

Metabolismo do exercício e Mensuração do trabalho, potência e gasto energético

Profa. Kalyne de Menezes Bezerra Cavalcanti

Natal/RN
Fevereiro de 2011

Metabolismo do exercício

- Durante o exercício físico intenso o gasto energético total do corpo pode aumentar de 15 a 25 vezes acima do gasto no repouso.
- TRANSIÇÃO DO REPOUSO AO EXERCÍCIO
- A mensuração do consumo de O_2 é o índice da produção aeróbia de ATP.

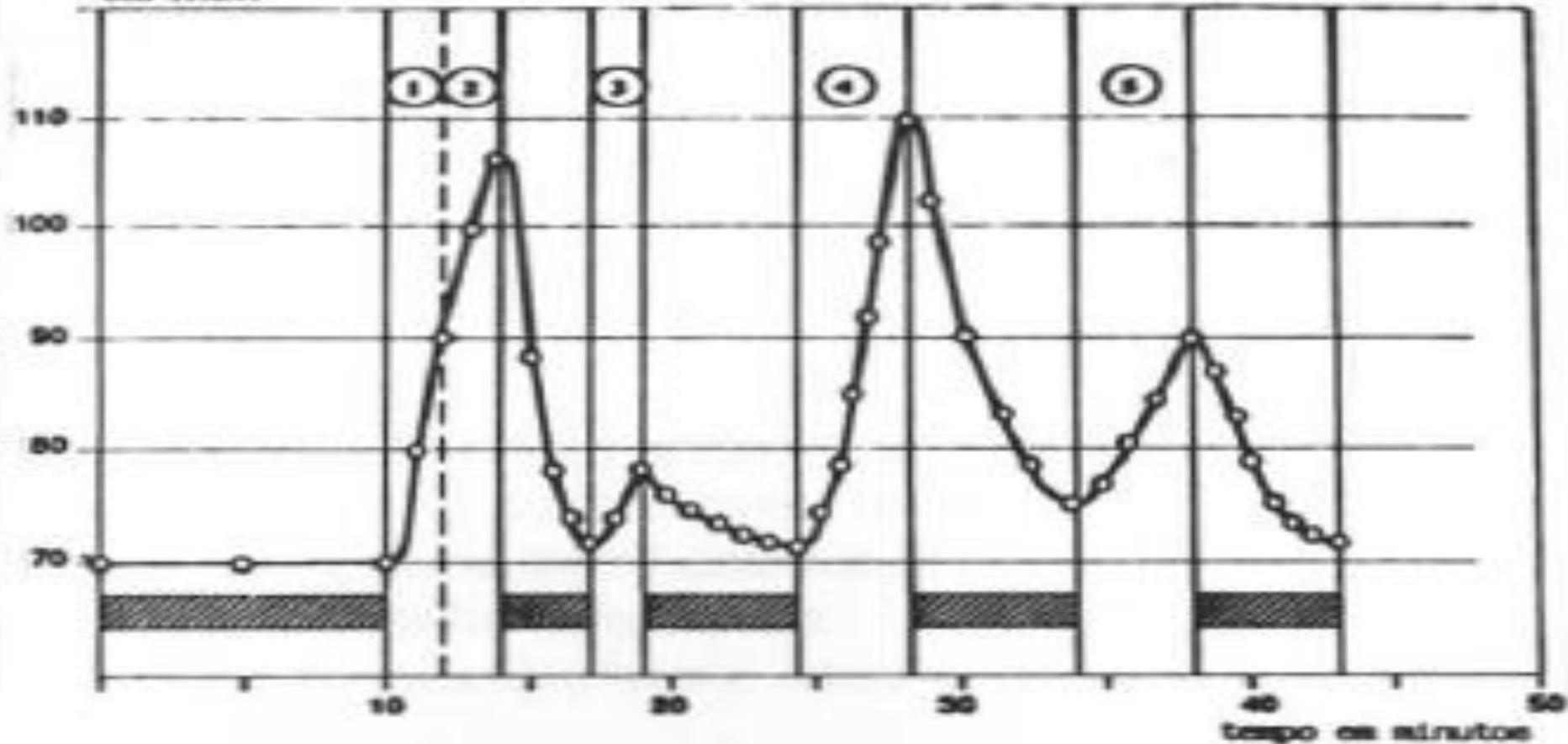


Metabolismo do exercício

- Na transição do repouso ao exercício leve a moderado, o consumo de O_2 aumenta rapidamente e atinge um estado estável dentro de 1 a 4 minutos. Este consumo de O_2 não aumenta instantaneamente até um valor de estado estável, o que sugere que fontes anaeróbias de energia contribuem para a produção global de ATP no início do exercício.



