Fisiologia do Exercício

Fisiologia do Exercício

Lúcio Flávio Soares Caldeira

© 2018 por Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

Presidente
Rodrigo Galindo

Vice-Presidente Acadêmico de Graduação e de Educação Básica
Mário Ghio Júnior

Conselho Acadêmico
Ana Lucia Jankovic Barduchi
Camila Cardoso Rotella
Danielly Nunes Andrade Noé
Grasiele Aparecida Lourenço
Isabel Cristina Chagas Barbin
Lidiane Cristina Vivaldini Olo
Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro

Revisão Técnica
Mateus Betanho Campana

Editorial
Camila Cardoso Rotella (Diretora)
Lidiane Cristina Vivaldini Olo (Gerente)
Elmir Carvalho da Silva (Coordenador)
Letícia Bento Pieroni (Coordenadora)
Renata Jéssica Galdino (Coordenadora)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Caldeira, Lúcio Flávio Soares
C146f Fisiologia do exercício / Lúcio Flávio Soares Caldeira.
– Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.
200 p.

ISBN 978-85-522-1121-1

1. Fisiologia do exercício. 2. Atividade física. 3. Esporte.
I. Caldeira, Lúcio Flávio Soares. II. Título.

CDD 612.044

Thamiris Mantovani CRB-8/9491

2018
Editora e Distribuidora Educacional S.A.
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza
CEP: 86041-100 — Londrina — PR
e-mail: editora.educacional@kroton.com.br
Homepage: http://www.kroton.com.br/

Sumário

Unidade 1 | Bioenergética e metabolismo 7

Seção 1.1 - Organização e adaptações celulares básicas ao exercício físico 8

Seção 1.2 - Absorção de nutrientes e energia para o exercício físico 25

Seção 1.3 - Vias metabólicas envolvidas na produção de energia 41

Unidade 2 | Sistema neuromuscular e exercício físico 61

Seção 2.1 - Controle neural do movimento humano 62

Seção 2.2 - Músculo esquelético: estrutura e função 75

Seção 2.3 - Organização e treinamento de força/resistido em diferentes populações 88

Unidade 3 | Funcionamento dos sistemas fisiológicos com o exercício físico 105

Seção 3.1 - Estrutura e função dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório 106

Seção 3.2 - Limiares de transição metabólica 122

Seção 3.3 - Sistema endócrino: organização e respostas agudas e crônicas ao exercício físico 132

Unidade 4 | Adaptações fisiológicas para saúde e desempenho 147

Seção 4.1 - Exercício físico e estresse ambiental 148

Seção 4.2 - Considerações aplicadas e testes de esforço para saúde e desempenho 161

Seção 4.3 - Exercício físico em populações especiais 176

Palavras do autor

Prezado aluno, seja bem-vindo ao iniciar seus estudos voltados à disciplina de Fisiologia do Exercício e sua importância para o profissional de educação física, seja no ambiente escolar ou não-escolar. Espero que as informações possam levá-lo a novas descobertas e direcionar seu interesse pelo tema e suas múltiplas possibilidades de estudo e aprofundamento nos conhecimentos científicos, além da aplicação prática do universo relacionado ao exercício físico.

O conteúdo deste livro irá oportunizar a você conhecer e compreender como regulam os sistemas bioenergético e metabólico no exercício físico, as interações entre o sistema neuromuscular, aspectos fisiológicos da fadiga e o exercício físico, o funcionamento dos principais sistemas corporais envolvidos em situações de testes de esforço e em diferentes tipos de exercício físico, além de aprofundar sobre as adaptações agudas e crônicas e seus efeitos no corpo humano.

Para isso, as unidades de ensino que serão abordadas irão progredir para entendimento, seguindo: a) bioenergética e metabolismo energético: considerando a organização e as adaptações celulares básicas ao exercício físico, a absorção de nutrientes, a energia para o exercício físico e as vias metabólicas envolvidas na produção de energia; b) sistema neuromuscular e exercício físico: abordando o controle neural do movimento humano, músculo esquelético: estrutura e função, organização e treinamento de força/resistido em diferentes populações; c) funcionamento dos sistemas fisiológicos com o exercício físico: passando pela estrutura e função dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório, pelos limiares de transição metabólica, pelo sistema endócrino: organização e respostas agudas e crônicas ao exercício físico; d) adaptações fisiológicas para saúde e desempenho: por meio do exercício físico e estresse ambiental, considerações aplicadas e testes de esforço para saúde e desempenho, além das considerações sobre o exercício físico em populações especiais.

O livro contará com situações de aprendizagem para que sejam contextualizadas algumas situações, e o conteúdo abordado poderá

ser aplicado e observado, ao se considerar a área da educação física. Adicionalmente, o livro apresentará estudos para aprofundamento inicial sobre alguns temas clássicos e contemporâneos da fisiologia do exercício.

Bons estudos!

Bioenergética e metabolismo

Convite ao estudo

Prezado aluno, nesta unidade iniciaremos seus estudos sobre a fisiologia do exercício e temas relacionados. Desse modo, acompanharemos Thiago, um profissional de educação física com formação em licenciatura e bacharelado. Ele exerce sua função de professor de Educação Física em duas escolas públicas de ensino fundamental (uma escola de periferia e outra em uma região central de uma cidade grande), além de ser treinador de uma equipe de atletismo da cidade em que mora. Thiago sempre realiza testes e avaliações das capacidades energéticas anaeróbia e aeróbia de seus alunos para avaliar a necessidade de adequações em suas aulas na escola e no treinamento com os atletas do atletismo. Como Thiago trabalha em duas escolas e dá treinos de atletismo, ele está com pouco tempo livre e pede sua ajuda para avaliar seus alunos. Assim, quais são as considerações fisiológicas e bioenergéticas que devem ser observadas e vivenciadas nesse contexto?

Para isso, nesta primeira unidade nos aprofundaremos no ensino relacionado à bioenergética e ao metabolismo. Dessa forma, avançaremos na primeira seção na organização e nas adaptações celulares básicas ao exercício físico e nos seus aspectos relacionados às adaptações do sistema imune e estresse oxidativo. Na segunda seção nos aprofundaremos no tema sobre absorção de nutrientes e energia para o exercício físico e a produção energética. Por fim, na terceira seção iremos compreender como funcionam os mecanismos fisiológicos nas vias metabólicas envolvidas na produção de energia, principalmente durante a realização de um exercício físico.

Seção 1.1

Organização e adaptações celulares básicas ao exercício físico

Diálogo aberto

Caro aluno, vamos iniciar a nossa primeira seção de estudos. Para isso, vamos considerar uma das escolas em que Thiago é professor. Essa escola fica em uma região de baixa renda na periferia da cidade. Dentro desse contexto, as crianças apresentaram, no início do ano letivo, certa dificuldade de execução de exercícios que exigem uma demanda energética anaeróbia lática e aeróbia. Além disso, Thiago percebe que várias crianças apresentam baixo peso corporal e podem se encontrar em déficit nutricional. Sabendo disso, como podemos ajudar Thiago, uma vez que a informação do estado nutricional das crianças é importante, e como esse quadro pode influenciar nas adaptações e respostas fisiológicas no sistema imune, inflamação e no estresse oxidativo?

Não pode faltar

Assimile

Nesta seção é importante compreendermos os diferentes tipos de células, sua estrutura e a função das organelas, principalmente a mitocôndria, além de como acontecem nas células a divisão celular, a morte celular e os ajustes fisiológicos no sistema imune, inflamação e estresse oxidativo com o exercício físico.

Estruturas e adaptações celulares com o exercício físico

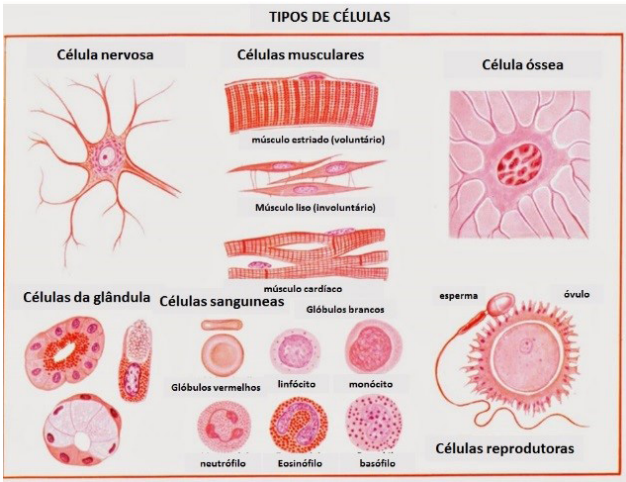
O funcionamento do organismo humano depende da interação de células, tecidos, órgãos e sistemas. De forma geral, as células atuam na formação e no funcionamento dos tecidos e órgãos que, por sua vez, modulam e influenciam os sistemas corporais. Embora

possamos observar os diferentes tipos de células de forma isolada, devemos considerar a complexidade com que toda a estrutura do corpo humano funciona e seus diferentes tipos de exigência. Assim, para que compreenda os aspectos fisiológicos gerais relacionados ao exercício, apresentaremos informações acerca das células e de sua estrutura, que é o resultado da interação de várias moléculas de forma complexa e coordenada (PITHON-CURI, 2013; TORTORA; DERRICKSON, 2016).

As células são divididas em procarióticas ou eucarióticas. As células procariontes são simples, do ponto de vista estrutural, pois vários componentes de sua estrutura se misturam, sem apresentar um núcleo e organelas especializadas que tenham membrana (ex: mitocôndria e o complexo de Golgi). Um exemplo de células procariontes são as bactérias. A célula eucarionte animal apresenta um núcleo, onde é armazenado o DNA (ácido desoxirribonucleico), além de organelas especializadas que fazem trocas de íons e metabólitos, o que garante o equilíbrio energético em diversas situações que desafiam as condições do ambiente interno celular. O transporte de moléculas entre o meio extracelular e intracelular, por meio da membrana plasmática, poderá ocorrer de forma livre ou facilitada por receptores específicos que ativam vias de sinalização intracelular (dentro da célula). Um exemplo disso seria a influência de diferentes tipos de hormônios (por fatores hidrossolúveis ou lipossolúveis) que acionam processos celulares para a produção de proteínas (ver com mais detalhes a Unidade 3 e Seção 3 do livro).

