficit de Oxigênio no Início do Exercício

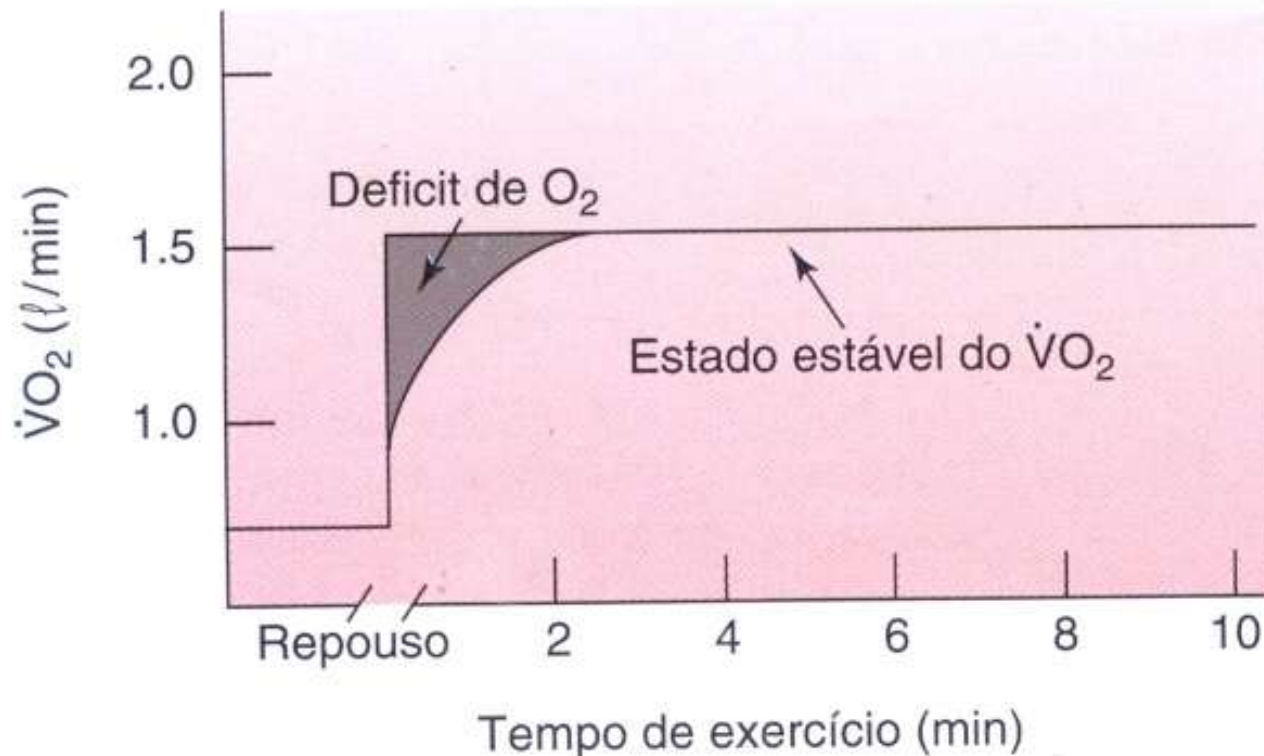
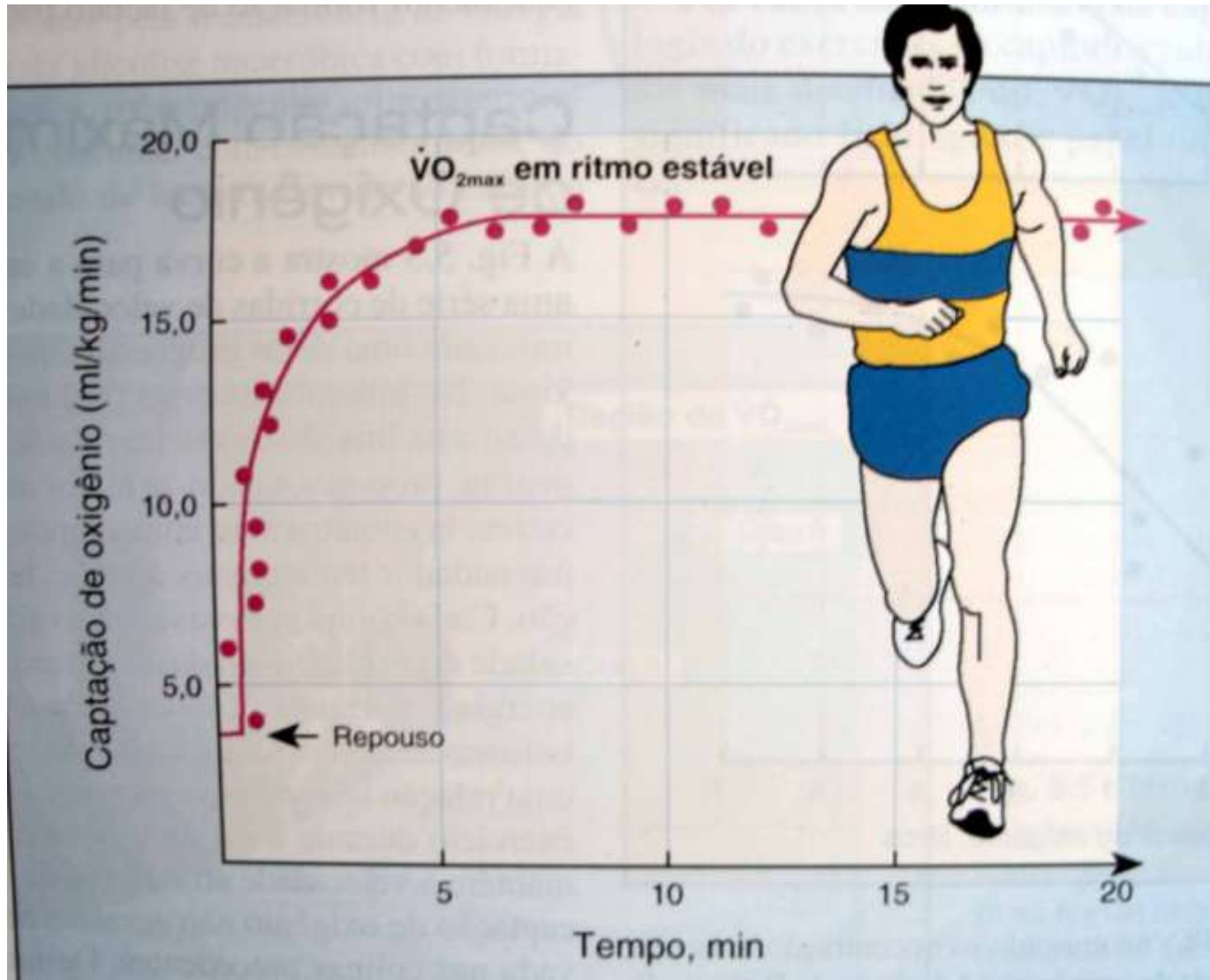


Figura 4.1

A evolução no decorrer do tempo da captação de oxigênio ($\dot{V}O_2$) na transição do repouso ao exercício submáximo.

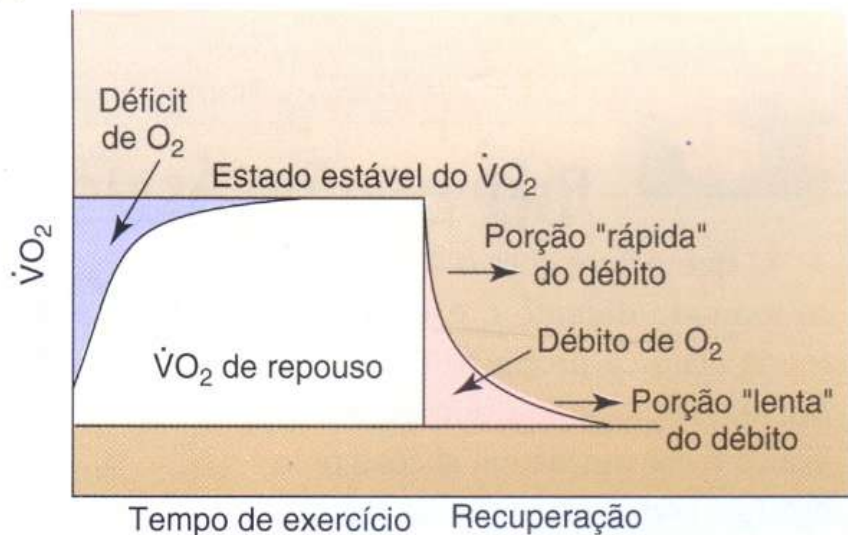
O $\dot{V}O_2$ é a Consumo de Oxigênio necessário para desenvolver determinada atividade física aeróbica. Por isto é usado como medida do condicionamento cardiovascular



Trote contínuo com um ritmo relativamente lento.

