Metabolismo de Lipídeos Durante o Exercício Físico Aeróbico

Prof. Dr. Paulo Rizzo Ramires
Escola de Educação Física e Esporte
Universidade de São Paulo

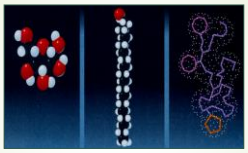
Referências Bibliográficas

Livro: McArdle & Katch & Katch. Fisiologia do Exercício:

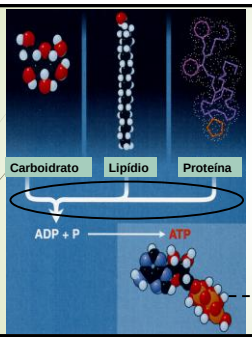


- Capítulo 1. Carboidratos, lipídeos e proteínas
  - Parte 2 – Lipídeos
- Capítulo 6. Transferência de energia no corpo
  - Parte – Liberação de energia pela gordura
- Capítulo 21. Treinamento para potência anaeróbica e aeróbica
  - Parte – Adaptações metabólicas ao treinamento físico aeróbico
    - Metabolismo de gorduras

Substratos Energéticos



Produção de ATP



Vias metabólicas energéticas

Energia para o trabalho celular

Lipídeos
Papel no Corpo

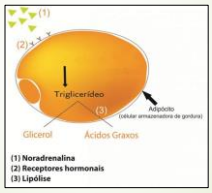
- Proteção aos órgãos vitais
- Isolamento térmico
- Componente de membranas celulares/organelas
- Transporte de vitaminas
- Reserva e fonte de energia

Lipídeos
Características

- Composição química: Carbono + Hidrogênio + oxigênio (~ Carboidratos)
- Proporção H:O
  - Gordura (a. esteárico) = $C_{57}H_{110}O_6$ = 18,3 : 1
  - Carboidrato (Glicose) = $C_6H_{12}O_6$ = 2:1
- Triglicerídeos = 98% da gordura da dieta
- Tecido adiposo = 90% da gordura corporal
- Armazenamento de energia
  - Gordura ~ 9,0 Kcal / g
  - Glicose ~ 4,0 Kcal / g

Adipócitos
Armazenam gorduras na forma de triglicerídeos

Células adiposas ou adipócitos são células do tecido adiposo

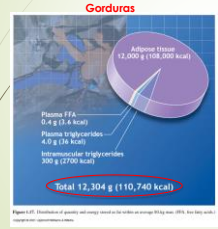


(1) Noradrenalina
(2) Receptores hormonais
(3) Lipólise

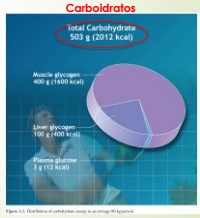
Reserva Energética Corporal
Gorduras e Carboidratos

(ex. Homem; 80 kg; 15% gordura corporal; 40% massa magra

Gorduras



Carboidratos



Reserva Energética Corporal
Gorduras e Carboidratos

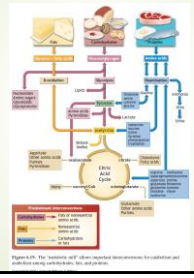
Carboidratos	g	Kcal
• Glicogênio muscular	400	1.600
• Glicogênio hepático	100	400
• Glicose extracelular	5	20
• Total	505	2.020

Gordura		
• Plasma	5	45
• Intramuscular	300	2.700
• Tecido adiposo	12.000	108.000
• Total	12.304	110.745

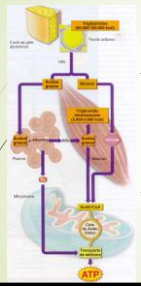
Gorduras armazenam 50 vezes mais energia do que os carboidratos

Valor Calórico
Carboidratos ~ 4,0 Kcal/g
Gordura ~ 9,0 Kcal/g

Oxidação de Substratos Energéticos
Gorduras, Carboidratos e Proteínas



Mobilização e Uso de Gorduras



Lipólise no tecido adiposo (Lipase Hormônio Sensível)

Transporte pela circulação (Ácido graxo + Albumina)

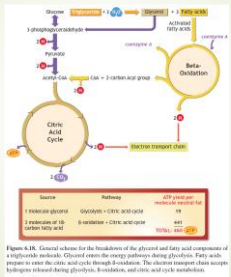
Lipólise intramuscular

Captação muscular

Transporte para dentro das mitocôndrias

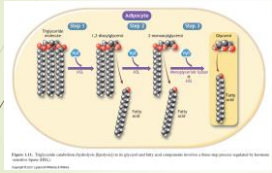
Via oxidativa:
ciclo do ácido cítrico
cadeia de transporte de elétrons