Para melhor compreender a composição das células eucariontes, sobretudo a dos mamíferos, devemos considerar os aspectos básicos sobre a membrana plasmática e o citoplasma, que contêm citoesqueleto, organelas (núcleo, retículo endoplasmático, complexo de Golgi, lisossomos, mitocôndria e os peroxissomos), bem como, centríolos, proteassomos, cílios e flagelos. Além disso, há vários tipos de células na composição do organismo humano, e um exemplo seria a realização do movimento corporal de forma voluntária, em que as células musculares e nervosas exercem um papel importante com outros tipos de células durante o exercício físico (ver Figura 1.1).

Figura 1.1 | Exemplos dos tipos de células que compõem o corpo humano



Fonte: <https://goo.gl/images/9xp7tK>. Acesso em: 12 mar. 2018.

A **membrana plasmática** é constituída por uma dupla camada de lipídios e de proteínas para facilitar e regular o transporte de íons e moléculas na comunicação de receptores celulares específicos. O transporte dos íons e das moléculas menores pode ocorrer por difusão passiva (sem gasto de energia), transporte ativo (com gasto de energia) ou transporte facilitado realizado por proteínas carregadoras. Outra função é a de englobar moléculas maiores, por uma deformação na membrana plasmática induzida por endocitose, para permitir a entrada de macromoléculas (fagocitose, pinocitose e endocitose mediada por receptor). Essa estrutura é muito importante durante e após sessões de exercícios físicos que induzem múltiplas respostas fisiológicas e adaptações celulares subsequentes.

O **citoplasma** é o conteúdo intracelular que é separado pela membrana plasmática do meio extracelular, formado por **citoesqueleto**, que dá o formato de cada tipo de célula (ver Figura 1.1), além de organelas. Cada célula apresenta um formato específico após as fases de diferenciação e especialização, a partir das células tronco, para exercer uma função característica. As **organelas** exercem várias funções celulares, sendo compostas por núcleo, retículo endoplasmático, complexo de Golgi, lisossomos, mitocôndria e peroxissomos.

O **núcleo** contém uma membrana nuclear para se isolar do citoplasma, mas apresenta poros em sua estrutura para permitir a troca de substâncias. Um dos principais papeis do núcleo é o controle na produção de proteínas e de RNA (ácido ribonucleico) por meio dos filamentos de DNA. Os núcleos são formados também por um ou mais nucléolos, dependendo do tipo de célula, sendo locais de síntese do RNA que compõem os ribossomos.

O **retículo endoplasmático** (RE) pode ser classificado em liso e rugoso, apresentando forma tubular. Sua localização fica no citoplasma junto à membrana nuclear. O RE rugoso contém ribossomos e apresenta uma importante função na produção de proteínas. Já o RE liso, por sua vez, produz substâncias não-proteicas, como hormônios esteroides em células de glândulas. Na célula muscular estriada (esquelética), o RE liso é chamado de retículo sarcoplasmático, com a função de captar e liberar íons de cálcio, importantes para que ocorra a contração muscular.

O **complexo de Golgi**, descoberto pelo italiano Camillo Golgi, presente principalmente em células secretoras, auxiliam na fase final da produção de proteínas iniciada pelo RE rugoso, como hormônios glicoproteicos. Sua função reside em alterar os centros de carboidratos ao remover ou adicionar açúcares para formação de grânulos de secreção, que se ligam à membrana plasmática para a realização do processo de exocitose (para fora da célula).

Os **lisossomos** têm como sua função principal realizar o processo digestivo, por enzimas hidrolíticas, de substâncias trazidas para o interior da célula, muito presentes em células do sistema imunológico (leucócitos e macrófagos), que são células fagocitárias. Além disso, têm o papel de realizar autólise (autodestruição), autofagia (comer a si próprio) e renovação de moléculas (ex.: lipídios e proteínas) e organelas.

A **mitocôndria** tem um papel muito importante nas células, pois produz grande parte do ATP (molécula de adenosina trifosfato), que garante energia primária de funcionamento da célula. As mitocôndrias apresentam duas membranas, uma externa e uma interna. A membrana externa é permeável por conter poros,

mas a membrana interna é impermeável e permite a passagem de moléculas importantes do metabolismo energético celular por transporte ativo. Esse processo durante o exercício físico é acentuado, assim, o papel da mitocôndria no metabolismo enérgico é crucial (ver com mais detalhes na Unidade 3). As mitocôndrias são muito presentes em células musculares esqueléticas e cardíacas (entre outras), além de conter DNA próprio e ribossomos. Dentro das mitocôndrias irá ocorrer processos metabólicos bioenergéticos, que envolvem a respiração celular, utilizando moléculas de oxigênio (O_2) na produção de uma grande quantidade de ATP, além de produzir dióxido de carbono (CO_2).

Os **perixossomos**, em parte, são organelas semelhantes aos lisossomos, e sua função será a de oxidar moléculas de hidrogênio com o oxigênio, formando o peróxido de hidrogênio (H_2O_2), resultando, depois desse processo, moléculas de água e oxigênio pela ação da enzima chamada catalase. As células do fígado e os rins apresentam uma grande quantidade de perixossomos, por exercer um papel de desintoxicar organismo de substâncias agressivas e nocivas.

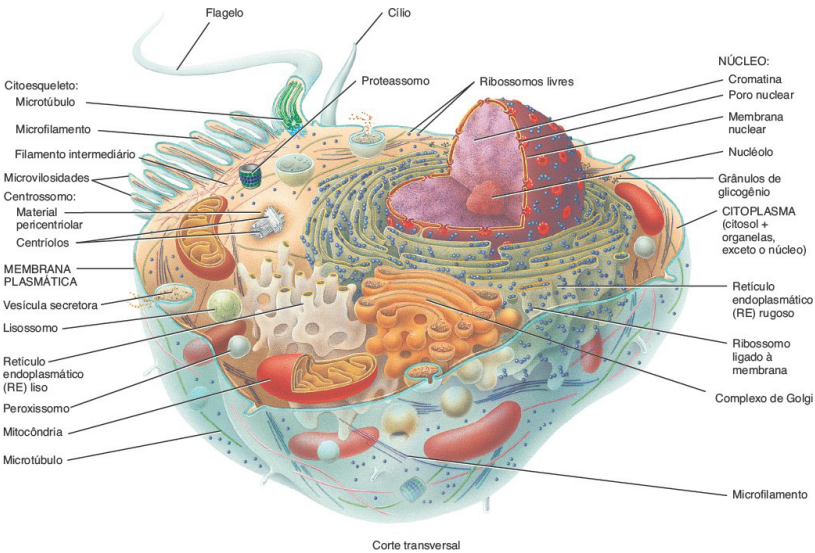
Os **centríolos** apresentam formato cilíndrico e são importantes no processo de divisão celular, formando dois pares para a fase de mitose celular (processo que a célula se divide).

Os **proteassomos** (formato próximo ao de "barril") têm o papel de digerir proteínas danificadas ou com defeito, ligando essas moléculas à ubiquitina (chamado de processo de ubiquitinação), que desencadeia o processo proteolítico. O produto da degradação de proteínas pelos proteassomos é liberado ao citoplasma da célula para a ação de proteases e sua degradação.

Os **cílios** e **flagelos** são estruturas no formato de microtúbulos que auxiliam as células a se movimentarem. Na via respiratória, milhares de cílios criam uma barreira de proteção para dificultar a entrada de poeira ou de organismos no pulmão, aspirados durante a respiração. No caso do espermatozoide em mamíferos, o flagelo é a estrutura que faz a célula se movimentar.

Dessa forma, exemplificamos a estrutura descrita da célula eucarionte de mamíferos na Figura 1.2.

Figura 1.2 | Estrutura geral encontrada nas células do corpo humano



Fonte: Tortora e Derrickson (2016, p. 61).

Pesquise mais

O vídeo *Funções das organelas em células eucariontes* demonstra e exemplifica a estrutura básica das células do corpo humano.

Disponível em: <https://youtu.be/Gdr-F9homAU>. Acesso em: 23 abr. 2018.

Mitocôndria e sua relação com o exercício

Uma das principais adaptações fisiológicas e celulares relacionadas aos exercícios físicos está relacionada às mitocôndrias. Mudanças morfológicas, como aumento no tamanho e número de mitocôndrias nas células, podem ser observadas em indivíduos que realizam por um longo período o treinamento aeróbio (*endurance*). Essas mudanças são de extrema importância para que a célula consiga produzir energia mediante o metabolismo aeróbio (ver detalhes na Unidade 3). Para isso, os sistemas cardiorrespiratório e cardiovascular aumentarão a taxa de funcionamento, afim de que sejam aumentados consideravelmente a absorção e o transporte

de oxigênio (O_2) no corpo e disponibilizá-lo até a célula muscular. Esse processo irá permitir que as mitocôndrias tenham melhores condições para consumir o O_2 para produção de uma grande quantidade de ATP na cadeira de transporte de elétrons. Dessa forma, como a realização de exercício físico aeróbio, de forma aguda, exige grande produção de ATP para a contração muscular, uma série de sinais fisiológicos (ex.: aumento dos íons de cálcio intramuscular e da participação das espécies reativas de oxigênio) irão estimular a célula a provocar mudanças estruturais (adaptações crônicas), incluindo aumento do número e tamanho das mitocôndrias por **biogênese mitocondrial** (IRRCHER et al., 2003; PEREIRA, 2015). É importante considerar que a biogênese mitocondrial irá ocorrer favoravelmente quando houver um equilíbrio entre os estímulos (mecânicos e fisiológicos), que dependerão da intensidade e do volume das sessões de treinamento realizadas, caso contrário, os sinais celulares estarão voltados para os processos de destruição celular (autofagia, apoptose ou necrose), aumentando, assim, os sinais inflamatórios excessivos e persistentes (NEUBAUER et al. 2008; TIDBALL, VILLALTA, 2010; PEREIRA, 2015).