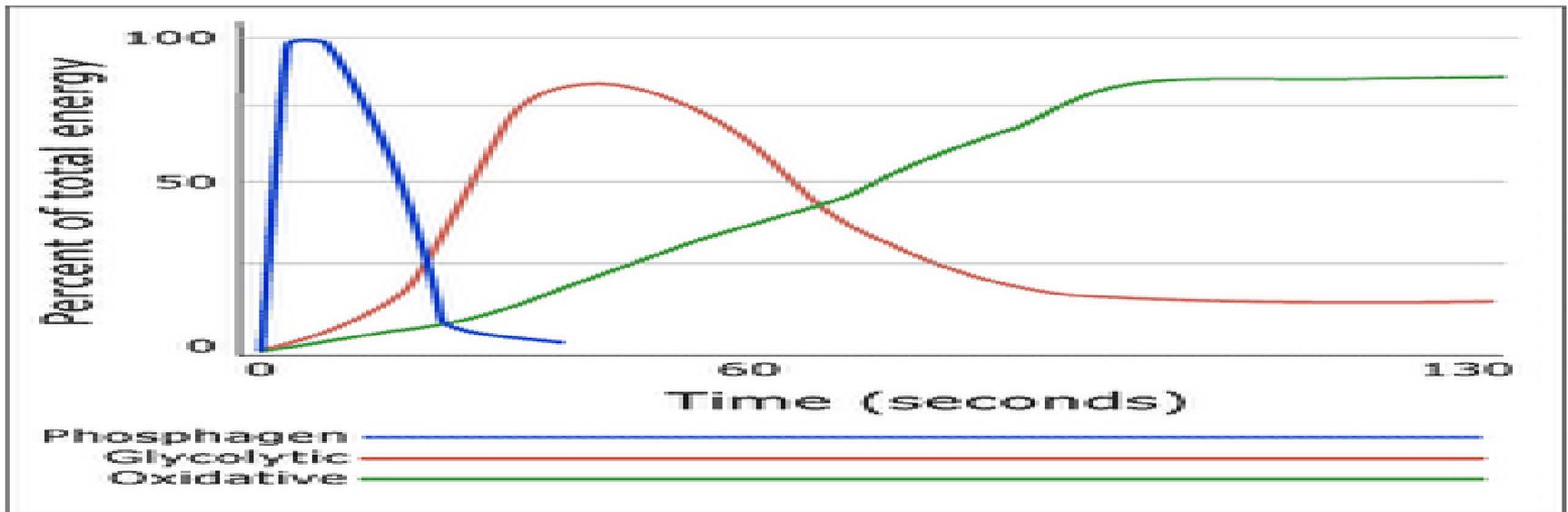
Frecuencia Cardíaca



- Periodo de Repouso
1. Andando devagar
 2. Andando depressa
 3. Pulando parado
 4. Subindo escadas
 5. Descendo escadas

Transição do repouso ao exercício

- Vias metabólicas
 - Sistema ATP-CP
 - Glicólise
 - Produção aeróbia
- Mistura de diversas vias metabólicas



Transição do repouso ao exercício

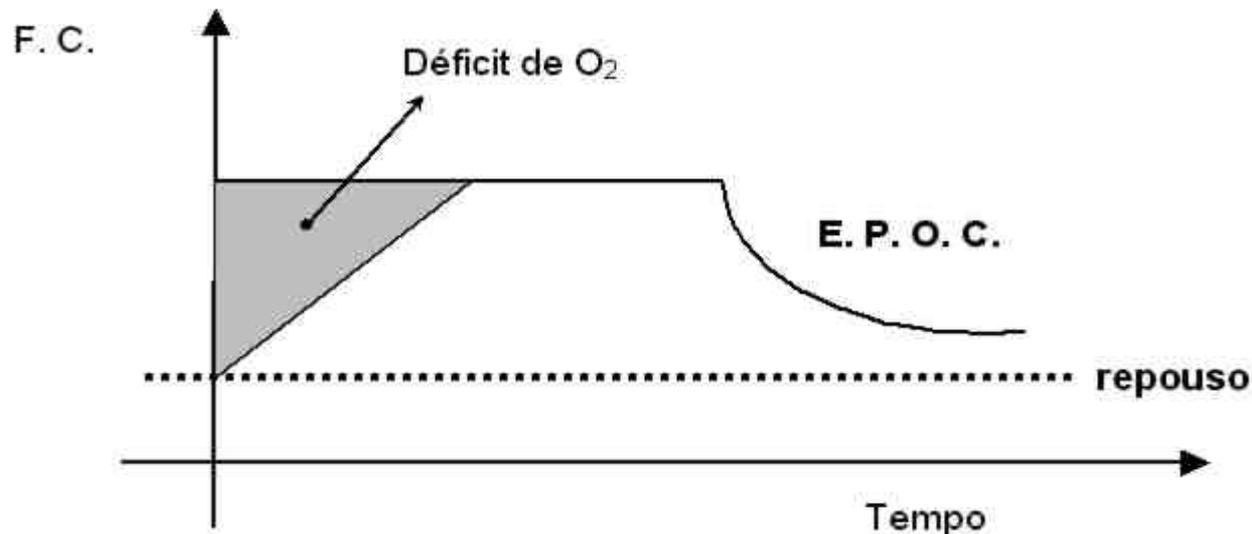
- Déficit de oxigênio – este termo se aplica ao retardo de consumo de oxigênio no início do exercício. A diferença do consumo de oxigênio nos primeiros minutos de exercício e um período de tempo igual após o estado estável ter sido alcançado.
- O tempo para atingir o estado estável é mais curto em indivíduos treinados.
- Treinados – apresentam um menor déficit de oxigênio, possuem uma capacidade aeróbia bem mais desenvolvida resultante das adaptações cardiovasculares ou musculares.
- Isso significa, que a produção aeróbia de ATP é ativada mais cedo no começo do exercício e acarreta em uma menor produção de ácido láctico.

Recuperação do exercício

- O metabolismo permanece elevado por vários minutos imediatamente após o exercício e essa duração é influenciada pela intensidade do exercício.
 - O consumo de O_2 é maior e permanece elevado por mais tempo após o exercício de alta intensidade.
 - E por que ele permanece elevado?
 - EPOC – consumo excessivo de O_2 após o exercício
1. O O_2 consumido imediatamente após o exercício é utilizado para restaurar os estoques de fosfocreatina (CP) no músculo e de O_2 no sangue e nos tecidos. A restauração dos estoques de CP e de O_2 no músculo é completada em 2 a 3 minutos de recuperação.

Recuperação do exercício

- Além disso, as FC e f permanecem elevadas acima do nível de repouso por vários minutos após o exercício. Desta forma, ambas as atividades exigem O_2 adicional.
2. Outros fatores que podem resultar no EPOC são a temperatura corporal elevada e determinados hormônios circulantes (adrenalina e noradrenalina).



Influência da duração e da intensidade

EXERCÍCIO INTENSO DE CURTA DURAÇÃO

- Vias metabólicas anaeróbias
- A produção de ATP depende do Sistema ATP-CP e da glicólise e a utilização deles depende da duração da atividade.
- ATP-CP – 1 a 5 segundos
- Glicólise - Superior de 5 a 6 segundos
- A transição do sistema ATP-CP para a glicólise não acontece de forma abrupta, mas um desvio gradual de uma via para outra.
- Combinação dos três sistemas – 45 segundos
- 70%/30% - anaeróbia/aeróbia – 60 segundos
- 50%/50% - anaeróbia/aeróbia – 2 minutos



Influência da duração e da intensidade

EXERCÍCIO PROLONGADO

- Metabolismo Aeróbio
- Mais de 10 minutos
- O consumo de oxigênio é elevado pelo aumento da temperatura corporal ou pelo exercício acima de 75% do VO_2 máx.