EPOC – Excess Post-Exercise Oxygen Consumption

(a) Exercício leve



(b) Exercício intenso

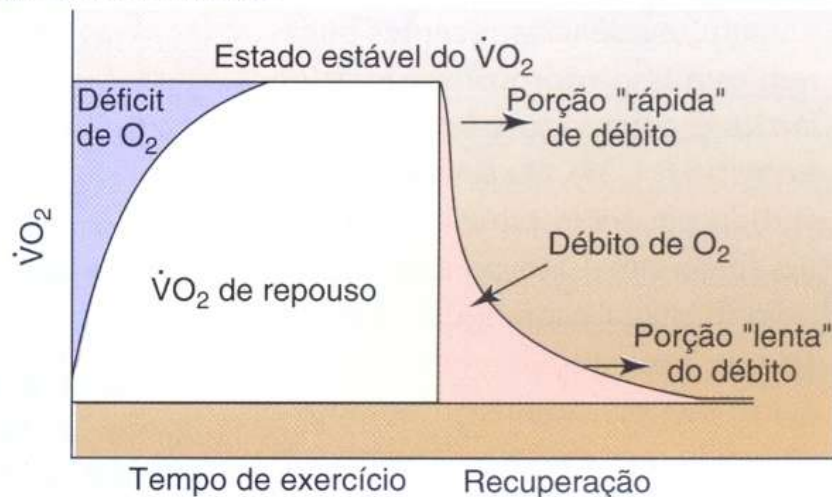


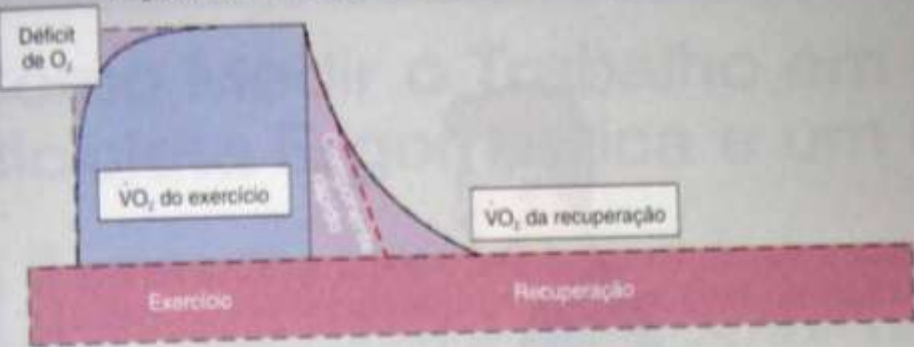
Figura 4.3

Déficit e débito de oxigênio durante o exercício leve/moderado (a) e intenso (b).

Déficit de Oxigênio e EPOC variam com a Intensidade do Exercício

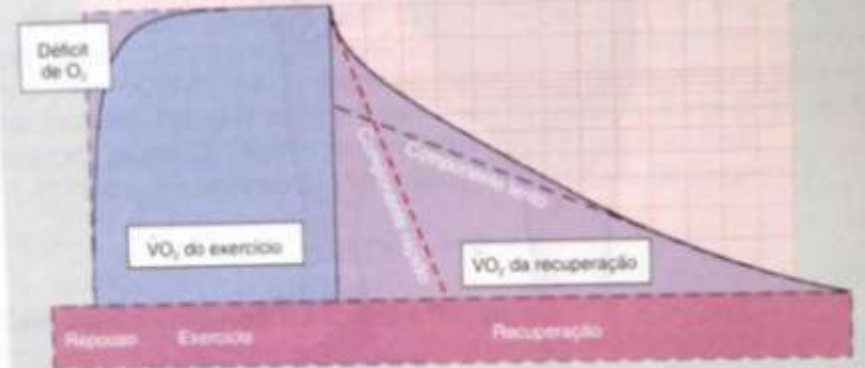
A Exercício aeróbico leve

$\dot{V}O_2$ em ritmo estável = demanda de energia do exercício



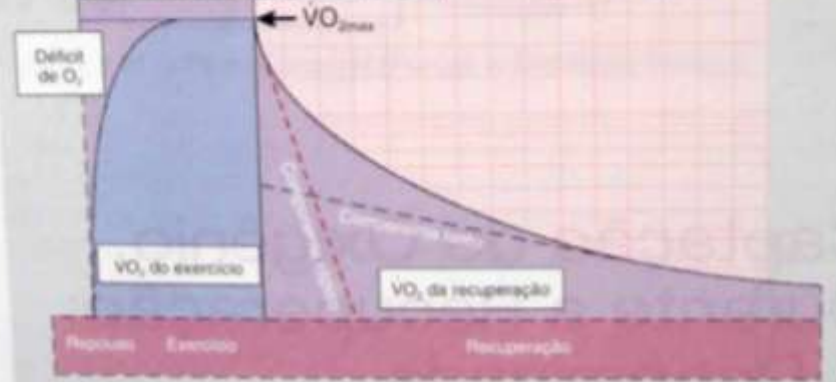
B Exercício aeróbico moderado a árduo

$\dot{V}O_2$ em ritmo estável = demanda de energia do exercício

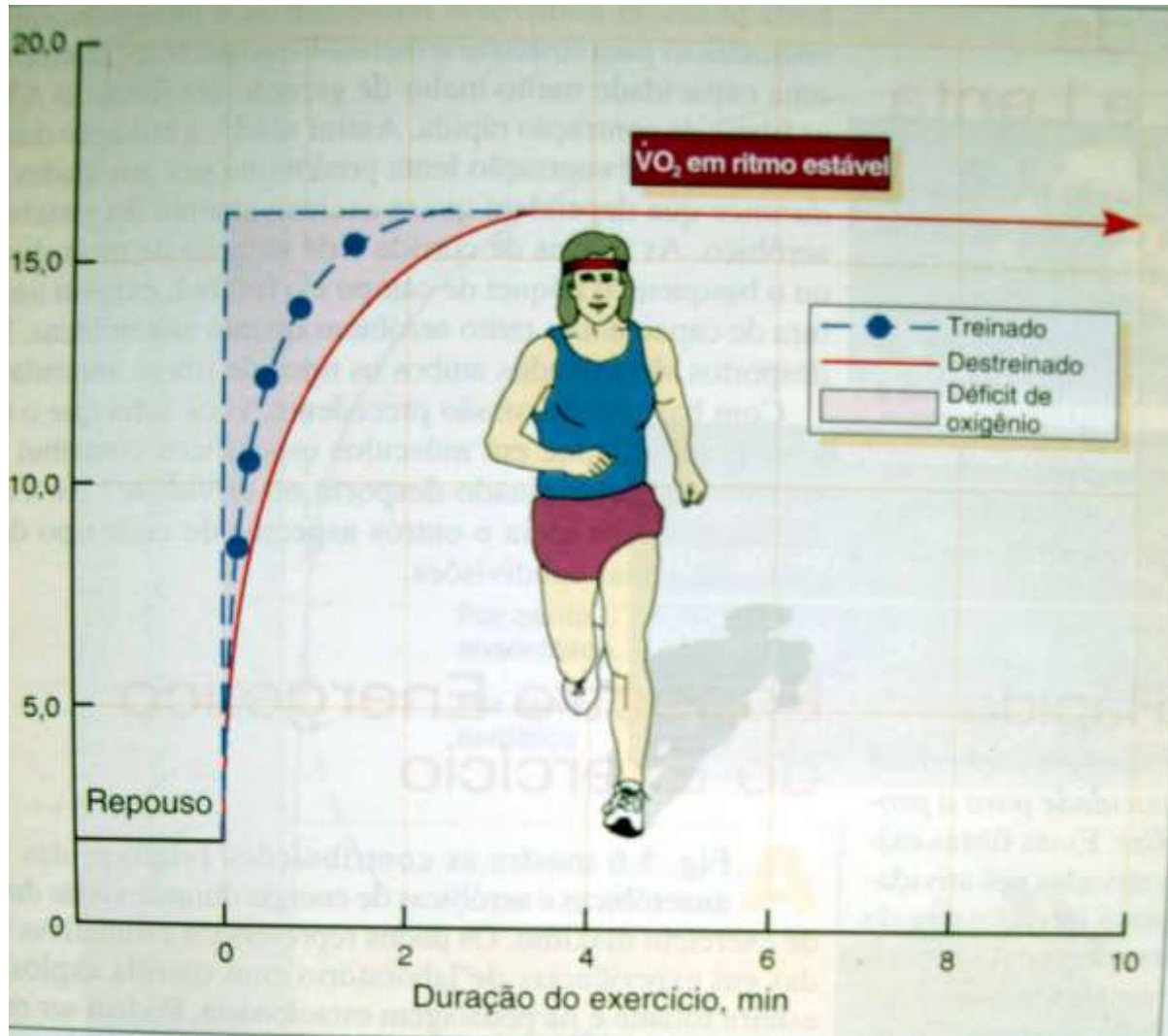


C Exercício máximo explosivo (aeróbico-anaeróbico)