Metabolismo de Glicerol e AGL



Lipólise
Quebra do TG para Uso pelo Organismo

Lipólise no Tecido Adiposo / Intramuscular



Ativação da Lipólise

- Jejum
- Dieta hipocalórica
- Exposição ao frio
- Exercício leve – moderado
- Exercício prolongado
- Redução das reservas de glicogênio

HSL = Lipase Hormônio Sensível
AGL é liberado pelo T.A. e transportado junto com a Albumina até os tecidos

Lipólise no tecido Adiposo
Regulação Durante o Repouso

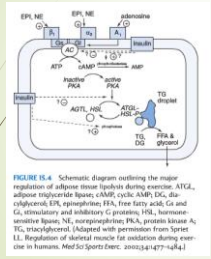


FIGURE 15.4 Schematic diagram outlining the major regulation of adipose tissue lipolysis during exercise. ATGL, adipose triglyceride lipase; cAMP, cyclic AMP; DG, diacylglycerol; EPI, epinephrine; FFA, free fatty acid; Gi and Gs, stimulatory and inhibitory G proteins; HSL, hormone-sensitive lipase; NE, norepinephrine; PKA, protein kinase A; TG, triacylglycerol. (Adapted with permission from Spriet LL. Regulation of skeletal muscle fat oxidation during exercise in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1477–1484.)

- **INIBIDORES:**
  - INSULINA
- **ATIVADORES:**
  - Adrenalina
  - Noradrenalina
  - Adenosina

Inibição da insulina prevalece no repouso

Lipólise no tecido Adiposo
Regulação Durante o Exercício

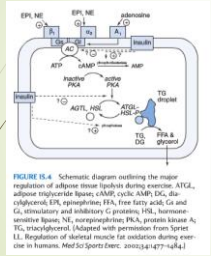


FIGURE 15.4 Schematic diagram outlining the major regulation of adipose tissue lipolysis during exercise. ATGL, adipose triglyceride lipase; cAMP, cyclic AMP; DG, diacylglycerol; EPI, epinephrine; FFA, free fatty acid; Gi and Gs, stimulatory and inhibitory G proteins; HSL, hormone-sensitive lipase; NE, norepinephrine; PKA, protein kinase A; TG, triacylglycerol. (Adapted with permission from Spriet LL. Regulation of skeletal muscle fat oxidation during exercise in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1477–1484.)

Durante o Exercício

- Aumenta a liberação de catecolaminas;
- Ativam os receptores B-adrenérgicos
- Ativam a Lipase Hormônio Sensível
- AGL e Glicerol são liberados na circulação

O aumento das catecolaminas durante o exercício supera os efeitos inibitórios da insulina sobre a lipólise.

A concentração de insulina diminui durante o exercício.

Ácido Graxo de Cadeia Longa
Mecanismos de captação

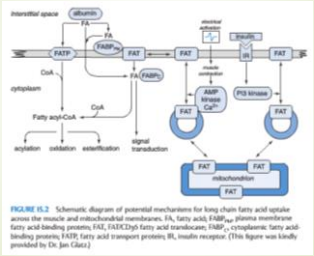


FIGURE 15.2 Schematic diagram of potential mechanisms for long chain fatty acid uptake across the muscle and mitochondrial membranes. FA, fatty acid; $FABP_{pm}$, plasma membrane fatty acid-binding protein; FAT, FATCD36 fatty acid translocase; $FABP_c$, cytoplasmic fatty acid-binding protein; FATP, fatty acid transport protein; IR, insulin receptor. (This figure was kindly provided by Dr. Jan Glatz.)

Metabolismo de Lipídios
Músculo Esquelético

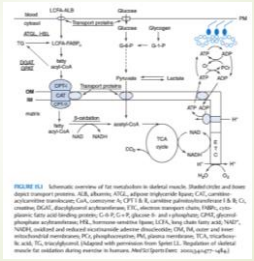


FIGURE 15.1 Schematic overview of fat metabolism in skeletal muscle. Shaded circles and boxes depict transport proteins. ALB, albumin; $ATGL_c$, adipose triglyceride lipase; CAC, carnitine acylcarnitine translocase; CoA, coenzyme A; CPT I & II, carnitine palmitoyltransferase I & II; C_i, creatine; DG/AT, diacylglycerol acyltransferase; ETC, electron transport chain; $FABP_c$, cytoplasmic fatty acid-binding protein; G-6-P, G_i-6-P, glucose 6- and 1-phosphate; G1PDC, glycerol phosphate acyltransferase; HSL, hormone-sensitive lipase; LCFA, long chain fatty acid; NAD+, NADH, oxidized and reduced nicotinamide adenine dinucleotide; OM, PM, outer and inner mitochondrial membranes; PC1, phosphocreatine; PM, plasma membrane; TCA, tricarboxylic acid; TG, triacylglycerol. (Adapted with permission from Spriet LL. Regulation of skeletal muscle fat oxidation during exercise in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:1477–1484.)