Divisão celular / Tecidos e morte celular

O crescimento celular ocorre mediante processos relacionados ao ciclo celular, observados durante fissão binária (produção de duas células procariontes idênticas), mitose e/ou meiose. A **mitose** é a divisão de uma célula, gerando duas células idênticas geneticamente em fases chamadas de: interfase e estágios da mitose (divisão por meio das fases: prófase, metáfase, anáfase e telófase). A interfase se caracteriza por ser uma etapa preparatória com o metabolismo celular mais ativo, duplicação de organelas e componentes citosólicos (G1: duração de 8 a 10 horas), de duplicação de DNA (S: duração de 8 horas) em que a síntese de proteínas, as enzimas e a replicação de centrossomo se completam (G2: duração de 4 a 6 horas). Após a interfase, ocorrem as etapas da mitose para a realização da divisão celular, chamada de (fase M), que são: prófase, metáfase, anáfase e telófase. A **meiose** se efetiva como reprodução sexuada em células que inicialmente apresentam

dois cromossomos de cada tipo (células diploides) e reduz em células com um tipo de cromossomo, formando gametas (células haploides com 23 cromossomos). Na sequência, a união de dois gametas forma uma nova célula (zigoto), resultando em uma célula diploide com 46 cromossomos durante a fecundação (PITHON-CURI, 2013; TORTORA, DERRICKSON, 2016).

Tecidos e morte celular

A morte celular pode ser descrita classicamente por dois processos, chamados de **apoptose** e **necrose**. De forma geral, a morte celular por apoptose ocorre por estímulos fisiológicos programados e mais brandos, causando assim menor dano tecidual, além de envolver as fases de renovação celular. Já a morte celular por necrose causa maior dano tecidual por ser uma resposta a estímulos agressivos e patológicos, induzindo, assim, respostas inflamatórias excessivas por ser resultado de rompimento da membrana plasmática, extravasando todo o conteúdo interno da célula. A morte celular por necrose, geralmente ocorre por incapacidade adaptativa ao estímulo agressor que a célula foi submetida. Nesse caso, a realização de sessões de exercícios físicos pode induzir morte celular por apoptose e necrose. Esse resultado dependerá da intensidade e do volume do exercício físico e das condições que o estresse fisiológico induz na célula, mas haverá maior morte celular por necrose quando acompanhado de acidez metabólica excessiva, acúmulo de cálcio, estresse oxidativo persistente, hipóxia e hiperemia (acúmulo de sangue local) na célula (DE MELLO, CASTILHO; 2007).

Resposta imune e inflamatória ao treinamento

A prática de exercícios físicos induz respostas fisiológicas agudas e crônicas, sobretudo ao considerar o sistema imune e as vias relacionadas à inflamação. O exercício físico de forma aguda pode recrutar inúmeras células relacionadas ao sistema imune e induzir respostas inflamatórias importantes (pró e anti-inflamatórias), mas que irão depender de fatores como: intensidade e volume (duração) do exercício, característica

energética (anaeróbia e aeróbia), respostas hormonais, estresse térmico e demanda hemodinâmica, entre outros. Uma maior mobilização de células do sistema imune e de respostas inflamatórias, em geral, são observadas em indivíduos desacostumados com exercício físico (início de um programa de treinamento) ou quando o exercício apresenta um grande volume de contrações excêntricas, mesmo em indivíduos treinados, podendo causar dano muscular induzido por exercício (DMIE). Nesse caso, o DMIE é acompanhado de perda da capacidade de função (queda de força muscular), dor muscular, edema e calor na região exercitada e respostas inflamatórias persistentes (FOSCHINI; PRESTES; CHARRO, 2007).

Em uma sessão aguda de exercício físico muito intenso, há a migração de células do sistema imune para a célula muscular (TRICOLI, 2001; PITHON-CURI, 2013). O estresse mecânico excessivo produzido pelas contrações musculares pode provocar uma desorganização no citoesqueleto, na sequência inicia uma resposta inflamatória local indicada por níveis séricos aumentados de citocinas [glicoproteínas liberadas pelas células para alterar a função de células-alvo, como a interleucina-6 (IL-6), interleucina-1 (IL-1), fator de necrose tumoral-alfa (TNF-α)], bradicinina, proteína-C reativa e quimiotaxia (atração de células por gradiente químico) de leucócitos. Esse quadro pode aumentar a lesão no tecido muscular e alongar o tempo de recuperação devido ao aumento do estresse oxidativo e da liberação de enzimas por neutrófilos e macrófagos infiltrantes. Assim, há uma incapacidade da regulação de cálcio intracelular e diminuição da capacidade de contração muscular, além de maior permeabilidade da membrana plasmática, indicada por aumento de proteínas musculares no sangue (ex.: creatina quinase e mioglobina) e desenvolvimento da resposta inflamatória (ex.: infiltração de neutrófilos, macrófagos, liberação de citocinas pró e anti-inflamatórias) (PITHON-CURI, 2013; TRICOLI, 2001). A inflamação aguda indicada pela elevação de citocinas pró-inflamatórias, como TNF-α, interleucinas 8 (IL-8) e 1 beta (IL-1β), pode recrutar fagócitos responsáveis pela remoção de células necróticas e matriz extracelular danificada, porém, pode estender a lesão por

promover a infiltração de neutrófilos (NEUBAUER et al., 2008). A infiltração de células inflamatórias (ex.: neutrófilos) exige um aumento da permeabilidade dos vasos sanguíneos, extravasamento de plasma para o tecido (causando edema), provoca a liberação de mediadores de dor (ex: bradicinas) e aumento da temperatura local (TRICOLI, 2001). Embora possa parecer que o exercício físico seja nocivo, há também respostas adaptativas importantes, como mediadores anti-inflamatórios (ex: liberação de citocinas, como a interleucina 1R (IL-1R) e interleucina 10 (IL-10), que diminui o recrutamento de neutrófilos e macrófagos ativados para reparo do tecido (TIDBALL, VILLALTA; 2010). Outro fator adaptativo importante induzido pelo exercício é a elevação da interleucina 6 (IL-6), que está relacionada à contração muscular para liberação de glicose para o sangue e de energia para o músculo, e à estimulação da resposta hipertrófica (aumento de tamanho e de proteínas da célula) pela mobilização de células satélites e de fatores miogênicos no músculo (ver mais detalhes na unidade 1, seção 3 do livro), além de inibir as vias de sinalização pró-inflamatórias (TIDBALL; VILLALTA, 2010).

Uma redução de casos de doenças infeciosas, da inflamação sistêmica por redução de marcadores inflamatórios em indivíduos que praticam exercícios físicos moderados por um longo período, sobretudo em relação a algumas doenças (obesidade, diabetes tipo 2, câncer de cólon, síndrome metabólica, artrite, aterosclerose, etc.) que são tratadas de forma coadjuvante com a prática regular de exercícios físico, é observada. Em atletas, o exercício físico extenuante pode causar efeito imunossupressor, causando um maior risco de infecções das vias aéreas respiratórias por redução de imunoglobulinas (anticorpos de defesa do organismo), na mucosa, por exemplo. Desse modo, os efeitos do exercício físico (agudo e crônico) parecem interagir de maneira complexa, porém, orquestrada com o sistema imune, e induz diferentes padrões de inflamação que dependerão de fatores relacionados às características que envolvem o exercício físico, como agente agressor, e da condição física e biológica do praticante (idade, sexo, nível de condicionamento e estado de saúde) (PITHON-CURI, 2013).

Reflita

Após entendermos a estrutura e o funcionamento celular e como o exercício físico pode provocar alterações significativas, tente definir e exemplificar em quais situações a prática regular do exercício, ou programas de condicionamento físico, induzirá adaptações positivas ou negativas?

Exercício físico e estresse oxidativo

O organismo necessita de grande quantidade de energia (produção de moléculas de ATP) para a manutenção e o funcionamento da atividade celular que, na sua maioria, advém do metabolismo aeróbio, sendo o oxigênio o aceptor (que recebe) final de elétrons na cadeia respiratória. Uma parte do oxigênio (O_2) que é consumido para produção de ATP, sobretudo durante o exercício físico, produz espécies reativas de oxigênio (ERO) e também espécies reativas de nitrogênio (ERN). Como a demanda de O_2 durante o exercício é grande, uma maior liberação de ERO é observada, sendo essa liberação proporcional à intensidade do exercício físico. A produção de ERO no músculo, induzida pelo exercício, pode ser danosa, causando lesões na estrutura celular e induzindo um maior dano muscular, consequentemente, maior grau de inflação e lesão no tecido. Por outro lado, a produção de ERO e ERN sinaliza mecanismos celulares de adaptação, ativando uma melhor resposta fisiológica celular no sistema imune. No tecido muscular esquelético, as ERO são liberadas mediante algumas reações químicas, resultando em radical ânion superóxido ($O_2^{\bullet-}$) e radical hidroxila (*OH), que são considerados radicais livres com grande potencial oxidante. Além disso, são consideradas ERO o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o oxigênio singlete (molécula de O_2 com elétrons emparelhados, altamente reativos) (PITHON-CURI, 2013).

Pesquise mais

Os vídeos a seguir demonstram como as células podem produzir e liberar espécies reativas de oxigênio (ERO) e em quais situações isso pode ocorrer. Disponível em: <https://youtu.be/I-CY7GXTUCA>. Acesso em: 24 abr. 2018.

A principal fonte de liberação das ERO é na mitocôndria, por meio da cadeira de transporte de elétrons. Entretanto, outras fontes de ERO também podem ser observadas, como pelos neutrófilos (para destruição de agentes agressores infeciosos, como vírus e bactérias), peroxissomos (pela formação de H_2O_2 pela atividade da beta-oxidação em metabolizar os ácidos graxos provenientes da lipólise) e xantina oxidase (pela degradação de moléculas de adenosina monofosfato (AMP) em hipoxantina, em seguida em xantina e ácido úrico, podendo liberar O_2^{*-}. A liberação de ERN ocorre pela influência do óxido nítrico (NO) e pela interação com o O_2^{*-} produzindo assim o peróxido nítrico (ONOO-), considerado uma ERN. O NO tem várias funções no organismo e é formado por O_2 e arginina mediante a atividade da enzima óxido nítrico sintase (NOS) (PITHON-CURI, 2013).

Um elevado grau de liberação de ERO e de ERN durante o exercício pode causar efeitos negativos no tecido muscular, por induzir o estresse oxidativo que é nocivo à célula, o que resulta em diminuição da força muscular e fadiga. Porém a célula muscular apresenta maneiras de se proteger dos efeitos causados pelo estresse oxidativo por mecanismos antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos. A ação enzimática antioxidante é observada pelas enzimas superóxido dismutase (SOD), glutationa peroxidase, glutationa redutase, catalase e tiorredoxina redutase, removendo, assim, as ERO. Além disso, há o mecanismo antioxidante não enzimático, que proporciona uma proteção aos danos causados pelas ERO e está relacionado às vitaminas A, C e E, à glicose, à tiorredoxina, à ubiquinona, ao ácido úrico, à cisteína, à fenilalanina e à glutationa reduzida. Nesse sentido, estratégias nutricionais de suplementação de vitamina E, creatina e glutationa podem auxiliar na redução do estresse oxidativo. De forma controversa, a suplementação de indivíduos com vitamina C apresenta nenhum ou um efeito muito pequeno sobre a redução dos efeitos agressivos da liberação de ERO no exercício físico (CRUZAT ET AL., 2007; PITHON-CURI, 2013).