Demanda de energia do exercício

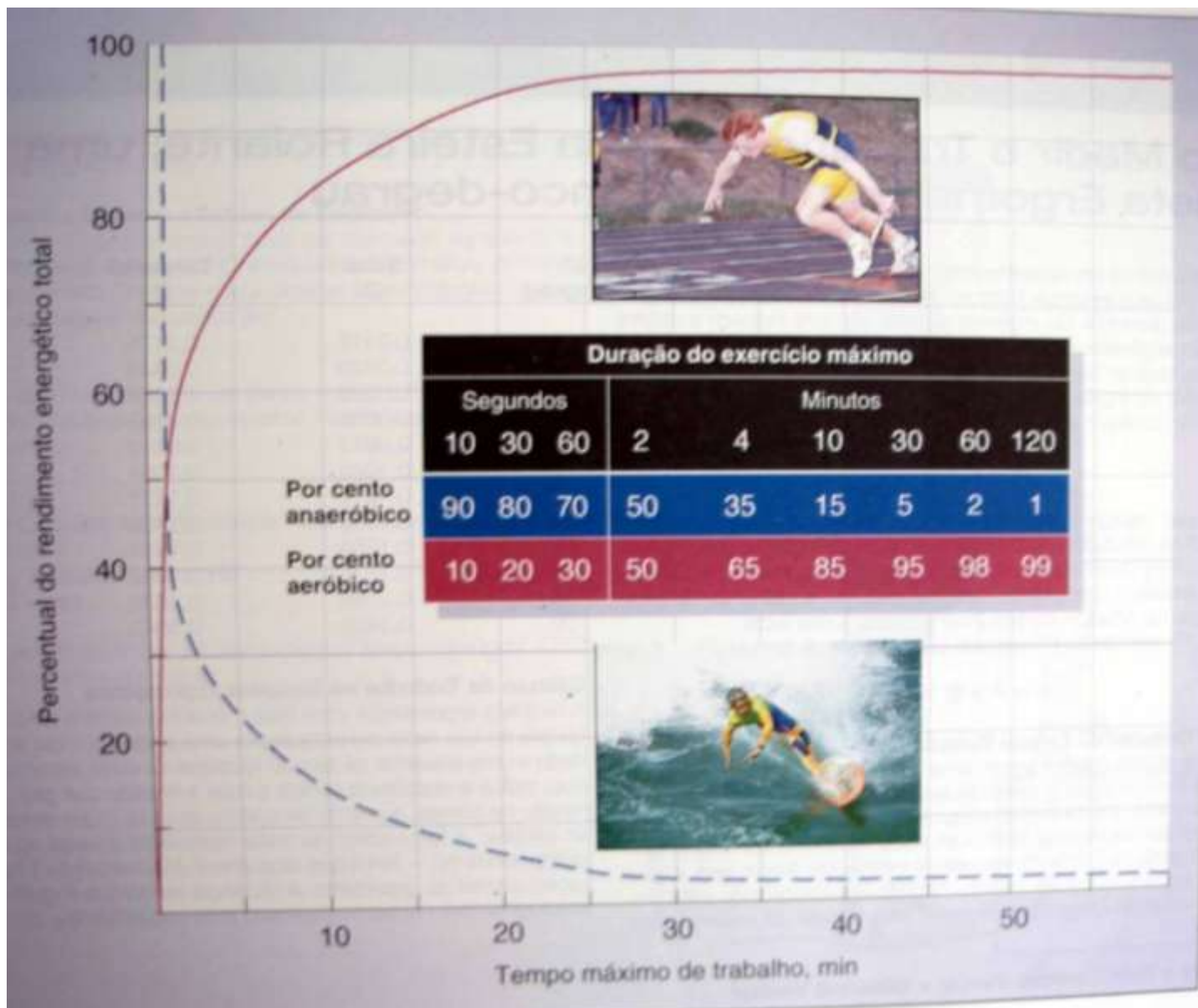


Indivíduos Treinados têm menor déficit de Oxigênio ao iniciar o exercício, atingindo uma estabilidade de $\dot{V}O_2$ em menor tempo que indivíduos Não-Treinados



Exercício submáximo na bicicleta ergométrica. Ambos os indivíduos alcançam o mesmo $\dot{V}O_2$ em ritmo estável, porém o treinado alcança em um ritmo mais rápido.

Combinação relativa do metabolismo aeróbico e anaeróbico durante o esforço físico máximo com várias durações



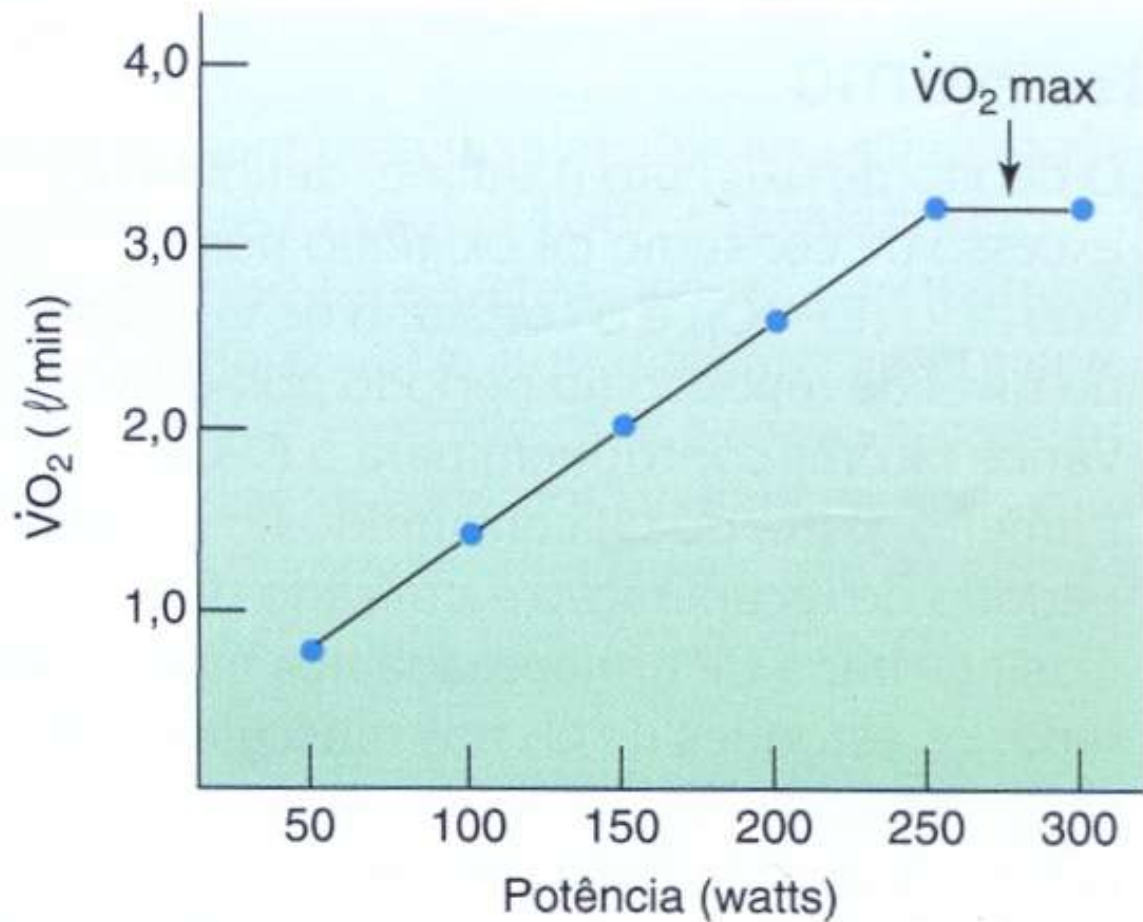
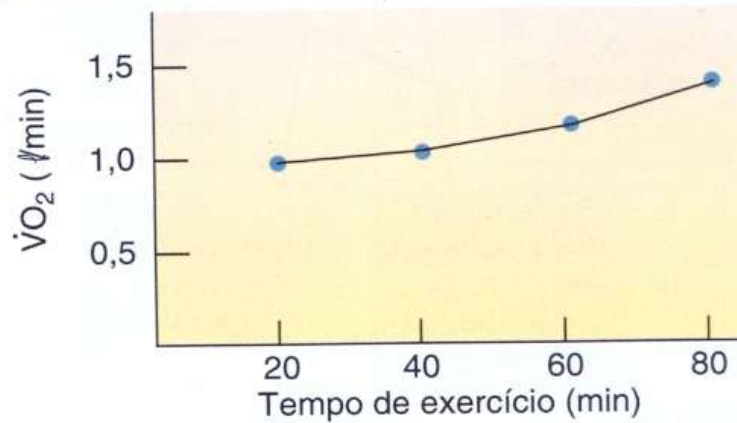


Figura 4.7

Alterações da captação de oxigênio ($\dot{V}O_2$) durante o teste de exercício progressivo. O platô observado no $\dot{V}O_2$ representa o $\dot{V}O_2$ máx.