Influência da duração e da intensidade

EXERCÍCIO INCREMENTAL

- VO_2 máx. – consumo máximo de oxigênio
- Testes de esforço incremental ou graduado
- Fatores fisiológicos que influenciam o VO_2 máx.:

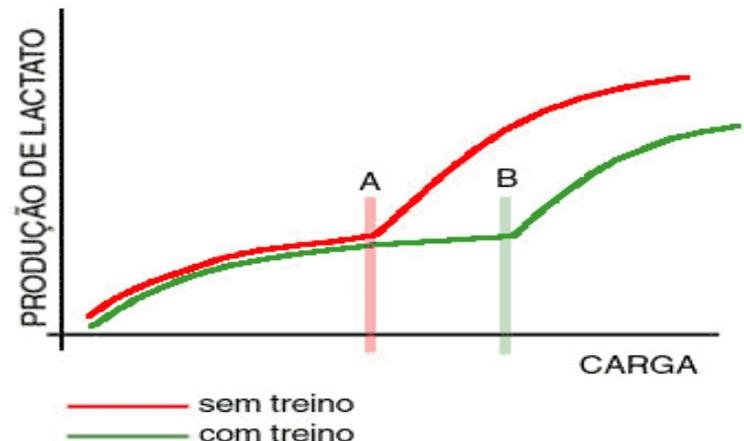
A capacidade máxima do sistema cardiorespiratório de liberar oxigênio para o músculo em contração

A capacidade muscular de captar o oxigênio e produzir ATP aerobiamente.



Limiar de lactato

- A medida que a intensidade do exercício aumenta os níveis sanguíneos do ácido láctico começam a aumentar de maneira exponencial. Isso ocorre em 50 a 60% do VO_2 máx em indivíduos não treinados, já nos indivíduos treinados em 65 a 80%.
- Essa elevação súbita do ácido láctico no exercício incremental representa um ponto de aumento da dependência do metabolismo anaeróbio (glicólise)



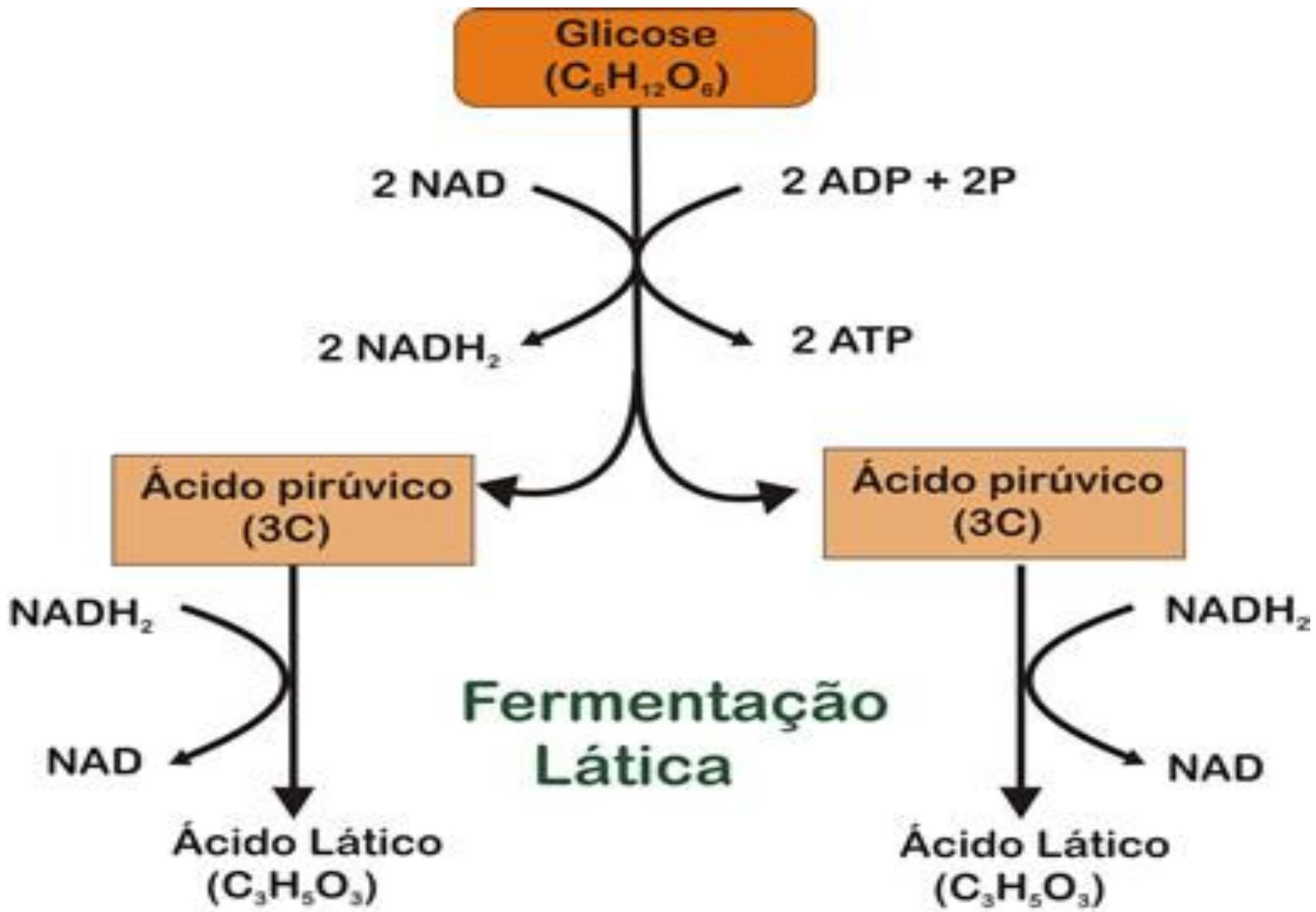
Limiar de lactato

- O ponto da elevação sistemática do ácido láctico durante o exercício é o limiar anaeróbico – limiar de lactato.
- Preditor útil do sucesso em corridas de distância
- Orientação para técnicos e atletas no planejamento do nível de intensidade do exercício necessário para otimizar os resultados do treinamento



Ácido láctico

- A elevação de ácido láctico durante o exercício é decorrente de falta de oxigênio (hipóxia) do músculo em atividade. Historicamente, a elevação do nível sanguíneo de ácido láctico foi considerada uma indicação de aumento de metabolismo anaeróbico no músculo que está se contraindo devido a baixos níveis de O_2 nas células musculares.
- Uma segunda explicação para a formação de ácido láctico no músculo em atividade está relacionada à enzima que catalisa a conversão de piruvato em ácido láctico. A enzima responsável por essa reação é a lactato desidrogenase (LDH).
- A isoenzima LDH encontrada nas fibras rápidas apresenta maior afinidade pela ligação do ácido pirúvico, promovendo a formação do ácido láctico.