De forma inevitável durante o exercício, a libração de ERO na célula muscular está associada a mecanismos fisiológicos de contração e relaxamento muscular. Contudo, o acúmulo de H_2O_2 tem efeito negativo na capacidade da célula muscular em se contrair e, consequentemente, há perda de força. Adicionalmente, o acúmulo

de ERO e ERN provocado pelo exercício intenso desencadeia o aumento do processo inflamatório, causando aumento da lesão do tecido, perda de função, sintomas de dor local, edema (inchaço), rubor e DMIE. Esses efeitos são mais comuns de serem observados em indivíduos destreinados, em atletas com cargas excessivas de treinamento (*overtraining*) e em indivíduos que passam por privação ou déficit nutricional. Entretanto, é importante lembrar que a prática prolongada de exercícios físicos, de forma equilibrada, proporcionará adaptações importantes nos mecanismos antioxidantes, promovendo uma melhor função celular frente ao estresse provocado pelo exercício, uma resposta imune mais eficaz e um melhor desempenho (CRUZAT ET AL., 2007; PITHON-CURI, 2013).

Exemplificando

É importante compreender que a realização de exercícios físicos resulta em várias respostas celulares e fisiológicas, que podem ser de caráter agudo e crônico. As respostas agudas são aquelas que ocorrem de forma imediata para atender ao estresse causado pelo exercício físico, como aumento da liberação de energia imediata pelos sistemas metabólicos (aeróbio e anaeróbio), liberação de espécies reativas de oxigênio na célula, liberação de citocinas pró e anti-inflamatórias, morte celular em decorrência de exercícios muito intensos, liberação de hormônios, etc. Adaptações crônicas são os efeitos fisiológicos que ocorrem ao longo do tempo, como, por exemplo: menor grau de inflamação sistêmica em repouso ou em exercício, aumento do número e quantidade de mitocôndria na célula (biogênese mitocondrial), maior capacidade de ressíntese de energia para o exercício (ATP), aumento de conteúdo de proteínas celulares, etc.

Sem medo de errar

Caro aluno, Thiago detectou que seus alunos apresentaram, no início do ano letivo, certa dificuldade na execução de exercícios que exigem uma demanda energética anaeróbia lática e aeróbia. Além disso, percebeu que várias crianças apresentam baixo peso corporal (ao avaliar o índice massa corporal) e podem se encontrar em déficit nutricional. Diante disso, como podemos ajudá-lo sabendo que a informação do estado nutricional das crianças é importante? E como

esse quadro pode influenciar as adaptações e as respostas do sistema imune, da inflamação e do estresse oxidativo?

A resolução proposta se baseia no conhecimento de que a privação nutricional pode contribuir no aumento das respostas inflamatórias e de estresse oxidativo com a perda de nutrientes e vitaminas que exercem papel antioxidante, fazendo com que os alunos tenham pior desempenho físico.

Assim, sugere-se que Thiago procure alternativas junto à escola que propiciem às crianças uma refeição a mais, fornecendo maior aporte de nutrientes e vitaminas, podendo induzir menores respostas inflamatórias e estresse oxidativo durante as aulas de educação física.

Indique alimentos ricos em vitaminas, como algumas frutas, para serem oferecidos às crianças. Alimentos ricos em carboidratos auxiliarão na reposição e síntese de glicogênio muscular, que é o principal substrato energético para fornecer energia em exercício anaeróbios (lático) e aeróbio.

Avançando na prática

Treinamento de força e dano muscular induzido por exercício

Descrição da situação-problema

Você iniciará a prescrição de um exercício para um aluno que apresenta um longo tempo destreinado e deseja aumentar seus níveis de força e resistência muscular. Para tanto, você irá planejar e orientar a execução de exercícios que trabalhem as capacidades físicas que o aluno deseja melhorar. Frente a isso, para que ele não tenha sintomas excessivos de dor muscular no seu início, quais são os cuidados que você terá com o seu aluno durante o programa de treinamento nas primeiras semanas?

Resolução da situação-problema

Para que o aluno não tenha sintomas excessivos de dor muscular tardios, causados pelo dano muscular induzido pelo exercício

proveniente do seu treinamento, você terá de tomar cuidado quanto à carga e o volume do treino, avaliando como seu aluno perceve e sente as intensidades e a duração dos sintomas de dor muscular, comuns nesse início. Você também diz ao seu aluno que esses sintomas são normais, mas que não devem ser excessivos, pois indicam processos persistentes de inflamação e estresse oxidativo, que se observados, podem indicar lesões importantes no tecido muscular.

Faça valer a pena

1. Considerando as células eucariontes animal, existem vários componentes celulares que se fazem presentes que auxiliam no funcionamento dos tecidos, órgãos e sistemas corporais.

Assim, escolha a alternativa que esteja totalmente correta em relação aos componentes celulares.

a) Membrana plasmática, citoplasma que contêm citoesqueleto, organelas (núcleo, retículo endoplasmático, complexo de Golgi, lisossomos, mitocôndria e peroxissomos), centríolos, proteassomos, cílios e flagelos.
b) Membrana plasmática, citoplasma que contêm somente organelas (núcleo, complexo de Golgi, lisossomos, mitocôndria e peroxissomos) e centríolos.
c) Citoplasma que contêm citoesqueleto, organelas (núcleo, retículo endoplasmático, complexo de Golgi, lisossomos, mitocôndria e os peroxissomos), centríolos, proteassomos, cílios e flagelos.
d) Organelas (núcleo, retículo endoplasmático, complexo de Golgi, lisossomos, mitocôndria e os peroxissomos).
e) Membrana plasmática, citoplasma que contêm citoesqueleto, centríolos, proteassomos, cílios e flagelos.

2. Uma das principais adaptações fisiológicas e celulares relacionadas aos exercícios físicos, está relacionada às mitocôndrias. Mudanças morfológicas, como aumento no tamanho e número de mitocôndrias na célula, podem ser observadas em indivíduos que realizam por um longo período o treinamento aeróbio (*endurance*). Esse efeito indica maior capacidade de consumo de oxigênio para produção de moléculas de adenosina trifosfato (ATP). Dessa forma, há sinais fisiológicos que irão estimular a célula a gerar uma biogênese mitocondrial.

Assim, qual alternativa contempla os sinais que podem induzir uma biogênese mitocondrial com a prática regular do treinamento aeróbio.

a) Processos de destruição celular (autofagia, apoptose ou necrose) aumentando assim os sinais inflamatórios excessivos e persistentes.
b) Aumento na quantidade de núcleo da célula.
c) Aumento dos íons de cálcio intramuscular e da participação das espécies reativas de oxigênio.
d) Aumento no volume de sangue ofertado em repouso.
e) Maior liberação de agentes anti-inflamatórios intracelular.

3. A ativação do sistema imune durante e após o exercício intenso pode provocar um aumento na resposta inflamatória, podendo evoluir para o dano muscular induzido por exercício (DMIE). Esse quadro é mais comum em indivíduos destreinados; assim, alguns sintomas estão relacionados ao DMIE após esforços de alta intensidade. Com isso, há infiltração de células inflamatórias, que exige um aumento da permeabilidade dos vasos sanguíneos, extravasamento de plasma para o tecido (provocando edema) e a liberação de mediadores de dor e aumento da temperatura local. Embora o exercício físico possa parecer nocivo, há também respostas adaptativas importantes, como mediadores anti-inflamatórios.

Assim, qual alternativa contempla os sinais positivos das respostas inflamatórias causados pelo exercício?

a) A liberação de todas as interleucinas diminui o recrutamento de neutrófilos e macrófagos ativados para reparo do tecido e que está relacionada à contração muscular (liberação de energia para o músculo) e que estimula a resposta hipertrófica.
b) Efeito imunossupressor, causando um maior risco de infecções das vias aéreas respiratórias por redução de imunoglobulinas (anticorpos de defesa do organismo) na mucosa.
c) A inflamação aguda – indicada pela elevação de citocinas pró-inflamatórias como fator de necrose tumoral-alfa (TNF-α), interleucinas 8 (IL-8) e 1 beta (IL-1β) – pode recrutar fagócitos responsáveis pela remoção de células necróticas e matriz extracelular danificada, porém, estender a lesão por infiltração de neutrófilos.
d) A liberação de interleucina 1R (IL-1R) e interleucina 10 (IL-10) – que diminui o recrutamento de neutrófilos e macrófagos e ativa as vias para reparo do tecido, favorecendo, também, a redução de proteína

C reativa (PCR) e fator de necrose tumoral-alfa – além da interleucina 6 (IL-6), que está relacionada à contração muscular (liberação de energia para o músculo) e estimula a resposta hipertrófica.

e) A liberação de espécies reativas de nitrogênio que ocorre pela influência do óxido nítrico (NO) pela interação com o O_2^{*-} produzindo, assim, o peróxido nítrico (ONOO-).

Seção 1.2

Absorção de nutrientes e energia para o exercício físico

Diálogo aberto

Prezado aluno, neste momento vamos observar uma situação prática em que o professor Thiago está propondo realizar avaliações para determinar o gasto energético de seus alunos em períodos de inatividade física e atividades esportivas realizadas durante aulas de Educação Física (EF) na escola que fica na região mais central da cidade. Thiago sabe que alguns de seus alunos têm apresentado um certo grau de sobrepeso, e realizar a avaliação do gasto energético em diferentes situações poderá favorecer em um processo de conscientização de seus alunos, a fim de melhorar aspectos de saúde. Além disso, Thiago é o responsável por aplicar testes para medir as capacidades anaeróbia (alática e lática) e aeróbia, utilizando o manual de testes propostos pelo Ministério do Esporte (PROESP, 2016), que apresenta orientação básica e tabelas de classificação com referências de desempenho para detecção de talentos. Vamos então ajudar o professor Thiago sobre quais possibilidades podem ser utilizadas em avaliar o gasto energético de seus alunos em períodos de inatividade física e em atividades esportivas realizadas durante as aulas de EF? E como esse resultado poderá auxiliar os alunos do professor para desenvolver uma maior conscientização no que diz respeito ao gasto energético e sua relação com a saúde? Além disso, esses resultados podem ter uma relação com o desempenho de testes de capacidades anaeróbia e aeróbia em seus alunos?