(a) Ambiente quente e úmido



(b) Exercício de alta intensidade

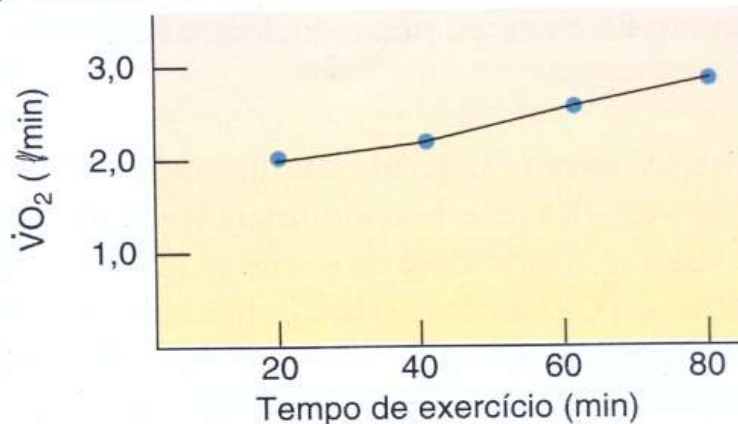
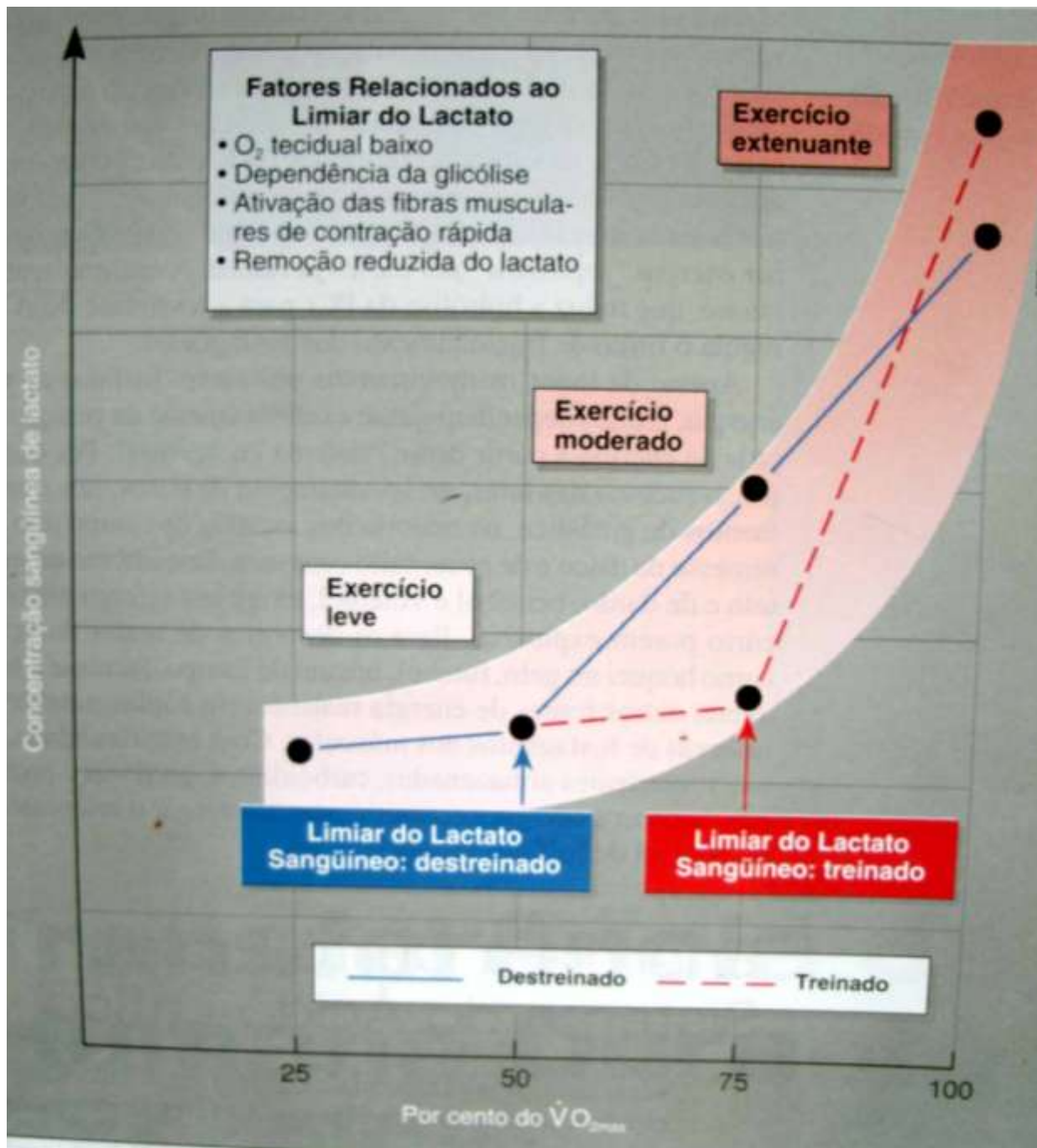


Figura 4.6

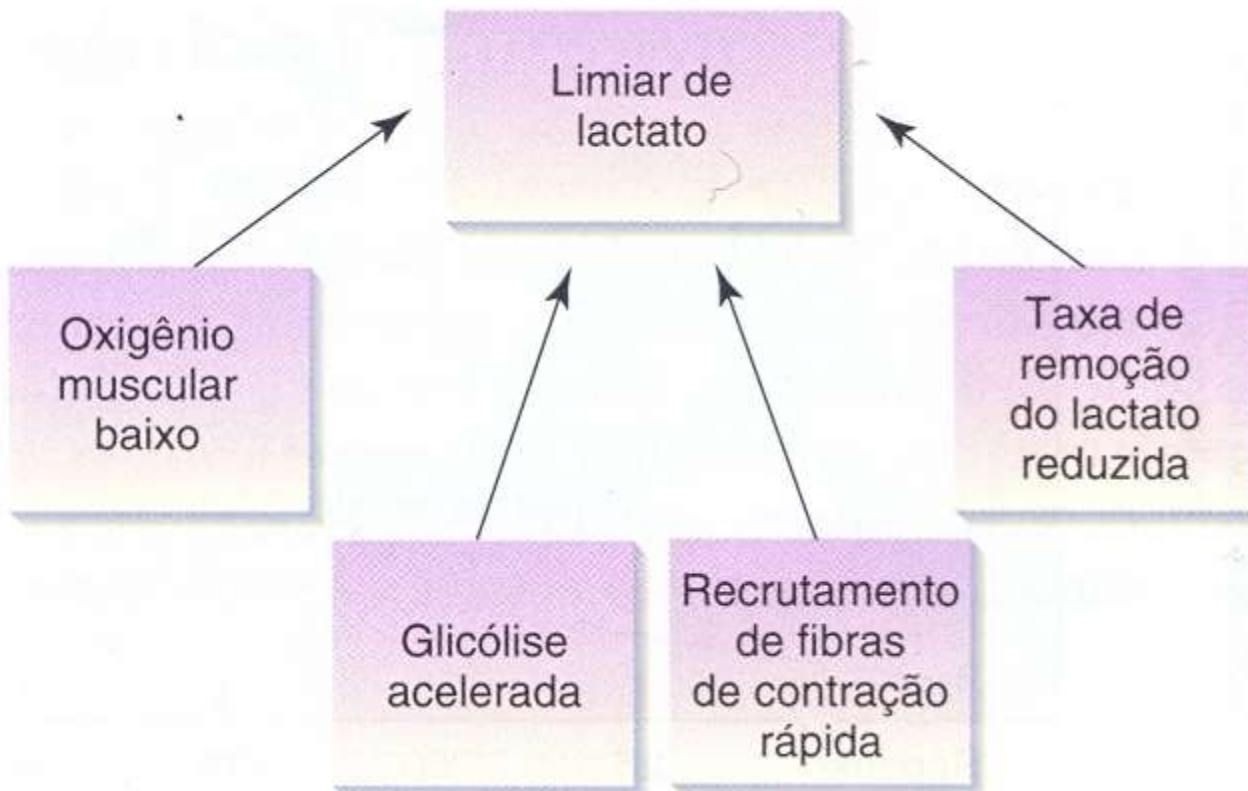
Comparação da captação de oxigênio ($\dot{V}O_2$) no tempo durante o exercício prolongado num ambiente quente e úmido (a) e durante o exercício prolongado com uma taxa de trabalho relativamente alta ($> 75\%$ do $\dot{V}O_2$ máx) (b). Observe que em ambas as condições há um “direcionamento” para cima do $\dot{V}O_2$. Ver descrição no texto.

Exercícios de Alta intensidade ou em Ambientes Quentes e úmidos não há estabilização do $\dot{V}O_2$. Isto ocorre principalmente devido ao aumento da Temperatura corporal e aumento dos níveis sanguíneos de Adrenalina e de Noradrenalina



LIMIAR DE LACTATO

Variáveis do Limiar de Lactato



Causas potenciais do limiar de lactato

Figura 4.10

Possíveis mecanismos que explicam o limiar de lactato durante o exercício progressivo. Ver detalhes no texto.