Ácido láctico

- A medida que a intensidade do exercício aumenta, a quantidade de força muscular desenvolvida deve ser aumentada. Esse aumento é fornecido pelo recrutamento cada vez maior de fibras rápidas. Por essa razão, o envolvimento de mais fibras rápidas pode acarretar um aumento da produção de ácido láctico e, conseqüentemente, ser responsável pelo limiar de lactato.
- Velocidade de remoção do ácido láctico – Durante o exercício, alguns músculos estão produzindo ácido láctico e liberando – o no sangue, e alguns tecidos (fígado, músculos esqueléticos, coração, etc) o estão removendo.

Ácido láctico

- O ácido láctico causa dor muscular?



Utilização do substrato durante o exercício

- Uma técnica não invasiva comumente utilizada para estimar a contribuição percentual do carboidrato ou da gordura para o metabolismo energético durante o exercício é a relação entre o débito de dióxido de carbono (VCO_2) e o volume de oxigênio consumido (VO_2). Essa relação VCO_2/VO_2 é denominada razão de troca respiratória (R).

Gordura (ácido palmítico): $C_{16}H_{32}O_2$



Portanto, a $R = VCO_2 \div VO_2 = 16CO_2 \div 23 O_2 = 0,70$

Glicose: $C_6H_{12}O_6$



$R = VCO_2 \div VO_2 = 6CO_2 \div 6 O_2 = 1$

TABELA 4.1**Porcentagem de Gorduras e Carbohidratos Metabolizados Determinada por uma Razão de Troca Respiratória Não-Protéica (R)**

| 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 |

Utilização do substrato durante o exercício

- A oxidação de gorduras exige mais O_2 do que a de carboidratos. Isso se deve ao fato de os carboidratos conterem mais O_2 que as gorduras.
- Além disso, quanto maior for o R, maior será o papel dos carboidratos como fonte energética, e quanto menor o R, maior a contribuição das gorduras.

Fatores que controlam a seleção do substrato

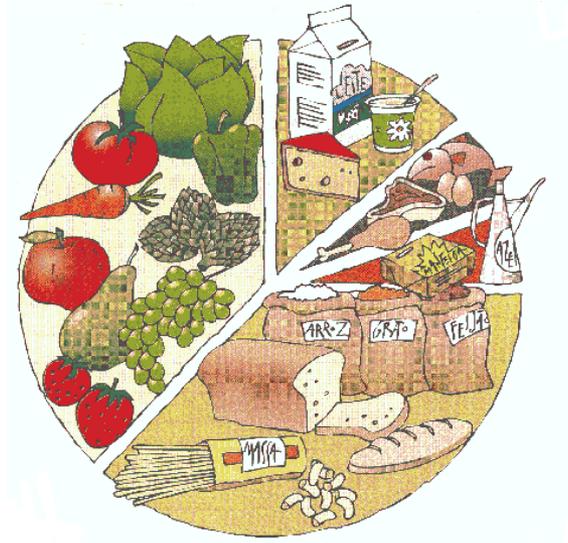
- As proteínas contribuem com menos de 2% o substrato utilizado durante o exercício de duração inferior a 1 hora. No entanto, o seu papel como fonte de combustível pode aumentar discretamente no exercício prolongado (duração de 3 a 5 horas).
- Os carboidratos e as gorduras são os substratos principais durante o trabalho.
- Dietas ricas em gorduras e pobres em carboidratos promovem uma alta taxa do metabolismo das gorduras. Em relação à intensidade do exercício, o de baixa intensidade depende principalmente da gordura como substrato, enquanto os carboidratos são a fonte predominante de energia durante o exercício de alta intensidade.

Intensidade do exercício e seleção do substrato

- Baixa intensidade – gordura (< 30% do VO₂ máx)
- Alta intensidade – carboidratos (> 70% do VO₂ máx)
- Quando a intensidade do exercício aumenta além do ponto de cruzamento, ocorre um desvio progressivo do metabolismo de gorduras para o de carboidratos.
- Fatores envolvidos nesse processo:
 - Recrutamento de fibras rápidas
 - Aumento do nível sanguíneo de adrenalina – mais e mais fibras rápidas são recrutadas