Interação Metabólica
Utilização de Carboidrato e Lipídios Durante o Exercício

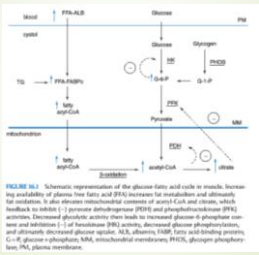


FIGURE 16.1 Schematic representation of the glucose-fatty acid cycle in muscle. Increasing availability of plasma free fatty acid (FFA) increases fat metabolism and ultimately fat oxidation. It also elevates mitochondrial contents of acetyl-CoA and citrate, which feedback to inhibit (–) pyruvate dehydrogenase (PDH) and phosphofructokinase (PFK) activities. Decreased glycolytic activity then leads to increased glucose-6-phosphate content and inhibition (–) of hexokinase (HK) activity, decreased glucose phosphorylation, and ultimately decreased glucose uptake. ALB, albumin; FABP, fatty acid-binding protein; G_i-P, glucose-1-phosphate; MM, mitochondrial membranes; PHOS, glycogen phosphorylase; PM, plasma membrane.

Metabolismo de Lipídios Durante o Exercício

Diversos locais de controle

1. Lipólise no tecido adiposo e liberação de AGL na circulação;
2. Transporte de AGL circulante aos músculos;
3. Captação de AGL pela membrana da célula muscular;
4. Lipólise intramuscular
5. Transporte de AGL para dentro da mitocondrial
6. Regulação da via de B-oxidação (geradora de Acetil-CoA)
7. Regulação do ciclo de Krebs (oxidação de Acetil-CoA)

- **A regulação do metabolismo de lipídios é bastante complexa.**
- **Existem diversos locais de controle regulatório no tecido adiposo e no músculo.**
- **Esta complexidade permite ao corpo ajustar o metabolismo para atender suas necessidades em diferentes situações: do repouso ao exercício intenso.**

Sistemas Energéticos

Em diferentes intensidades / duração de exercício









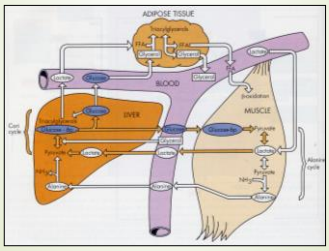
Sistemas Energéticos

Em diferentes intensidades / duração de exercício





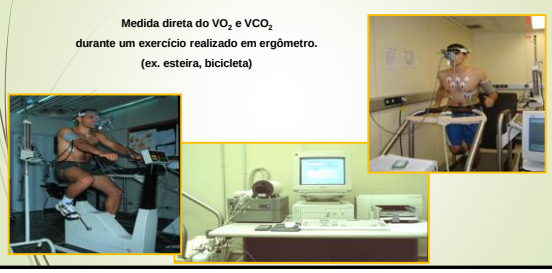
Como podemos estimar o uso de substrato pelo corpo durante o exercício

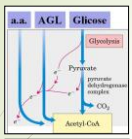


Ergoespirometria

Medida do Consumo de O_2 e Produção de CO_2

Medida direta do VO_2 e VCO_2 durante um exercício realizado em ergômetro. (ex. esteira, bicicleta)

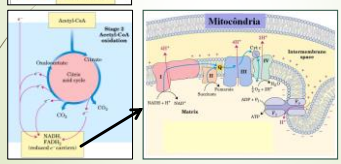




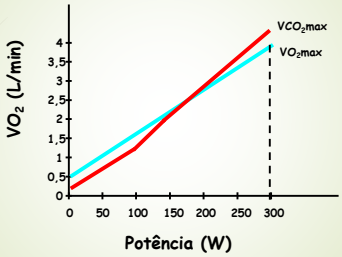
Metabolismo Energético

Consome Oxigênio = VO_2

Produz Dióxido de Carbono = VCO_2



VO_2 e VCO_2 Durante o Exercício Progressivo



Quociente Respiratório (QR)