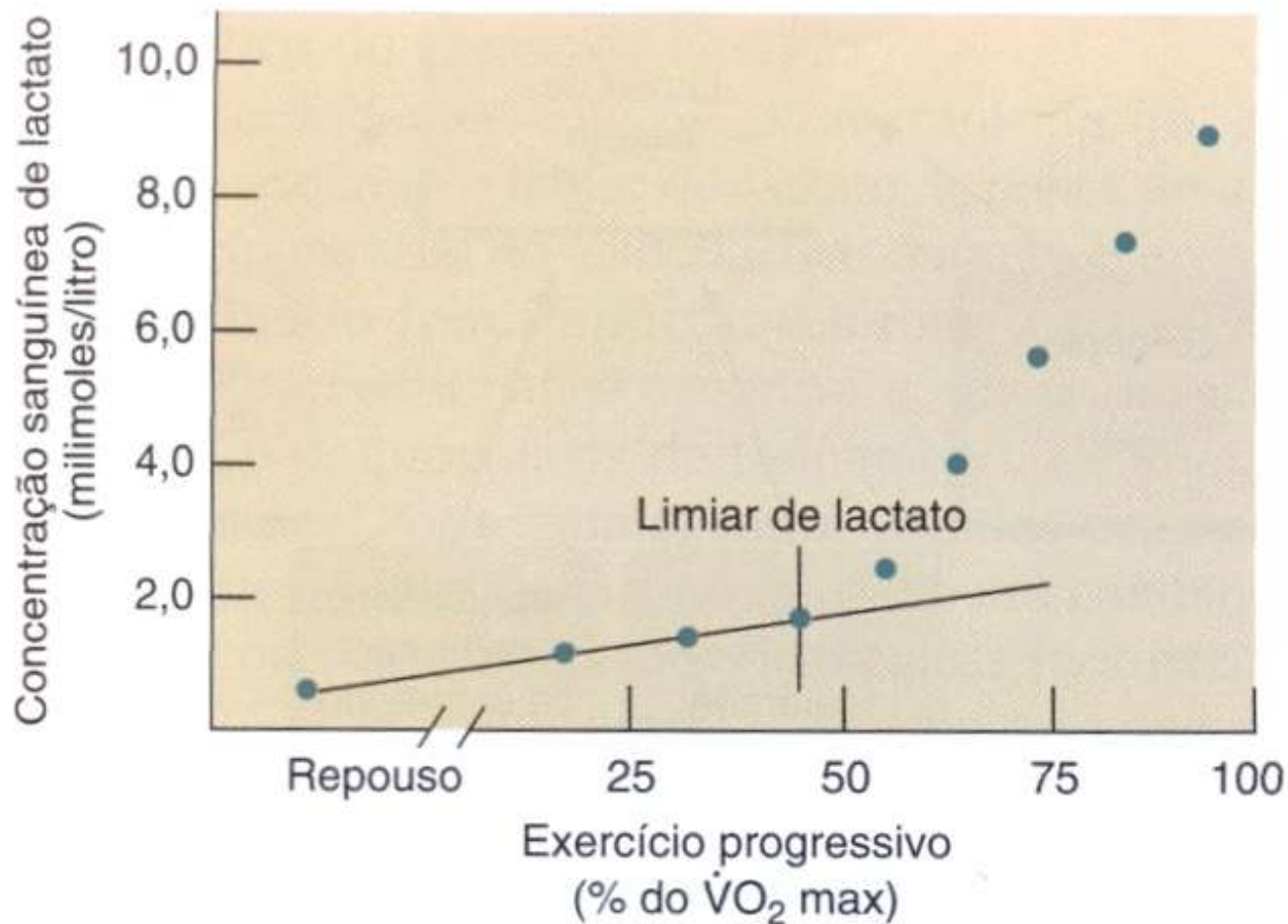
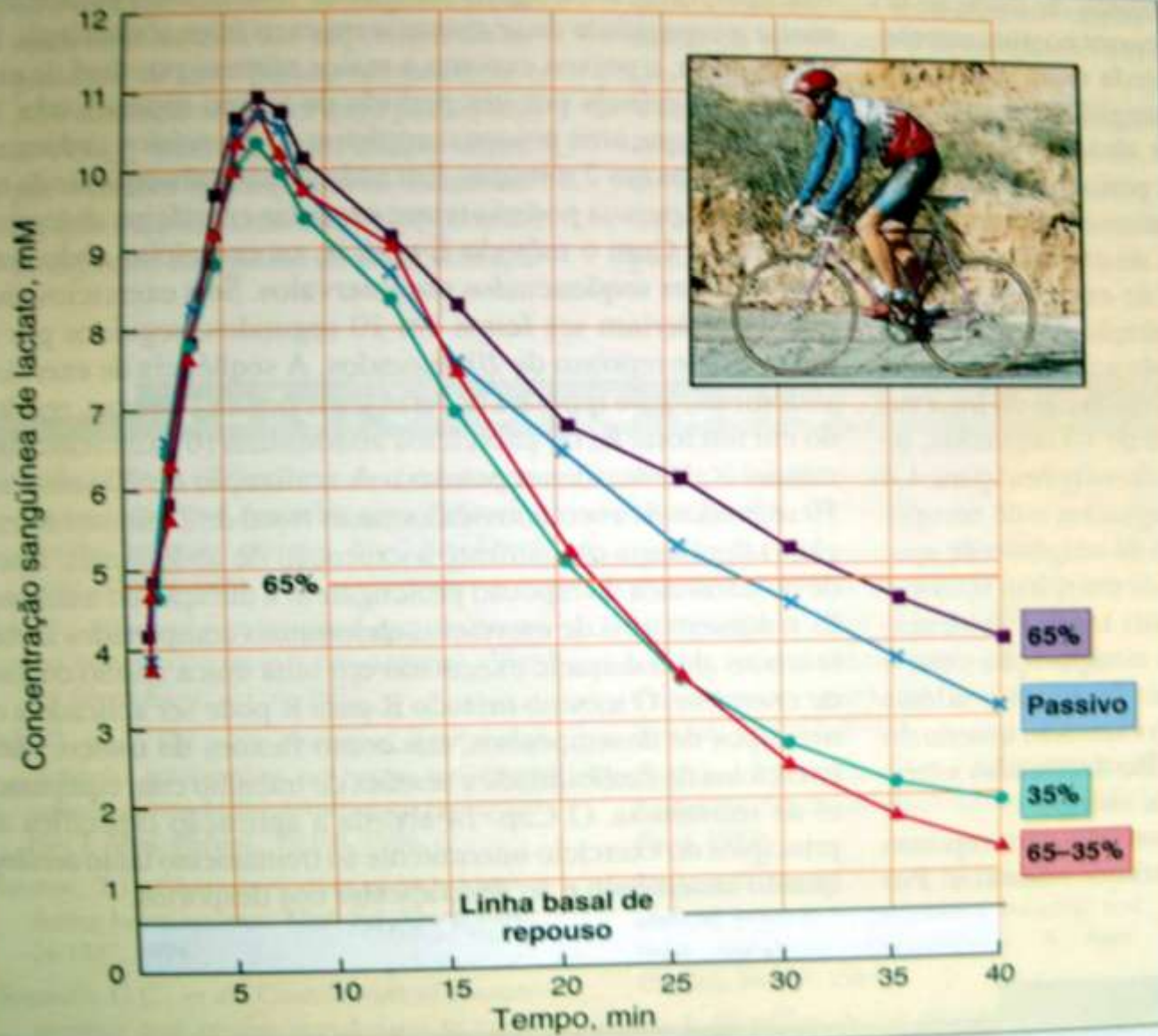


Figura 4.8

Alterações da concentração sanguínea de ácido láctico durante o exercício progressivo. O súbito aumento do lactato é conhecido como limiar de lactato.



Concentração de Lactato após um exercício máximo durante a recuperação passiva e a recuperação com exercícios ativos para 35% do $VO_{2máx.}$; 65% e combinação de 35 à 65% do $VO_{2máx.}$