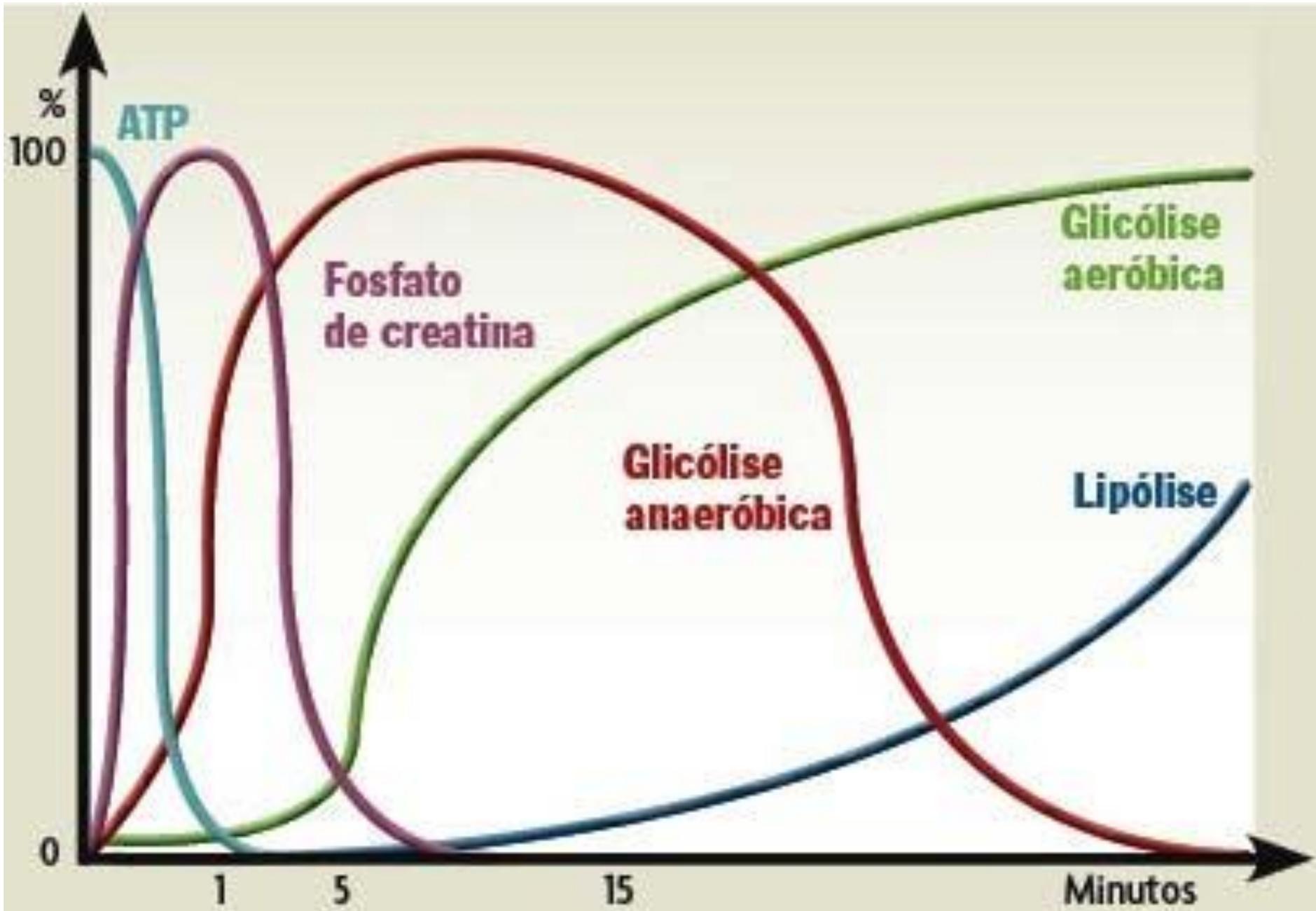
Intensidade do exercício e seleção do substrato

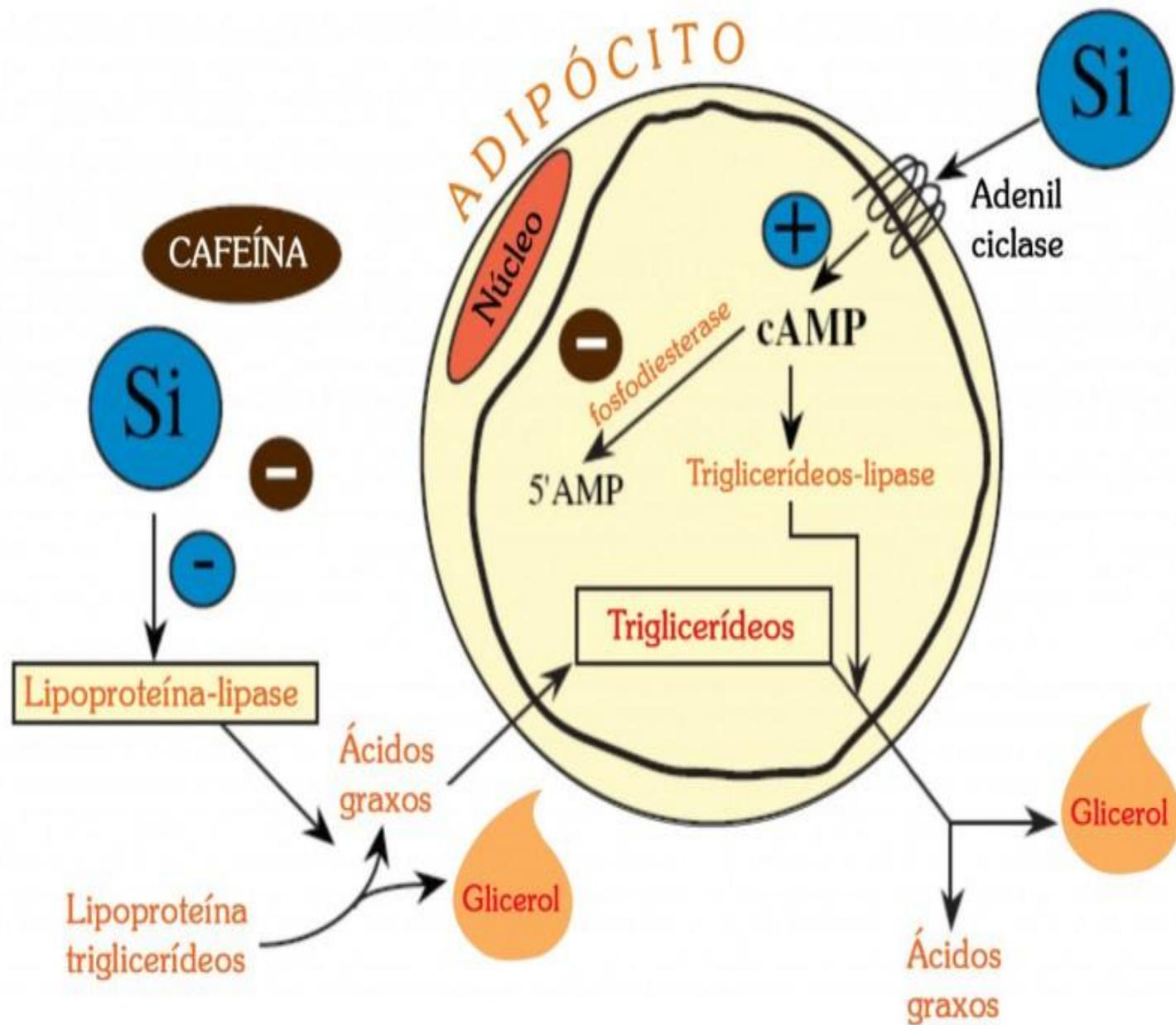
- A concentrações elevadas de adrenalina aumentam a degradação do glicogênio muscular, do metabolismo de carboidratos (aumento da glicólise) e da produção de lactato.
- A maior produção de lactato inibe o metabolismo das gorduras e a falta de gordura como substrato para os músculos em atividade nessas condições faz com que os carboidratos sejam o principal substrato.