Razão entre a quantidade de CO_2 produzido e O_2 consumido

$$QR = VCO_2 / VO_2$$

QR = R = RER = Razão de Troca Respiratória

Oxidação de Carboidratos

Valor do QR

Glicose

$$C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \rightarrow 6\ C0_2 + 6\ H_2O + 686\ kcal$$

$$RER = \frac{VCO_2}{VO_2} \qquad RER = \frac{6\ CO_2}{6\ O_2}$$

$$RER_{carb.} = 1$$

Oxidação de Gordura

Valor do QR

Ácido palmítico

$$C_{16}H_{32}O_2 + 23\ O_2 \rightarrow 16\ C0_2 + 16\ H_2O + 2.421\ kcal$$

$$RER = \frac{VCO_2}{VO_2} \qquad RER = \frac{16\ CO_2}{23\ O_2}$$

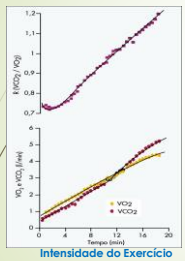
$$RER_{gordura} = 0,7$$

Valores do QR e Oxidação de Substrato

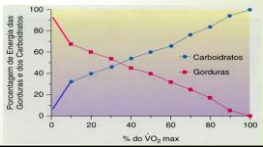


Utilização de Carboidratos e Gorduras Durante o Exercício

Efeito da Intensidade do Exercício

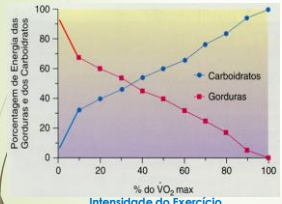


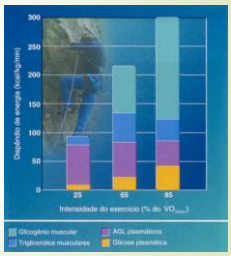




Utilização de Substratos Durante o Exercício Aeróbico

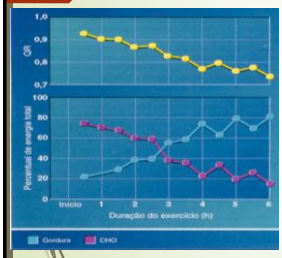
Efeito da intensidade do exercício

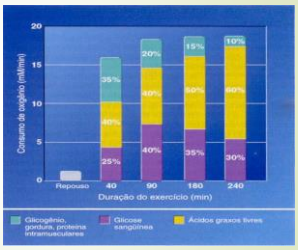




Utilização de Substratos Durante o Exercício Aeróbico

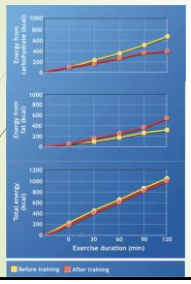
Efeito da duração do exercício





Utilização de Carboidratos Gorduras Durante o Exercício Aeróbico

Efeito do Treinamento Físico Aeróbico



Durante o Exercício Aeróbico prolongado

- TF: não muda o gasto calórico (semelhante)
- TF: aumenta o uso de gorduras
- TF: diminui o uso de carboidratos

- Menor produção de lactato → favorece a Lipólise
- Maior uso de AGL → economiza glicogênio
- Retarda a fadiga

Utilização de Carboidratos Durante o Exercício Aeróbico

Efeito da Treinamento Físico Aeróbico

Mecanismos envolvidos na menor utilização de carboidratos

Durante o exercício

- Maior capilarização muscular: aumenta a oferta de O_2 e gordura
- Menor concentração de insulina e de catecolaminas (potencializa a lipólise)
- Maior quantidade e tamanho de mitocôndrias
- Maior atividade enzimática oxidativa (β-oxidação, ciclo do ácido cítrico e CTE) – menor taxa de glicogenólise anaeróbica
- Maior taxa de gliconeogênese hepática (reutilização de Lactato, Glicerol e Alanina)
- Maior uso de AGL → menor uso de glicose → oxidação completa da glicose → menor produção de lactato

Na recuperação ao exercício

- Maior uso de AGL → menor oxidação de glicose
- Glicose captada → maior reposição das reservas de glicogênio

Utilização de Carboidratos Durante o Exercício Aeróbico

Efeito da Treinamento Físico Aeróbico



Utilização de Gorduras Durante o Exercício Aeróbico

Efeito da Treinamento Físico Aeróbico

Mecanismos envolvidos na maior utilização de gorduras

Durante o exercício

- Maior capilarização muscular: oferta de O_2 e gordura
- Maior quantidade e tamanho de mitocôndrias
- Maior atividade enzimática oxidativa (β-oxidação, ciclo do ácido cítrico e CTE)
- Maior intensidade de exercício
- Menor liberação de catecolaminas (maior sensibilidade)
- Maior uso de AGL → menor uso de glicose → menor produção de lactato

Na recuperação ao exercício

- Maior uso de AGL → economiza glicose → favorece reposição das reservas de glicogênio

Utilização de Gorduras Durante o Exercício Aeróbico

Efeito do Treinamento Físico Aeróbico