O ciclo de Cori e a neoglicogênese do ácido láctico

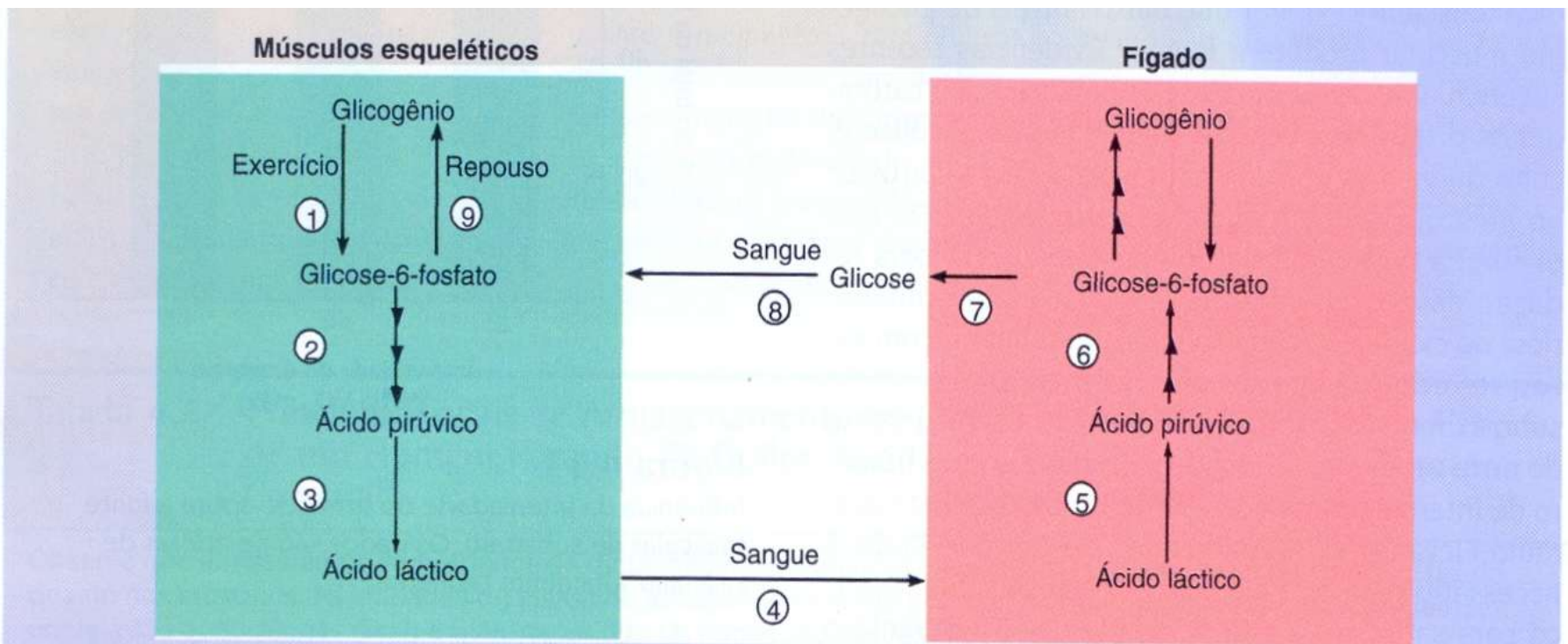


Figura 4.15

O ciclo de Cori. A seqüência dos passos está indicada por números de 1-9, iniciando o exercício.

Relação da dieta de carboidratos com a depleção de glicogênio e fadiga.

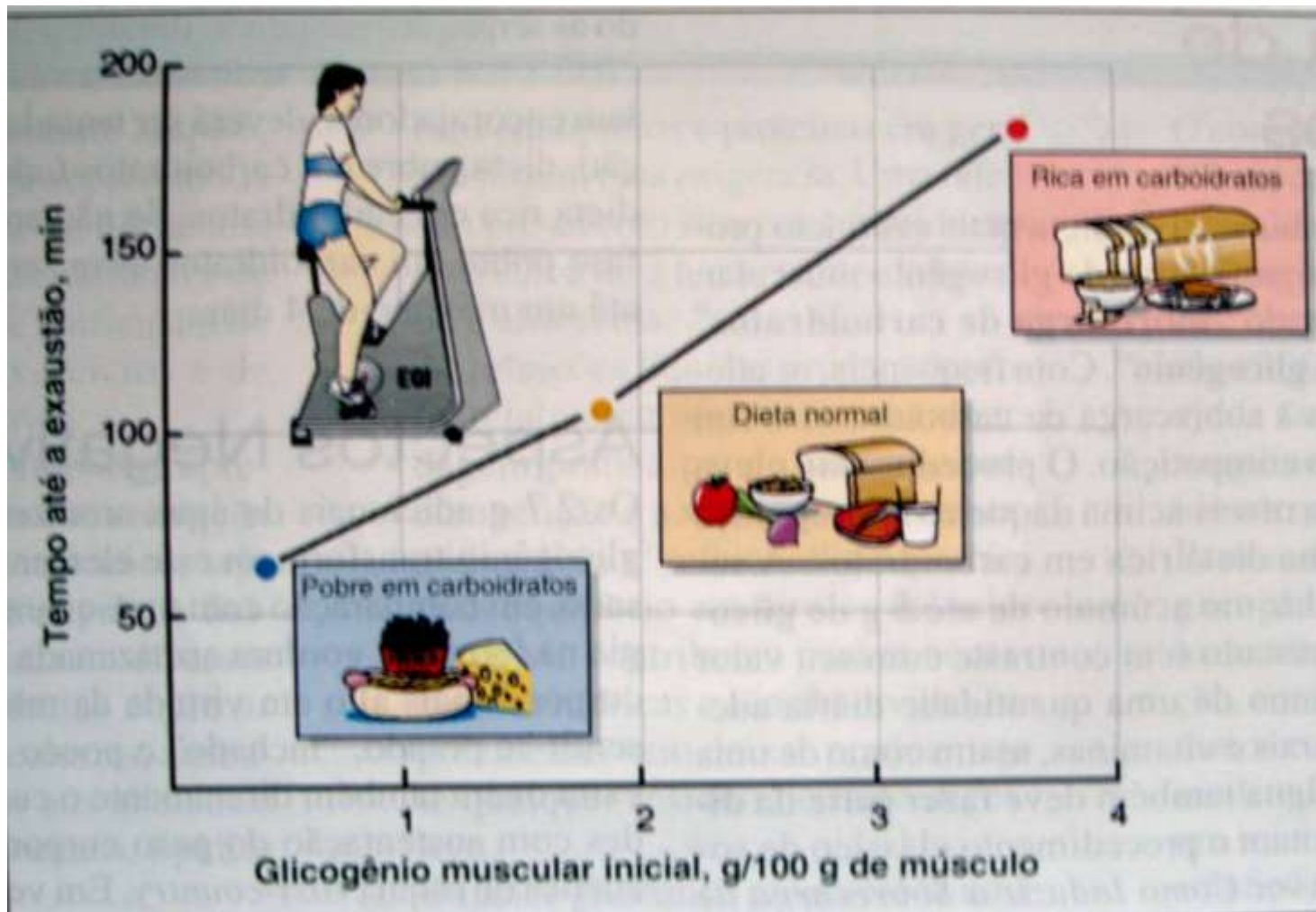


Tabela 4.1

Porcentagem de Gorduras e Carbohidratos Metabolizados Determinados pela Razão de Troca Respiratória (R) Não-Protéica

R	% de Gorduras	% de Carbohidratos
0,70	100	0
0,75	83	17
0,80	67	33
0,85	50	50
0,90	33	67
0,95	17	83
1,00	0	100

$R = VCO_2 / VO_2$, lembrando que uma molécula de gordura produz muito mais CO_2 do que a oxidação da Glicose

Tabela 4.2 Principais Locais de Armazenamento de Carboidratos e de Gorduras no Corpo de um Homem Pesando 70 Quilos, Saudável e Não Obeso (20% de Gordura Corporal)

Observe que a ingestão de carboidratos da dieta influencia a quantidade de glicogênio armazenado, tanto no fígado quanto nos músculos. As unidades de massa do armazenamento são gramas (g) e quilogramas (kg). As unidades de energia são quilocalorias (kcal) e quilojoules (kJ). Os dados são das referências 21, 20 e 47.

Local de Armazenamento	Carboidratos (CHO)		
	Dieta Mista	Dieta Rica em Carboidratos	Dieta Pobre em Carboidratos
Glicogênio hepático	60g (240 kcal ou 1.005 kJ)	90g (360 kcal ou 1.507 kJ)	<30g (120 kcal ou 502 kJ)
Glicose no sangue e no líquido extracelular	10g (40 kcal ou 167 kJ)	10g (40 kcal ou 167 kJ)	10g (40 kcal ou 167 kJ)
Glicogênio muscular	350g (1.400 kcal ou 5.860 kJ)	600g (2.400 kcal ou 10.046 kJ)	300g (1.200 kcal ou 5.023 kJ)
Gorduras			
Local de Armazenamento	Dieta Mista		
Adipócitos	14 kg (107.800 kcal ou 451,251 kJ)		
Músculos	0,5 kg (3.850 kcal ou 16.116 kJ)		

Fatores que Controlam a Seleção do Substrato

- A seleção do substrato é influenciada pela duração e intensidade do exercício.
- No exercício prolongado de baixa intensidade, há um aumento progressivo da quantidade de gordura oxidada pelos músculos em atividade.
- Gorduras são Substratos dominante no exercícios de Baixa Intensidade e em tempo prolongado.
- Carboidratos são substrato dominante no exercício de Alta Intensidade