Duração do exercício e seleção do substrato

- Durante o exercício prolongado de baixa intensidade (com duração superior a 30 minutos) ocorre um desvio gradual do metabolismo de carboidratos para uma maior dependência da gordura como substrato.
- Lipólise – triglicerídeos = ácidos graxos e glicerol por enzimas lipases.
- Lipólise é um processo lento e o metabolismo de gorduras ocorre somente após vários minutos de exercício.
- A mobilização de ácidos graxos livres é inibida pelo hormônio insulina e pelos níveis sanguíneos elevados de ácido láctico.
- Insulina inibe a lipólise pela inibição direta da atividade da lipase.





Interação entre o metabolismo de gorduras e o de carboidratos

- Durante o exercício prolongado os estoques muscular e hepático de glicogênio podem atingir níveis muito baixos. Isso é importante porque a depleção das reservas muscular e sanguínea de carboidratos resulta em fadiga muscular.
- Quando as reservas de carboidratos são depletadas no corpo, a taxa na qual as gorduras são metabolizadas também é reduzida. Conseqüentemente, as gorduras queimam na chama dos carboidratos.



Reservas de energia do organismo

FONTES DE CARBOIDRATOS DURANTE O EXERCÍCIO

- São armazenados sob a forma de glicogênio tanto no músculo quanto no fígado. Os estoques musculares de glicogênio representam uma fonte direta de carboidratos para o metabolismo energético muscular, enquanto os estoques hepáticos de glicogênio servem como um meio de reposição da glicose sanguínea.
- Ingestão de carboidratos por bebidas esportivas – 30 a 60g por hora



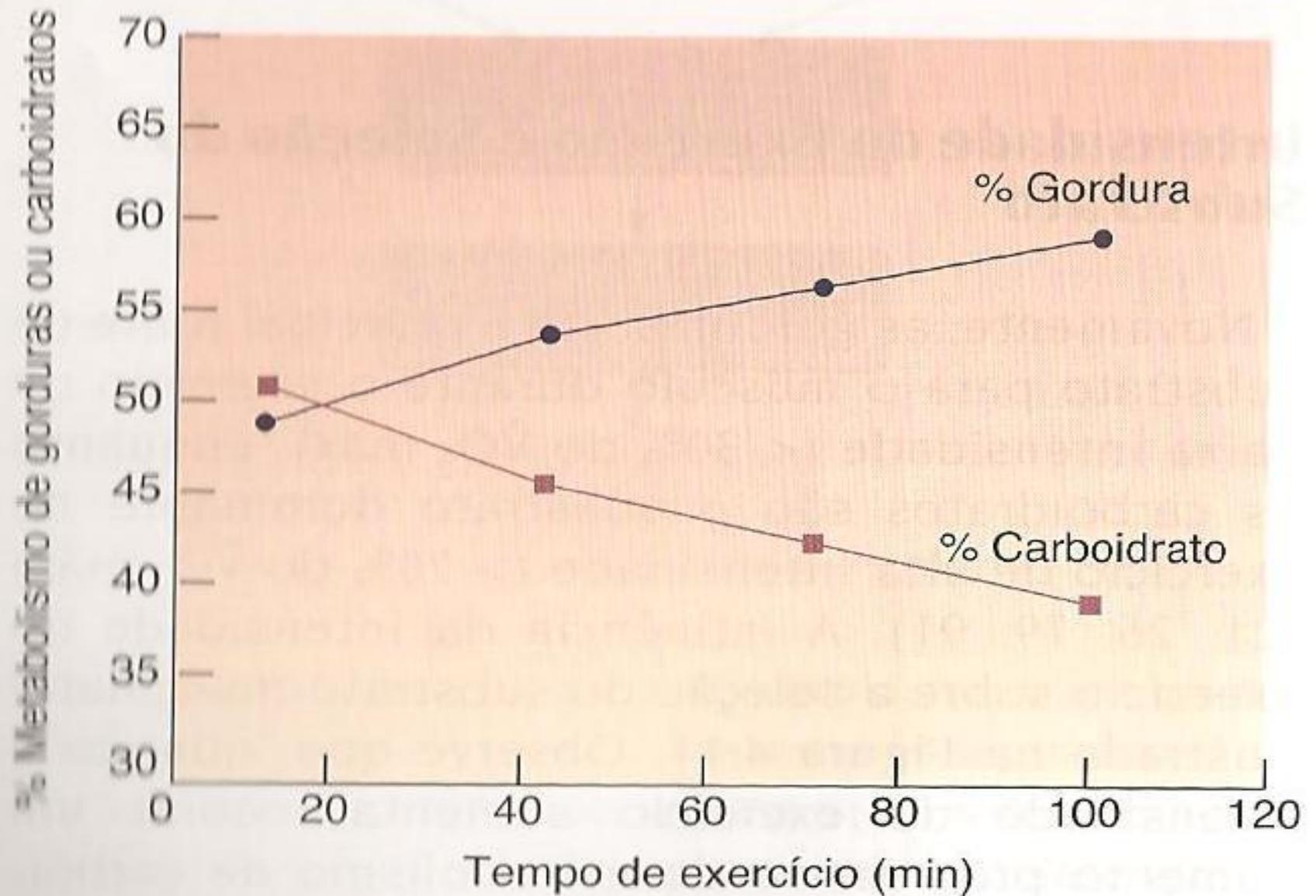


FIGURA 4.14 Desvio do metabolismo de carboidratos para o metabolismo de gorduras durante o exercício prolongado.

Fontes de carboidratos durante o exercício

- A contribuição relativa do glicogênio muscular e da glicose sanguínea para o metabolismo energético durante o exercício varia em função da intensidade e da duração do exercício. A glicose sanguínea tem um papel maior durante o exercício de baixa intensidade, enquanto o glicogênio muscular é a principal fonte de carboidratos no exercício de alta intensidade.