Não pode faltar

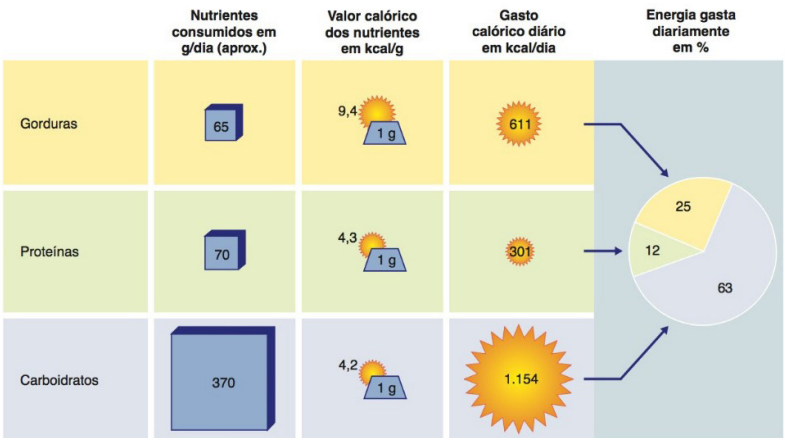
Fontes de energia para o exercício: macronutrientes (carboidratos, lipídios e proteínas)

A alimentação que fazemos diariamente nos fornece nutrientes e energia para o trabalho biológico das células. Durante a prática de atividades ou de exercícios físicos, nos diferentes contextos, haverá um maior fornecimento de energia, que inicialmente vem

dos nutrientes que consumimos na alimentação. Os nutrientes mais importantes são divididos em **macronutrientes** (formados por moléculas de carbono, hidrogênio e oxigênio) e classificados em **carboidratos**, **proteínas** (contêm nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio) e **lipídeos**.

Cada macronutriente influencia de maneira específica o metabolismo energético para produzir energia às atividades e ao exercício físico. Assim, o valor energético por cada grama desses macronutrientes são diferentes entre si. Potencial de combustão e de energia efetiva por grama de cada macronutriente é demonstrado na Figura 1.3 a seguir.

Figura 1.3 | Conteúdo energético dos macronutrientes e a estimativa de gasto de energia de um homem de 70 Kg com atividades leves de trabalho



Fonte: Cury-Boaventura (2013, p. 19).

Assimile

Caloria diz respeito a uma unidade de medida da energia térmica. É muito comum abreviar o termo caloria em "cal" ou "kcal". Em termos quantitativos, 1 kcal é igual a 1000 cal.

É importante notar que a quantidade de gramas que os carboidratos e proteínas consumidos na alimentação contribuem de forma similar no gasto energético (calorias). Contudo, percebemos que as gorduras (lipídeos) contribuem com um valor maior de

calorias por grama consumido. É importante considerar, no exemplo apresentado na Figura 1.3, que a quantidade total de carboidratos fornecidos na dieta irá gerar uma energia para o gasto calórico significativamente maior (cerca de 63%) do que a de proteínas (12%) e gordura (25%).

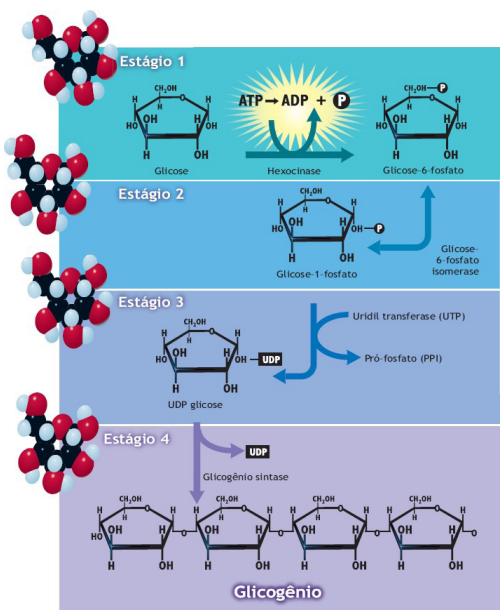
Os **carboidratos** (açúcares) presentes em vários tipos de alimentos são a fonte de energia primária e produzidos na natureza por influência da energia do Sol (toda energia terrestre vem do Sol, segundo POWERS, 2009). Um exemplo disso seriam as reações químicas dos vegetais utilizando a energia solar (fotossíntese) para gerar os carboidratos, como apresentado na Figura 1.4. A recomendação de carboidratos na ingestão calórica diária total é de 45 a 50%, mas pode alcançar 63%, segundo a *American Dietetic Association* (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016). A ingestão adequada e a manutenção dos estoques de carboidratos se mostram importantes, pois auxiliam na preservação de proteínas e de fonte de energia para o exercício físico, tendo seu impacto direto do desempenho muscular.

Figura 1.4 | Reação química dos vegetais utilizando a energia solar (fotossíntese) para produzir a molécula de glicose

Fonte: McArdle, Katch, Katch (2016, p. 9).

Existem três tipos de carboidratos, classificados em monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Os principais **monossacarídeos** são glicose, frutose e galactose. Os **oligossacarídeos** são formados pela combinação de 2 a 10 monossacarídeos, sendo os dissacarídeos como principais, por exemplo: sacarose (glicose + frutose), encontrada nos alimentos como a beterraba, cana-de-açúcar, açúcar mascavo, mel, etc.; lactose (glicose + galactose), não encontrada nos vegetais, sua forma natural está no leite como açúcar do leite, e maltose, chamado açúcar do malte (glicose + glicose), encontrada nos cereais, sementes em germinação e na cerveja (McARDLE, KATCH, KATCH; 2016). Os **polissacarídeos** (encontrados em vegetais e animais) são formados por 3 ou mais monossacarídeos em reações de síntese por desidratação, que apresenta a perda de água. Os polissacarídeos vegetais são o amido e as fibras. O glicogênio é um grande polímero de polissacarídeo, sintetizado a partir da glicose pela reação de **glicogênese** (catalisado pela enzima glicogênio sintase). O glicogênio é sintetizado em 4 etapas, principalmente no fígado e nos músculos, em maiores quantidades totais (veja a Figura 1.5).

Figura 1.5 | Reações da glicogênese para síntese de glicogênio



Fonte: McArdle, Katch, Katch (2016, p. 12).

A quebra do glicogênio como substrato energético utilizado durante o exercício físico pelo músculo se mostra importante, tanto pelo metabolismo anaeróbio (via glicolítica que produz ATP e lactato), quanto aeróbio (que resulta em ATP, CO_2 e H_2O). No fígado, o glicogênio é quebrado para formar novas moléculas de glicose e liberada na corrente sanguínea para os tecidos que irão necessitar da glicose para atender às suas funções. O processo de quebra do glicogênio no músculo e no fígado em moléculas de glicose é conhecido por **glicogenólise** (POWERS; HOWLEY, 2009).

As **proteínas** são o resultado da soma de vários aminoácidos (AA) por ligações peptídicas, sendo classificados como essenciais e não-essenciais. Os AA essenciais (isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano e valina) não são produzidos pelo corpo, mas encontrados em alimentos de origem vegetal ou animal. O AA cistina é sintetizado pela metionina, e o tirosina pela fenilalanina. Em crianças, a arginina é sintetizada de forma limitada, e os bebês recém-nascidos (lactentes) não conseguem sintetizar histidina. Os demais AA não-essenciais são produzidos no corpo humano. As proteínas são importantes no processo de crescimento celular e de reparo tecidual, frequentemente requisitado após sessões de exercícios físicos para promover importantes adaptações. As proteínas podem auxiliar durante o exercício físico como fonte de energia pela influência do AA alanina em converter-se em glicose pelo fígado e liberada até o músculo, via corrente sanguínea, para síntese de glicogênio. Outra forma seria a quebra de proteínas em AA (exemplo: isoleucina, alanina, leucina e valina) para se converter em intermediários utilizados pelo metabolismo energético (veja com mais detalhes a Seção 3 desta unidade) (POWERS; HOWLEY, 2009).

Os **lipídeos** (gorduras) são semelhantes aos elementos estruturais de um carboidrato, mas a razão de hidrogênio com oxigênio é muito maior. Os lipídeos são insolúveis na água e encontrados nos alimentos de origem animal e vegetal. Os lipídeos são classificados em simples (ou neutros), compostos e derivados.

Os lipídeos simples são os triacilgliceróis, formados por 1 glicerol e 3 ácidos graxos (AG), que correspondem a mais de 90% da ingestão total de gordura na alimentação. Por sua vez, os AG apresentam cadeias longas de átomos em cadeias de carbono que estão ligadas com um grupo carboxila (–COOH) na extremidade. Os AG podem ser