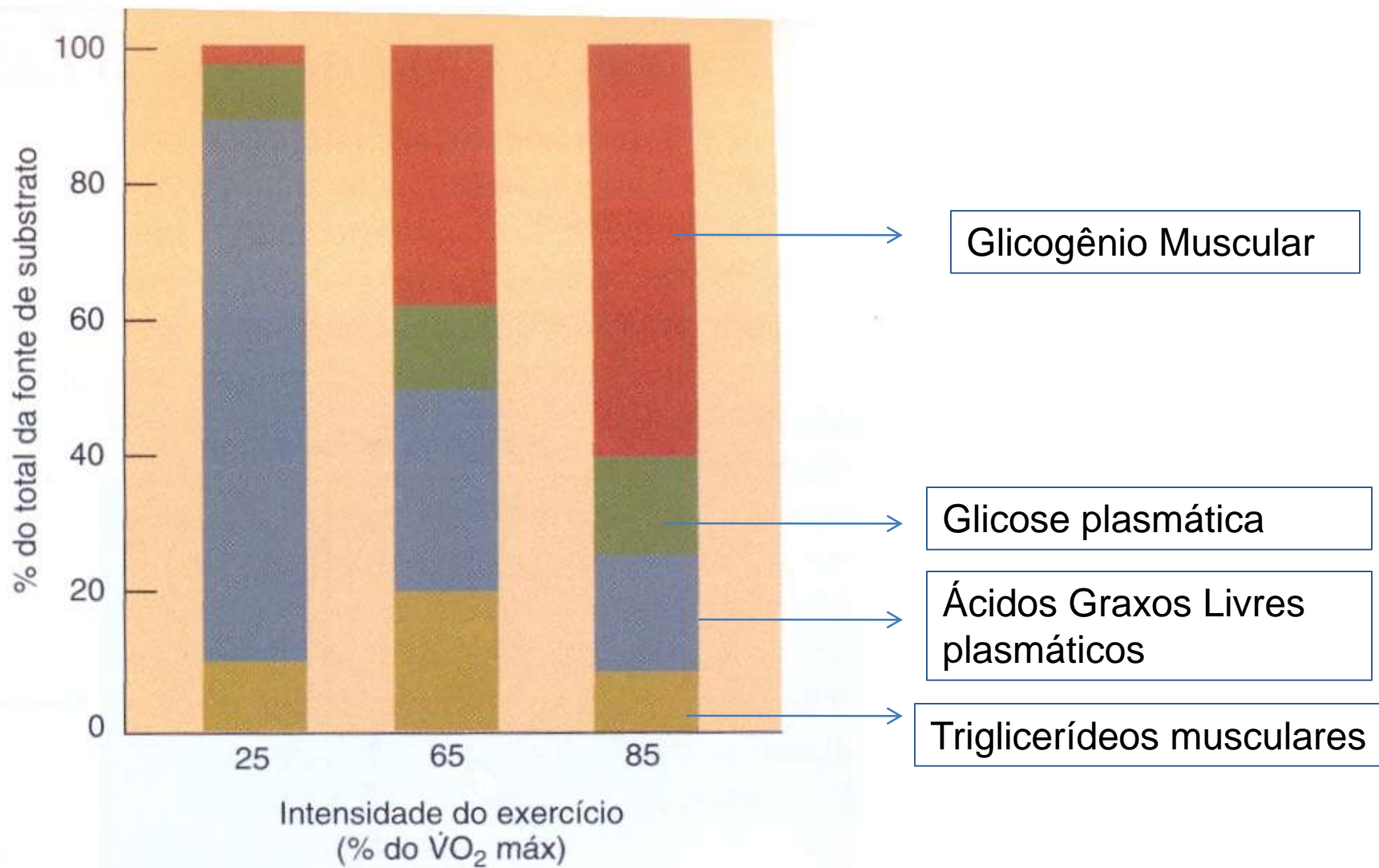


Figura 4.13

Influência da intensidade do exercício sobre a fonte muscular de substrato. Os dados são de atletas de *endurance* altamente treinados:

O que leva o desvio das gorduras para os carboidratos quando a intensidade do exercício aumenta?

Fatores envolvidos:

1- Recrutamento das fibras rápidas

2 - Aumento do nível sanguíneo de adrenalina

1 - A intensidade do exercício aumenta as fibras musculares rápidas recrutadas. Estas fibras possuem uma grande quantidade de enzimas glicolíticas, mas poucas enzimas mitocondriais e lipolíticas.

2 – A adrenalina é liberada com a elevação progressiva do exercício

- níveis elevados de Adrenalina aumentam a degradação do glicogênio muscular, o metabolismo dos carboidratos (glicólise) e a produção de lactato.
- A produção aumentada de lactato inibe o metabolismo das gorduras ao reduzir sua disponibilidade como substrato

Fontes de Lipídeos durante o Exercício

- Os triglicerídeos dos Adipócitos são metabolizados em *três moléculas de ácido graxo livre e uma molécula de glicerol*.
- Os Ácidos Graxos livres são convertidos em **acetil-CoA** e entram no ciclo de Krebs e são a principal fonte Energética no Exercício de Baixa Intensidade.
- Em taxas de Exercício mais elevadas ($> 70\%$ do $VO_{2\text{máx}}$), o metabolismo dos triglicerídeos musculares aumenta.

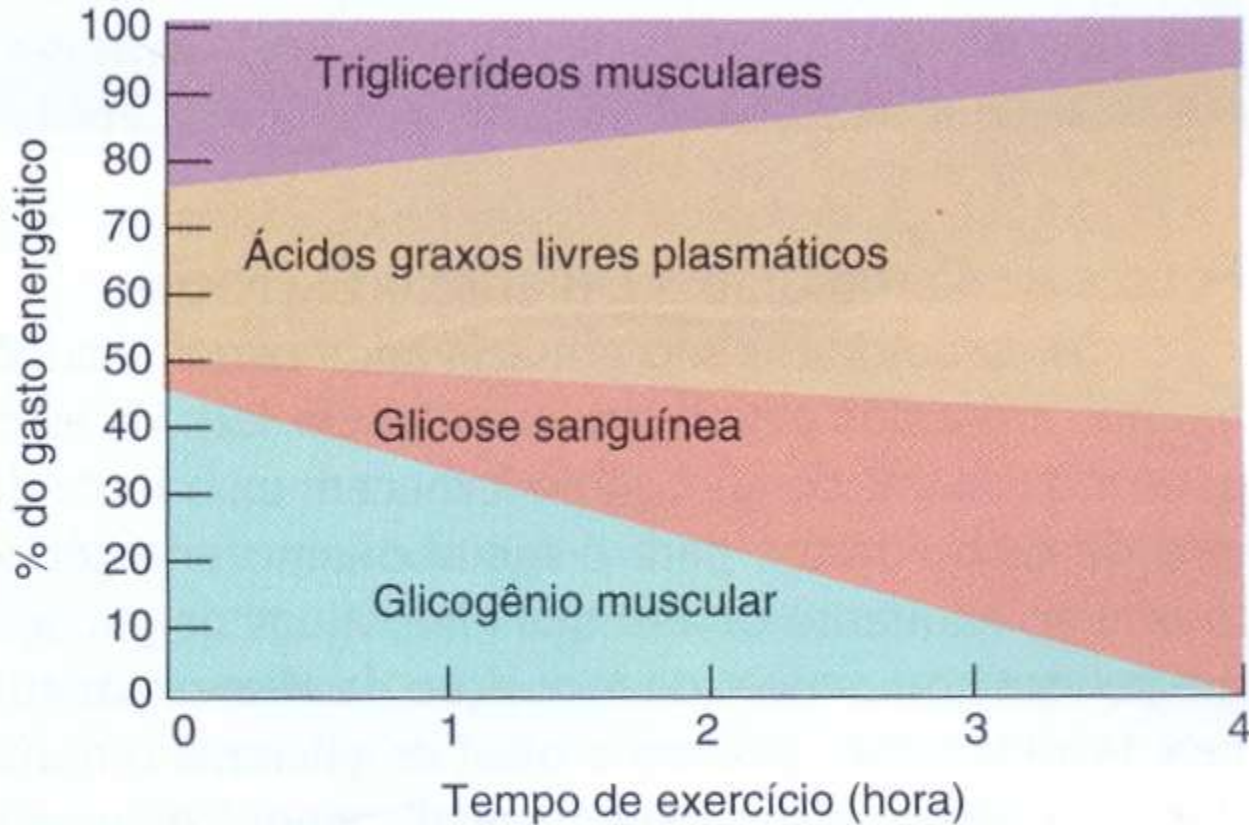


Figura 4.14

Porcentagem de energia derivada das quatro principais fontes de substrato durante o exercício submáximo (65-75% do $\dot{V}O_2$ máx). Os dados são de atletas de *endurance* altamente treinados.

Duração do Exercício e Seleção do Substrato

- Durante o exercício prolongado de baixa intensidade (> 30 minutos), ocorre um desvio gradual do metabolismo dos carboidratos em direção ao metabolismo de gordura como substrato
- As Lipases, em geral, são inativas até serem estimuladas pelos hormônios Adrenalina e Glucagon, os quais aumentam a Lipólise. Este é um processo lento.