Reservas de energia do organismo

FONTE DE GORDURAS DURANTE O EXERCÍCIO

- A maior parte da gordura é armazenada sob a forma de triglicerídeos nos adipócitos, mas uma parte é armazenada nas células musculares.
- Para serem metabolizados, os triglicerídeos devem ser degradados em ácidos graxos livres e glicerol.
- A medida que a duração do exercício aumenta, há um aumento progressivo do papel dos ácidos graxos livres plasmáticos como fonte de substrato.

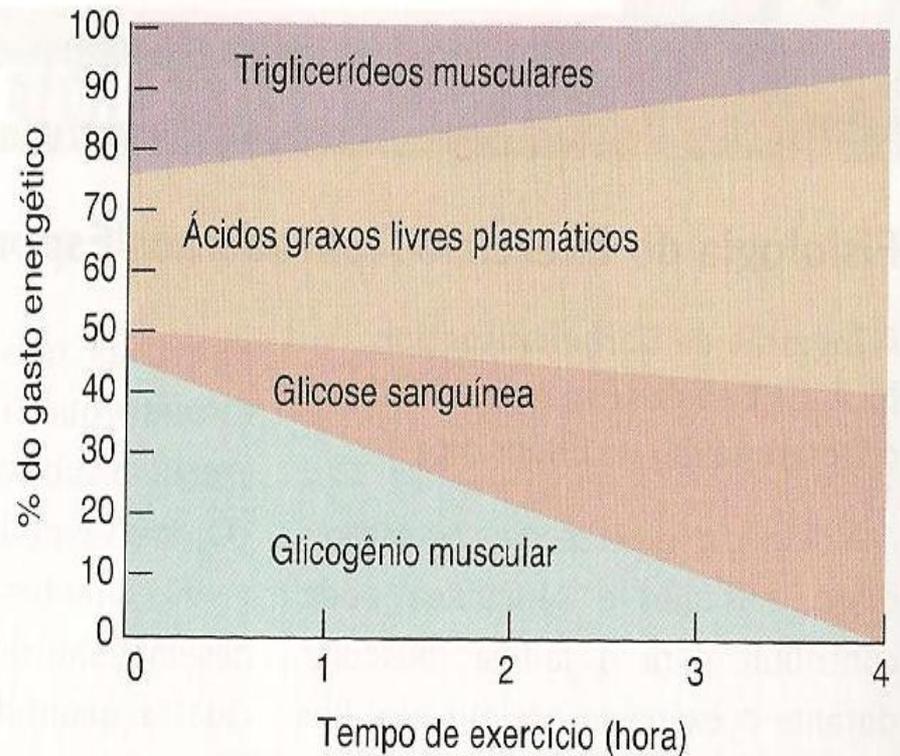
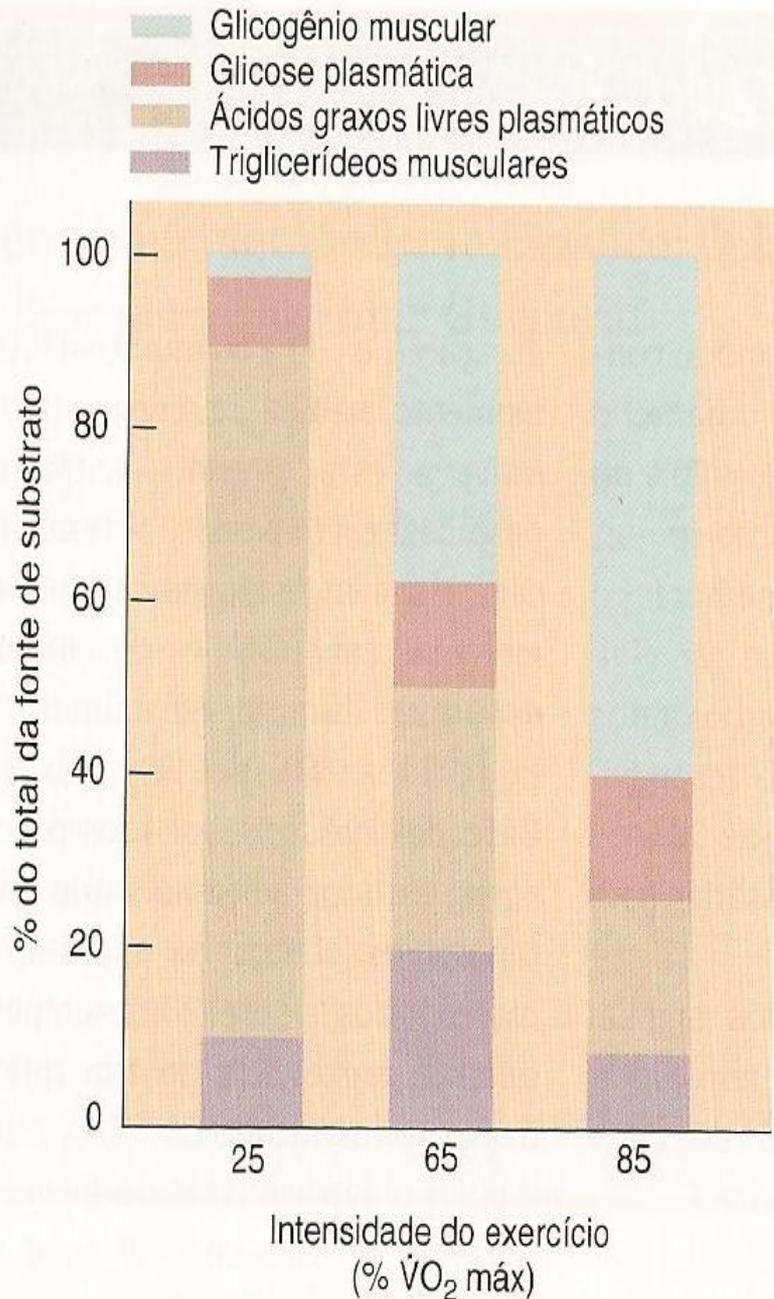


FIGURA 4.16 Porcentagem de energia derivada das quatro fontes principais de substrato durante o exercício submáximo (65–75% do $\dot{V}O_2$ máx). Os dados são de atletas de endurance treinados.

de glicogênio muscular produzem fadiga? Evidências recentes sugerem a resposta seguinte. A depleção de carboidratos disponíveis reduz a taxa de glicólise e, conseqüentemente, a concentração de ácido pirúvico

Reservas de energia do organismo

FONTES DE PROTEÍNAS DURANTE O EXERCÍCIO

- Para serem utilizadas, devem ser degradadas em aminoácidos. O papel como substrato é pequeno e depende da disponibilidade de aminoácidos de cadeia ramificada e do aminoácido alanina.
- O músculo pode metabolizar aminoácidos para produzir ATP. Além disso, no fígado, a alanina pode ser convertida em glicose e retornada através do sangue ao músculo esquelético para ser utilizada como substrato.