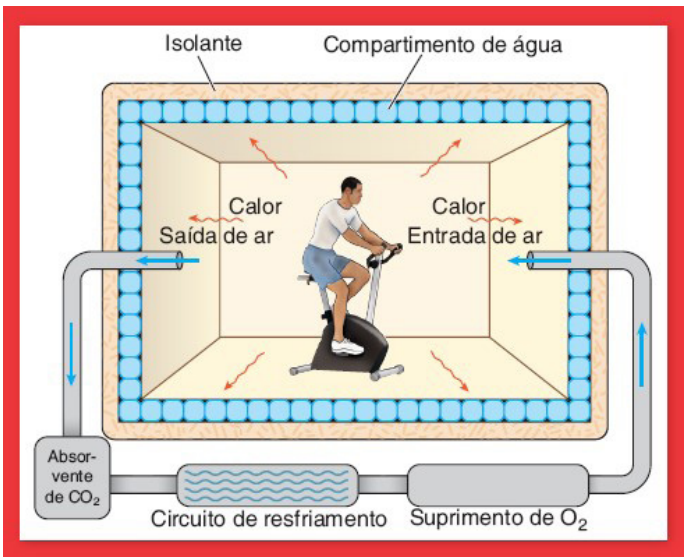
classificados como saturados e insaturados. Os AG saturados contêm uma simples ligação entre os átomos de carbonos e são encontrados principalmente em alimentos de origem animal. Já os AG insaturados apresentam dupla ligação entre um ou mais átomos de carbono ao longo de sua cadeia e estão mais disponíveis em óleos vegetais. Os triacilgliceróis são armazenados em grande parte do corpo nos adipócitos (células gordurosas) e também são encontrados nas células musculares, importantes fontes de energia para o exercício de característica aeróbia. Neste processo, os AG provenientes das gorduras pela lipólise, durante o exercício físico, serão ligados com a albumina para serem transportados no sangue para os tecidos, o que lhe dá o nome de AG livres. Os lipídeos compostos são os fosfolipídios (resultado da combinação de lipídeos com ácido fosfórico) e representam aproximadamente 10% da gordura corporal total, sendo sintetizados em todas as células, porém com ênfase pelo fígado. Os fosfolipídios desempenham importantes funções, como a integridade estrutural e da função das membranas da célula, na coagulação do sangue e integridade para bainha de mielina que envolve o axônio as fibras nervosas. Além disso, temos outros lipídios compostos, como os glicolipídios e as lipoproteínas hidrossolúveis (função de meio de transporte dos lipídios no sangue). Os lipídeos derivados são os esteroides, sendo o colesterol o principal, que não apresenta AG, mas tem características similares, o que o torna um dos lipídeos. O colesterol está presente na membrana plasmática de praticamente todas as células animais. O fígado é responsável por formar quase 70% do colesterol no corpo, mas também pode ser formado nas paredes das artérias e no intestino. São inúmeras as funções do colesterol no corpo, como na formação de membranas plasmáticas, vitamina D e hormônios (das glândulas suprarrenais, estrogênio, testosterona e progesterona). É importante lembrar que o excesso de colesterol no sangue pode favorecer na doença arterial coronariana, embora tenha várias funções importantes no corpo (POWERS; HOWLEY, 2009; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Mensuração da produção de calor: calorimetria direta e indireta

Durante o exercício físico, o processo de quebra da molécula de ATP na célula muscular irá fornecer energia para trabalho mecânico, mas que em grande parte deverá produzir e liberar calor pelo corpo.

O calor produzido é resultado de várias reações metabólicas. Assim, a mensuração do gasto de energia durante o exercício físico será por técnicas de calorimetria (mensuração da energia térmica). A calorimetria poderá ser obtida por métodos diretos (**calorimetria direta**) ou indiretos (**calorimetria indireta**). A medição direta da energia térmica liberada pelo corpo será por calorimetria direta, um método que necessita de ambiente laboratorial construído (câmaras) onde o calor produzido pelo indivíduo será medido ao considerar o aumento da temperatura do ar ou da água em torno das paredes, como é ilustrado na Figura 1.6. Embora a calorimetria direta seja um método preciso, sua utilização é de difícil acesso, além de apresentar um alto custo. E também deve se considerar que influencia na produção de calor que pode ser emitida pelo ergômetro utilizado.

Figura 1.6 | Modelo de calorímetro humano que mede diretamente a taxa de produção de calor



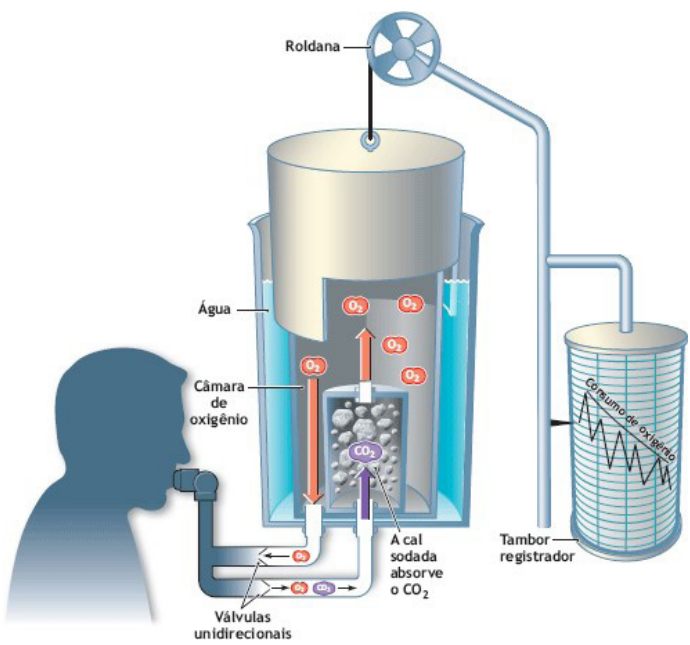
Fonte: Kraemer, Fleck, Deschenes (2016, p. 66).

Uma forma mais viável seria a medição da calorimetria por métodos indiretos. Neste caso, deve-se estabelecer a relação entre as trocas de gases entre o consumo de O_2 e produção de CO_2 na respiração. Embora seja considerado um método indireto, a calorimetria indireta apresenta medidas de gasto energético muito fidedignas, além

de ser mais simples e ter menor custo. Para determinar o gasto energético pela calorimetria indireta, serão utilizados os métodos de: espirometria de **circuito fechado** e **aberto**. Na espirometria de circuito fechado, a respiração é realizada em uma câmara lacrada com o gás de O_2, tendo o CO_2 expirado absorvido (veja a Figura 1.7, painel A). Desta forma, o consumo de O_2 é analisado, porém não se mostra muito aplicável e viável, pois o equipamento não permite deslocamento e é muito volumoso. Assim, grande parte dos estudos que utiliza medidas de gasto energético durante o exercício físico aplica a espirometria de circuito aberto, pois permite medir o consumo de O_2 durante o movimento humano (veja a Figura 1.7, painel B) no ar ambiente (apresenta aproximadamente 20,93% de O_2 e 0,03% de CO_2). Neste sentido, quanto maior o consumo de O_2 durante o exercício, maior será a taxa de produção de calor, medido em calorias (CURI, 2013; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

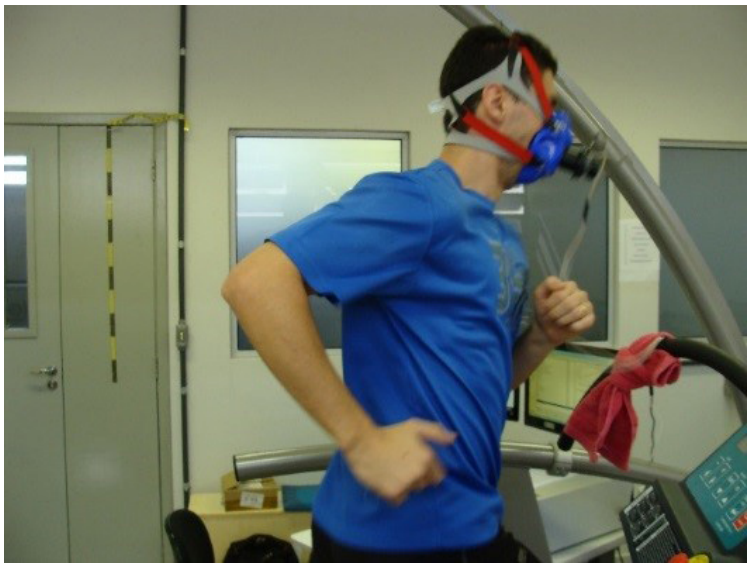
Figura 1.7 | Exemplos de calorimetria de circuito fechado (painel A) e de circuito aberto (painel B)

Painel A



Fonte: McArdle, Katch, Katch (2016, p. 179).

Painel B

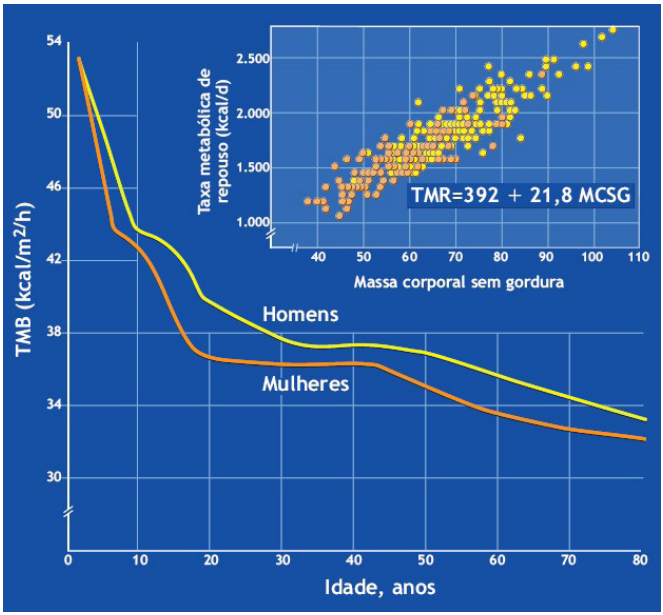


Fonte: autor, 2016.

Gasto calórico em repouso e em exercício

Todas as reações metabólicas no corpo, seja em repouso ou em exercício físico, irão liberar calor. Podemos considerar o calor produzido pelas reações metabólicas como a taxa de metabolismo energético, que, em repouso na posição supina, será denominada taxa metabólica basal (TMB) medida em laboratório. A TMB sofre influência de fatores como sexo, idade e massa isenta de gordura (influenciada em grande parte pela massa muscular), como demonstrado na Figura 1.8. Pode-se observar que a TMB reduz com o avanço da idade, as mulheres apresentando uma TMB ligeiramente menor do que a dos os homens. Já a taxa metabólica de repouso (TMR) é medida por cerca de 3 a 4 horas após refeição leve e sem atividade física. A TMR é um pouco maior que a TMB, mas são conceitos similares.

Figura 1.8 | Influência da idade e sexo na taxa metabólica basal (TMB) e a de repouso (TMR)



Fonte: McArdle, Katch, Katch (2016).