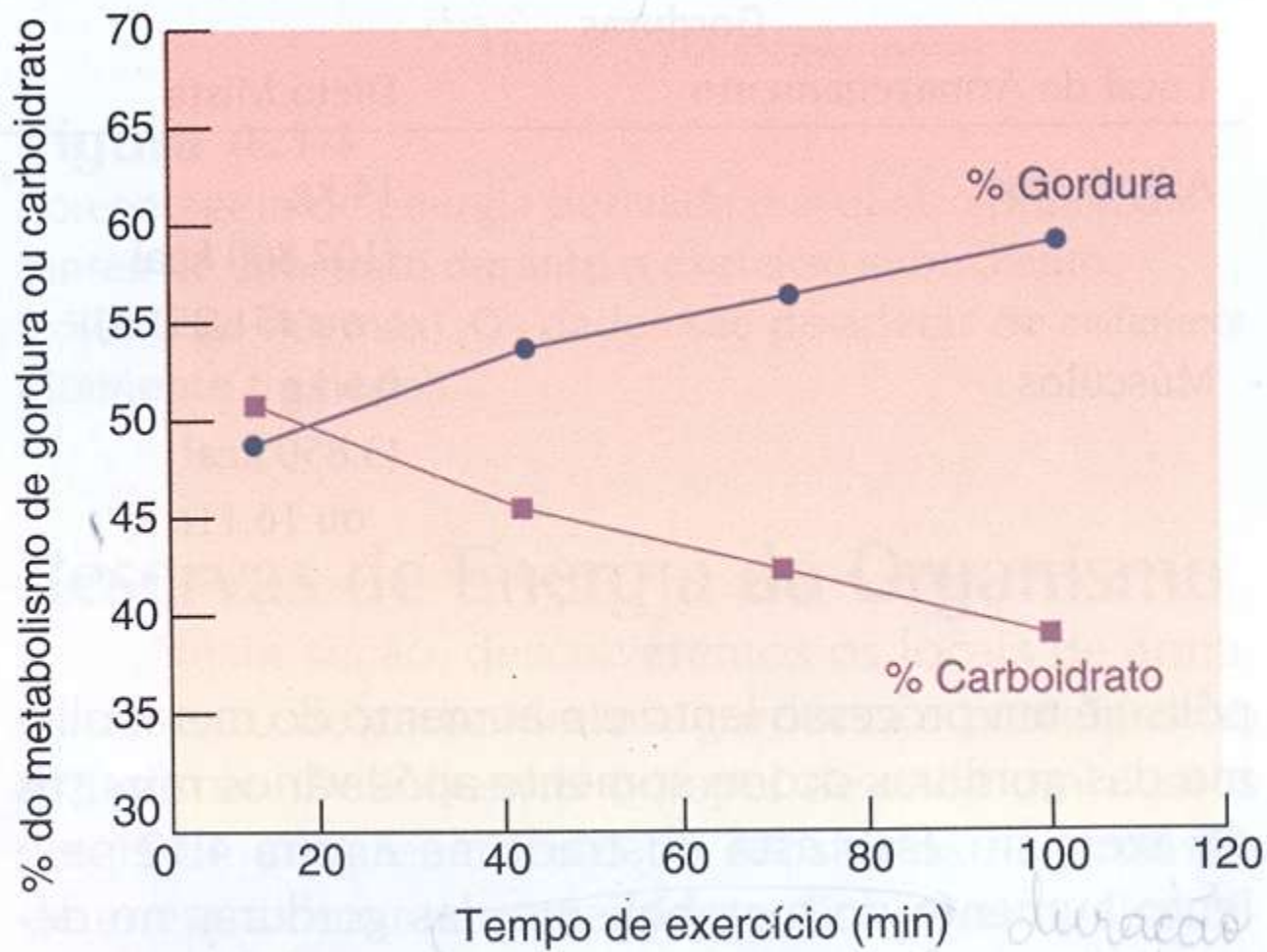


Figura 4.12

Desvio do metabolismo de carboidrato para o de gordura durante o exercício prolongado.

- A mobilização dos Ácidos Graxos livres no sangue é inibida pela insulina e pelo nível elevado de ácido láctico.
- A Insulina inibe a Lipase.
- A concentração de Insulina cai durante o exercício prolongado, o que leva a um aumento da Lipase. No entanto, se houver consumo de carboidrato de 30 a 60 minutos antes do exercício, ocorre o aumento de Insulina e redução do metabolismo de gorduras.

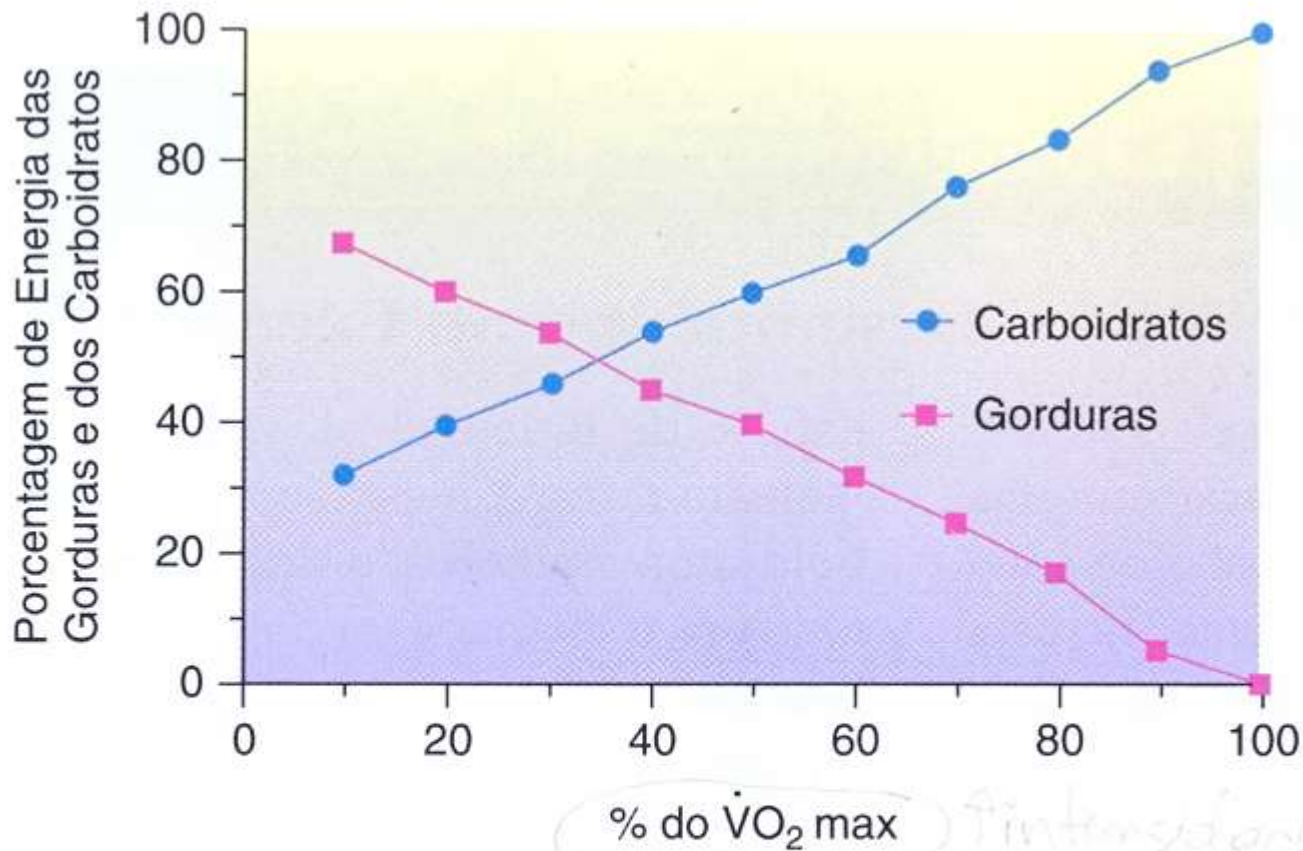


Figura 4.11

Ilustração do conceito de “cruzamento”. À medida que a intensidade do exercício aumenta, há um aumento progressivo da contribuição dos carboidratos como fonte de substrato.

Intensidade do exercício

Fontes de Proteínas Durante o Exercício

- A participação da proteína como fonte energética é pequena ($< 2\%$);
- O músculo esquelético pode metabolizar diretamente alguns tipos de aminoácidos (exemplo: valina, leucina, isoleucina) para produzir ATP;
- No fígado, a Alanina pode ser convertida em glicose;
- Exercícios prolongados (> 2 horas) aumentam o metabolismo protéico

A interação entre carboidratos e gorduras

- No músculo humano com estoque adequado de *glicogênio*, o exercício submáximo (70% do $VO_{2máx}$) acarreta um aumento de **9 vezes** (acima do valor de repouso) do número de intermediários do **ciclo do Ácido Cítrico** (Krebs). Este aumento tende a atender a demanda de ATP. Ocorre um aumento do ácido Píruvico e demais intermediários do ciclo de Krebs, o que promove aumento da metabolização das gorduras, pois estas dependem da Oxidação via Ciclo de Krebs.
- Assim, a diminuição da glicólise e dos níveis de glicogênio no músculo também diminui a metabolização das gorduras

REFERÊNCIAS

- Fisiologia do Exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. Scott K. Powers. 6ª Ed. Manole. 2010
- [Fisiologia do Exercício - Energia, Nutrição e Desempenho humano](#) - Mcardle e Katch. Manole. 2008

SUGESTÕES BIBLIOGRÁFICAS

- » [ACSM's Guidelines For Exercise Testing And Prescription Whaley, Mitchell H. \(EDT\)/ American](#)
- [AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE - Programa de Condicionamento Físico da ACSM](#)
- » [Bases Fisiológicas da EF e dos Desportos - FOX, Edward L. -](#)
- » [Biologia do Esporte](#) - WEINECK, Jürgen. Ed. Manole Ltda. S.P. 1991.
- » [Escalas de Borg Para a Dor e o Esforço Físico -Gunnar Borg](#)
- » [Exercício, saúde e desempenho físico](#)- Ed. Atheneu - Dr. Turíbio de Barros Leite
- » Fisiologia aplicada na atividade física. Nadeau, M. et alii.
- » [Fisiologia do Esporte e do Exercício DAVID L. COSTILL JACK H. WILMORE](#)
- » Tratado de Fisiologia Médica. Guyton, Arthur. C. 11ª Ed. Elsevier; 2006.
- Fisiologia Humana: uma abordagem integrada . Siverthorn, D. U. Manole, 2003.