Fontes de proteínas durante o exercício

- O exercício prolongado, superior a 2 horas – Enzimas capazes de degradar proteínas musculares (proteases) são ativadas durante o exercício de longa duração. O mecanismo responsável pela ativação das proteases é a elevação da concentração de cálcio nas fibras musculares induzido pelo exercício.

Reservas de energia do organismo

LACTATO COMO UMA FONTE DE SUBSTRATO DURANTE O EXERCÍCIO

- Serve como substrato para o fígado sintetizar glicose e como fonte direta de substrato para o músculo esquelético e o coração.
- Nas fibras musculares esqueléticas lentas e no coração, o lactato removido do sangue pode ser convertido em piruvato, o qual pode então ser transformado em acetil-CoA, que pode entrar no ciclo de Krebs e contribuir para o metabolismo oxidativo.

Mensuração do trabalho, potência e gasto energético

- Trabalho – produto da força aplicada pela distância.
- Se você levantar 5kg em uma distância vertical de 2m, o trabalho será de 10kpm.
- Explica-se a mudança de kg para kp é que o kg é uma medida de massa e não de força. Isto é, 1 kp é a força que atua sobre a massa de 1kg na aceleração normal da gravidade.
- Potência – quanto trabalho é realizado por unidade de tempo.
- Com unidade de $\text{kpm}\cdot\text{s}^{-1}$ – 1W
- Ergômetro – aparelho ou dispositivo utilizado para mensurar um tipo específico de trabalho.



Mensuração do trabalho, potência e gasto energético

Ergômetros

- Step
- Bicicleta ergométrica
- Esteira

MENSURAÇÃO DO GASTO ENERGÉTICO

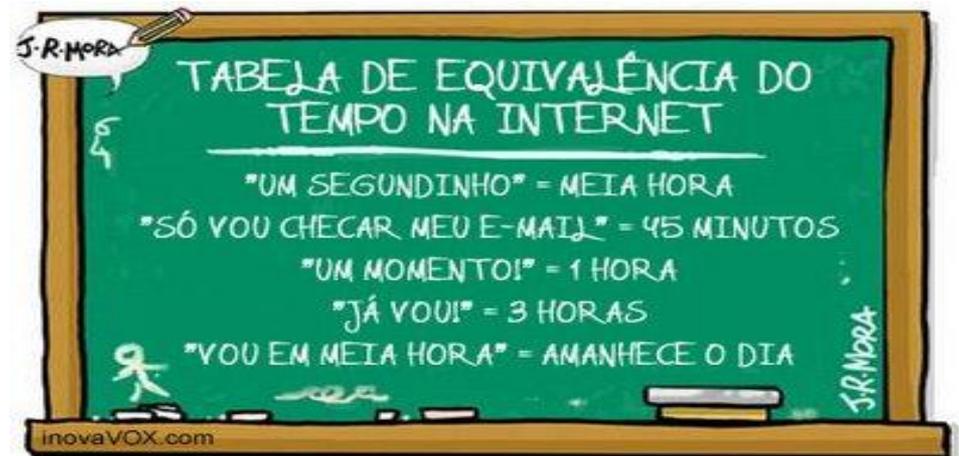
- Calorimetria direta (produção de calor) e indireta (consumo de oxigênio)



Mensuração do trabalho, potência e gasto energético

ESTIMATIVA DO GASTO ENERGÉTICO

- Através do consumo de oxigênio (Consumo de $O_2 = \dot{V}O_2$ no estado estável) é possível estimar a energia gasta durante a atividade física com uma precisão razoável.
- MET – Equivalente metabólico
- O MET é igual ao $\dot{V}O_2$ de repouso. Portanto, o gasto energético do exercício pode ser descrito por múltiplos do $\dot{V}O_2$ de repouso (METs).



Valor prognóstico do teste de caminhada de seis minutos na insuficiência cardíaca

Tabela 2 – Análise descritiva das variáveis numéricas segundo a evolução

| Variável | Evolução | Média | DP | Mediana | Mínimo | Máximo | p |
|-------------|-----------|-------|------|---------|--------|--------|----------|
| T6´(m) | Óbito | 487,3 | 75,9 | 480 | 277 | 685 | < 0,0001 |
| | Não-óbito | 540,9 | 69,4 | 540 | 264 | 670 | |
| Nº de METs | Óbito | 3,3 | 1,8 | 2,85 | 1,1 | 8,50 | 0,0001 |
| | Não-óbito | 5,3 | 2,3 | 5,30 | 1,3 | 8,78 | |
| FE(%) | Óbito | 31,3 | 11,9 | 33 | 9 | 38 | 0,002 |
| | Não-óbito | 37,0 | 12,3 | 35 | 12 | 40 | |
| Idade(anos) | Óbito | 62,9 | 11,4 | 64 | 33 | 85 | 0,0002 |
| | Não-óbito | 55,7 | 12,8 | 56 | 20 | 79 | |

T6´ - teste de caminhada de seis minutos; METs- equivalentes metabólicos; DP- desvio-padrão; m- metros; Nº - número; p - nível de significância; FE - fração de ejeção

Mensuração do trabalho, potência e gasto energético

CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DO EXERCÍCIO

- Fatores que influenciam a eficiência do exercício

Taxa de trabalho do exercício

Velocidade do movimento

Composição das fibras dos músculos que realizam o exercício

Obrigada!