A prática de atividade física irá contribuir para um maior gasto energético diário, pois a realização de esforços físicos são os que mais contribuem para aumentar o gasto calórico. Em exercícios como correr, pedalar e nadar, a taxa metabólica pode ser 10 vezes maior do que o de repouso. Assim, aumentar o nível de atividade física ou a prática de exercícios físicos é seguramente uma das formas mais eficazes para aumentar a taxa metabólica e o gasto energético. Outro fator, como o efeito térmico dos alimentos, também exerce um papel no gasto energético (POWER; HOWLEY, 2009; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Exemplificando

Na prática, podemos estimar o gasto energético diário (GED) (kcal/dia) médio por equações específicas [método HARRIS-BENEDICT, (1919)] para mulheres e homens mediante os valores de peso corporal, estatura e idade, como demonstrado a seguir:

Mulheres:

$$GED\ (kcal/24h) = 655 + (9,6 \times massa\ corporal(kg)) + (1,85 \times estatura(cm)) - (4,7 \times idade(anos))$$

Homens:

$$GED\ (kcal/24h) = 66 + (13,7 \times massa\ corporal(Kg)) + (5,0 \times estatura(cm)) - (6,8 \times idade(anos))$$

Estimativas de gasto calórico para atividade física e exercício físico

Durante a atividade ou o exercício físico, a estimativa de gasto energético será mediante ao valor de MET, que é o equivalente metabólico acima do repouso. Assim, 1 MET é igual ao consumo de O_2 relativo de repouso por massa corporal na ordem de 3,5 (mL/Kg/min), que resulta em aproximadamente 1 kcal/min. Logo, se um indivíduo estiver em um exercício que apresenta uma demanda de O_2 de 35 (mL/Kg/min), ele terá um gasto energético de 10 METs. Outra forma de avaliar o MET é considerar o consumo de oxigênio absoluto em repouso de 250 (mL/min) para homens e 200 (mL/min) mulheres, ambos de tamanho e massa corporal comuns. Assim, se um homem estiver em uma atividade física que equivale a 2 METs, ele estará consumindo 500 (/min) de O_2 (POWER; HOWLEY, 2009; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016). De forma genérica, o gasto energético em kcal por minuto (kcal/min) será:

$$Gasto\ energético\ (kcal/\min) = 0,0175\ (kcal/kg/\min/METs) \times METs \times peso\ corporal(kg)$$

Assim, podemos ter um exemplo do gasto energético (kcal/min) de um indivíduo de 70 Kg ao correr a 8 km/h, que é igual a 8 METs (veja a lista no tópico "Pesquise mais" de compêndio das atividades físicas – versão em português).

$$\text{Gasto energético (kcal/min)} = 0,0175\ (kcal/kg/min/\text{METs}) \times 8 \times 70\ (kg)$$

$$\text{Gasto energético (kcal/min)} = 9,8$$

Pesquise mais

Para determinação do gasto energético (kcal/min) utilize a lista do compêndio de atividades físicas e de exercícios físicos, como os valores de METs, no link a seguir:

Apresentação de uma Versão em Português do Compêndio de Atividades Físicas. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/283528993_em_Portugues_do_Compendio_de_Atividades_F'isicas_uma_contribuicao_aos_pesquisadores_e_profissionais_em_Fisiologia_do_Exerc'icio>. Acesso em: 02 maio 2018.

Conceitos sobre metabolismo

O metabolismo da célula, em particular a muscular, irá realizar inúmeras reações com o objetivo de produzir moléculas de ATP por meio de sistemas energéticos. Assim, durante as contrações musculares no exercício físico, os metabolismos energéticos, anaeróbio (alático e lático) e aeróbio (oxidativo) contribuirão para ressíntese de ATP, com diferentes níveis de exigência e contribuição. Para isso, o metabolismo irá quebrar um substrato no início da reação, resultando em um produto ao final. Esse processo será mediado por enzimas, que são catalizadoras com funções específicas de realizar transformações metabólicas. Algumas enzimas em algumas reações metabólicas necessitam da participação de co-enzimas, que realizam o transporte de íons. As enzimas podem ser inibidas ou ativadas de acordo com a necessidade celular de um determinado sistema energético. Além disso, níveis críticos de pH celular (indicador de acidez) e temperatura inibem a atividade das enzimas. Fatores como intensidade e tempo do exercício irão indicar o grau de contribuição dos sistemas metabólicos energéticos. Contudo, aprofundaremos os conhecimentos com relação ao funcionamento dos sistemas energéticos anaeróbio e aeróbio durante o exercício na próxima seção (POWER; HOWLEY, 2009; PITHON-CURI, 2009; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Reflita

Apesar de os conhecimentos sobre o valor energético dos alimentos e de gasto energético terem sido realizados em situações e ambientes laboratoriais extremamente controlados, podemos utilizar essas

informações por métodos simples, aplicados e válidos. Assim, é possível acessar de forma indireta os aspectos gerais a medida energética de caloria com relação aos macronutrientes, metabolismo de repouso e do gasto energético em diferentes tipos de atividades físicas.

Prezado aluno vamos considerar as informações apresentadas ao professor Thiago, que está propondo realizar avaliações para determinar o gasto energético de seus alunos em períodos de inatividade física e atividades esportivas realizadas durante aulas de Educação Física (EF) na escola, pois alguns de seus alunos têm apresentado um certo grau de sobrepeso. Thiago pretende realizar a avaliação do gasto energético em diferentes situações, pois acredita que poderá favorecer em um processo de conscientização de seus alunos, a fim de melhorar aspectos de saúde. Além disso, ele é o responsável na escola por aplicar testes para medir as capacidades anaeróbia (alática e lática) e aeróbia, utilizando o manual de testes propostos pelo Ministério do Esporte (PROESP, 2016), que apresenta orientação básica e tabelas de classificação com referências de desempenho para detecção de talentos. Vamos então ajudar o professor Thiago sobre quais as possibilidades podem ser utilizadas em avaliar o gasto energético de seus alunos em períodos de inatividade física e em atividades esportivas realizadas durante as aulas de EF? E como esse resultado poderá auxiliar os alunos do professor Thiago para desenvolver uma maior conscientização no que diz respeito ao gasto energético e sua relação com a saúde? Além disso, esses resultados podem ter uma relação com o desempenho de testes de capacidades anaeróbia e aeróbia em seus alunos?

Podemos ajudar o docente considerando as seguintes etapas:

a. Utilização do compêndio de atividades físicas para determinação do gasto energético, que oferece os valores em METs (FARINATI, 2003).
b. Utilização da equação de gasto energético diário considerando o valor de MET e peso corporal (kg).
c. Listagem de todos os testes presentes no PROESP (2016) e classificando-os de acordo com o perfil metabólico de maior contribuição energética. Para isso, sugere-se o uso da referência do PROESP (2016), apresentada nesta seção.

Em seguida, Thiago terá valores objetivos de gasto energético de seus alunos nas situações de inatividade física e em atividades esportivas executadas nas aulas de EF, auxiliando seus alunos a compreenderem a importância de realizar atividade físicas que resultem em um gasto energético importante fora do ambiente escolar, principalmente em alunos que apresentem sobrepeso e obesidade. Adicionalmente, será possível realizar a seleção de talentos de acordo com os pontos de corte sugeridos pelo PROESP após Thiago aplicar os testes de capacidades anaeróbia e aeróbia. Entretanto, o professor não deverá limitar-se somente aos resultados dos testes para orientação de seus alunos na prática de esportes, mas sim utilizar o PROESP como um recurso adicional e pontual, incentivando todos seus alunos a praticarem atividades físicas esportivas e de lazer, o que induz um maior gasto energético, proporcionando, assim, melhores aspectos de saúde.

Avançando na prática

Orientação de exercícios físicos e mensuração do gasto energético

Descrição da situação-problema

Você terá que orientar um cliente de 40 anos do sexo masculino na prática de exercícios físicos, com o objetivo de aumentar o gasto energético diário, pois ele tem relatado um crescente aumento de peso no último ano (5 Kg) e um estilo de vida sedentário. Seu cliente se dispõe de realizar exercícios físicos orientados 3 vezes na semana e 45 minutos por sessão. Como você deverá iniciar seu planejamento de acordo com essa situação?

Resolução da situação-problema

Inicialmente, deve-se investigar as causas de aumento de peso por dois fatores: 1º ingestão de nutrientes na alimentação, e 2º determinar o gasto energético diário em média. Assim, recomenda-se o trabalho em conjunto com um profissional da nutrição para investigar a ingestão alimentar de seu cliente. Se encontrar desequilíbrios, sugira que siga uma dieta orientada por nutricionistas e que faça uma reeducação alimentar, pois esse deve ser o principal fator que está contribuindo para o aumento do peso de seu cliente.

Em seguida, você poderá realizar estimativas do cálculo do gasto energético diário e da taxa metabólica basal para saber se há um déficit de gasto energético em relação a ingestão alimentar.

Outro ponto é orientar exercícios físicos compatíveis com o grau de condicionamento físico de seu cliente, a fim de aumentar seu gasto energético diário e a taxa metabólica basal. Adicionalmente, instrua-o a realizar atividades físicas, principalmente de lazer, pois irá causar um maior gasto energético.

Faça valer a pena

1. Diariamente, ingerimos nutrientes na alimentação. Os mais importantes são divididos em macronutrientes (formados por moléculas de carbono, hidrogênio e oxigênio) e classificados em carboidratos, proteínas (contêm nitrogênio, carbono, hidrogênio e oxigênio) e lipídeos. Cada macronutriente influencia de maneira específica o metabolismo energético para produzir energia às atividades físicas e ao exercício físico.

De acordo com as informações acima citadas, qual o valor energético efetivo de cada macronutriente por grama?

a) Carboidrato = 9,4 kcal/g; proteínas = 4,3 kcal/g; lipídeos = 4,4 kcal/g.
b) Carboidrato = 4,2 kcal/g; proteínas = 9,4 kcal/g; lipídeos = 4,3 kcal/g.
c) Carboidrato = 4,2 kcal/g; proteínas = 4,3 kcal/g; lipídeos = 4,4 kcal/g.
d) Carboidrato = 9,2 kcal/g; proteínas = 9,3 kcal/g; lipídeos = 9,4 kcal/g.
e) Carboidrato = 4,2 kcal/g; proteínas = 4,3 kcal/g; lipídeos = 9,4 kcal/g.

2. Durante o exercício físico, a célula muscular irá fornecer energia para trabalho mecânico, mas, em grande parte, deverá produzir e liberar calor pelo corpo. O calor produzido é resultado de várias reações metabólicas. Assim, a mensuração do gasto de energia durante o exercício físico será por técnicas de calorimetria (mensuração da energia térmica).

Dessa forma, analise as assertivas a seguir:

I. A calorimetria direta é um método que necessita de ambiente laboratorial construído (câmaras), onde o calor produzido pelo indivíduo será medido ao considerar o aumento da temperatura do ar ou da água em torno das paredes.

II. A calorimetria indireta apresenta medidas de gasto energético muito fidedignas, além de ser mais simples e ter menor custo mediante análise de consumo de oxigênio e exalação de dióxido de carbono.
III. Para determinar o gasto energético pela calorimetria indireta, serão utilizados os métodos de: espirometria de circuito fechado e aberto.

Escolha a alternativa correta ao analisar as assertivas.

a) Somente a assertiva I está correta.
b) Somente a assertiva II está correta.
c) Somente as assertivas I e II estão corretas.
d) Somente as assertivas II e III estão corretas.
e) Todas as assertivas estão corretas.

3. Analise as assertivas com relação às estimativas de gasto energético na atividade física.

I. O equivalente metabólico (MET) é igual ao consumo de O_2 relativo de repouso em 3,5 (/Kg/min), que é aproximadamente de 1 kcal/min.
II. Se um indivíduo estiver em um exercício que apresenta uma demanda de O_2 de 42 (/Kg/min), ele terá um gasto energético de 10 METs.
III. Outra forma de avaliar o MET é considerar o consumo de oxigênio absoluto em repouso de 250 (/min) para homens e 200 (/min) mulheres, ambos de tamanho e massa corporal comuns. Assim, se um homem estiver em uma atividade física que equivale a 3 METs, ele estará consumindo 750 (/min) de O_2.

Escolha a alternativa correta ao analisar as assertivas.

a) Somente a assertiva I está correta.
b) Somente a assertiva II está correta.
c) Somente as assertivas I e II estão corretas.
d) Somente as assertivas I e III estão corretas.
e) Somente a assertiva III está correta.

Seção 1.3

Vias metabólicas envolvidas na produção de energia

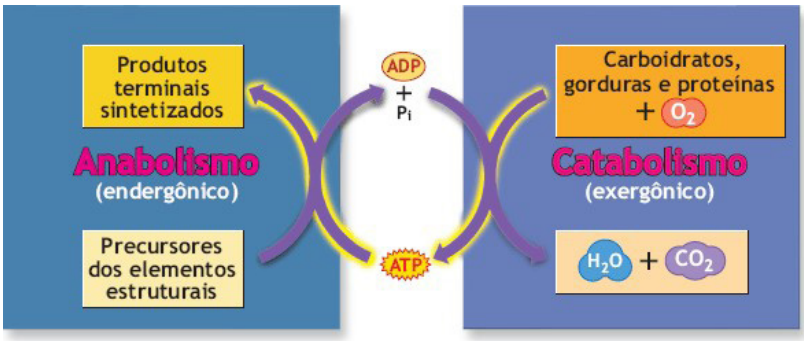
Diálogo aberto

Caro aluno, vamos observar uma situação em que o professor Thiago é um dos técnicos de uma equipe de atletismo de sua cidade. Durante o ano, é necessário o acompanhamento do desempenho dos atletas por meio de testes de capacidade e de potência anaeróbia e aeróbia. Assim, Thiago opta sempre por realizar testes de potência anaeróbia alática (salto horizontal parado) e de capacidade anaeróbia e aeróbia (utilizando o modelo bioenergético de velocidade crítica) em seus corredores, pois são de fácil aplicação durante as sessões de treino. Esses testes permitem identificar se os corredores estão progredindo no treinamento, além de fornecerem parâmetros de predição de desempenho dos atletas. Desta forma, como podemos auxiliar Thiago com a aplicação e a interpretação dos resultados dos testes de potência anaeróbia alática (salto horizontal parado) e de capacidade anaeróbia e aeróbia (utilizando o modelo bioenergético de velocidade crítica) em seus atletas durante o ano?

Não pode faltar

As células do corpo humano requerem energia de reações químicas que ocorrerão em diferentes sistemas do metabolismo celular (resultado de todas as reações da célula) (POWERS; HOWLEY, 2014). Neste caso, a energia para o funcionamento das funções celulares será extraída dos alimentos e armazenadas em carboidratos, lipídios e proteínas por reações **endergônicas** ou anabólicas. De forma conjunta, essa energia contida poderá ser liberada na quebra de moléculas de adenosina trifosfato (ATP) por reações **exergônicas** ou catabólicas, proporcionando à célula a realização do trabalho biológico e, na sua maior parte, a perda de energia na forma de calor. As reações endergônicas e exergônicas (como exemplificado na Figura 1.9) ocorrem de maneira sincronizada, a fim de atender às necessidades momentâneas das células.

Figura 1.9 | Representação da atuação conjunta das reações endergônicas e exergônicas para formação e quebra de ATP, a partir da reciclagem de moléculas de adenosina difosfato (ADP) e fosfato inorgânico (Pi)



Fonte: McArdle, Katch e Katch (2016, p. 135).

Via energética anaeróbia alática e lática

Na célula muscular, o processo de quebra das moléculas de ATP proporcionará a transformação de energia química em energia mecânica (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2018; POWERS; HOWLEY, 2014). O processo de quebra de ATP será acentuado durante a realização de um exercício físico, sobretudo em esforços de alta intensidade e curta duração. Inicialmente, a quebra do ATP, ao se ligar com a molécula de H2O, fornecerá energia à célula pela reação de **hidrólise** (ilustrada a seguir), através da ação da enzima adenosina trifosfatase (**ATPase**). O resultado da quebra de ATP pela hidrólise durante o exercício físico será a formação e o acúmulo de ADP, fosfato inorgânico (Pi) e energia livre (-7,3 kcal/mol) (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2018; POWERS; HOWLEY, 2014).

Hidrólise: $ATP + H_2O \xrightarrow{ATPase} ADP + Pi + Energia$

Contudo, os estoques de moléculas de ATP no músculo são reduzidos e diminuem rapidamente no exercício físico intenso, necessitando, assim, ressintetizar a molécula de ATP. Por sua vez, a ressíntese de moléculas de ATP durante o exercício físico ocorrerá mediante sistemas energéticos do **metabolismo anaeróbio (alático e lático)** e do **aeróbio**, na tentativa de reequilibrar as quantidades de ATP e de ADP na célula.

O metabolismo anaeróbio alático fornecerá novas moléculas de ATP, suprindo a necessidade de energia imediata para trabalho biológico à célula, através dos sistemas energéticos: **ATP-CP** e **ADP-**

ADP (reação adenilato quinase). Esses sistemas são importantes durante os esforços de alta intensidade e curta duração (até aproximadamente 10 segundos), pois fornecem novas moléculas de ATP à célula sem a necessidade de oxigênio. O sistema ATP-CP se mostra a principal forma de ressíntese de ATP anaeróbica alática durante o exercício, pois utiliza as moléculas de ADP e de creatina fosfato (CP) para liberar uma nova molécula de ATP e de creatina, pela ação da enzima creatina quinase (CK) (até aproximadamente 10 segundos).

Sistema ATP-CP: $ADP + CP \xrightarrow{\text{creatina quinase}} ATP + \text{creatina livre}$

Outra forma de realizar a ressíntese de ATP pelo metabolismo anaeróbico alático é mediante o sistema ADP-ADP, que utiliza duas moléculas de ADP e, pela ação da enzima adelinato quinase (ou mioquinase), regenera uma molécula de ATP para a célula, mas também liberar uma molécula de adenosina monofosfato (AMP).

Sistema ADP-ADP: $ADP + ADP \xrightarrow{\text{adenilato quinase}} ATP + AMP$

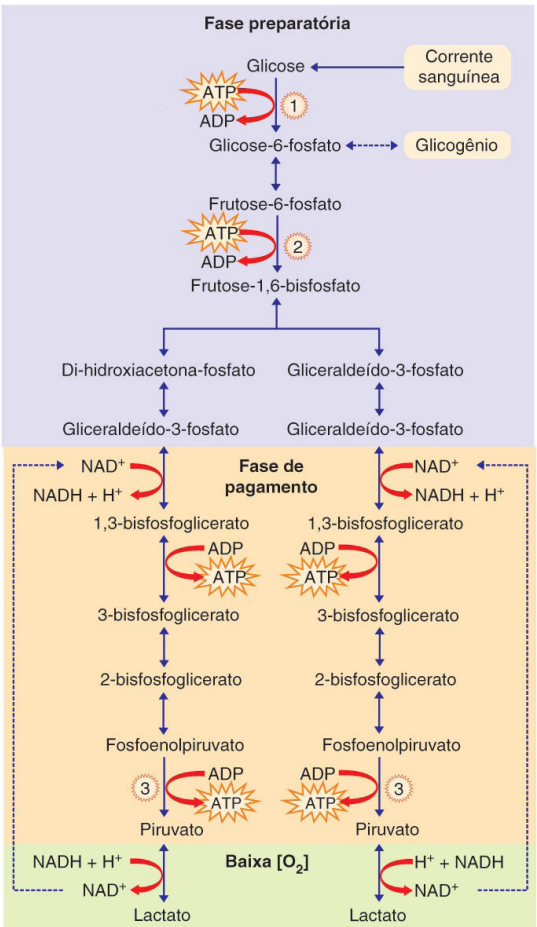
Embora seja rápida a liberação de ATP pelos sistemas ATP-CP e ADP-ADP à célula muscular, possibilitando que ela realize contrações musculares para atender à demanda de energia em esforços de alta intensidade, há limitações metabólicas impostas pelo exercício físico, quando o tempo em esforço passa de 10 segundos. Após esse período, haverá saturação das enzimas envolvidas do metabolismo anaeróbio alático, acúmulo de ADP, AMP e Pi, que vão estimular as enzimas relacionadas ao metabolismo anaeróbio lático a acelerar a taxa de degradação de seus substratos energéticos (glicose e glicogênio), para também produzir moléculas de ATP pela via glicolítica.

As principais características da via glicolítica são a liberação de moléculas de ATP, a liberação de íons de hidrogênio (H+) e a formação de ácido lático. Por sua vez, a taxa acentuada de utilização da via glicolítica provocará acidose metabólica, indicada por uma queda do pH. Para isso, a glicólise anaeróbia quebrará moléculas de glicose e/ou glicogênio muscular em um processo que será dividido em 2 etapas: 1) investimento de energia e 2) produção de energia. A representação da glicólise anaeróbia (quebra de glicose ou de glicogênio muscular) com as suas duas etapas é ilustrada na Figura 1.10.

Exemplificando

O metabolismo energético poderá aproveitar os produtos finais para fornecer novas formas de energia, como na neoglicogênese ou gliconeogênese. É o caso do Ciclo de Cori, que utiliza o lactato produzido no músculo e é removido, levado até o fígado via corrente sanguínea e retorna na forma de glicose, fornecendo uma nova forma de energia ao músculo.

Figura 1.10 | Via glicolítica demonstrando as fases de investimento (preparação) e produção (pagamento) de energia

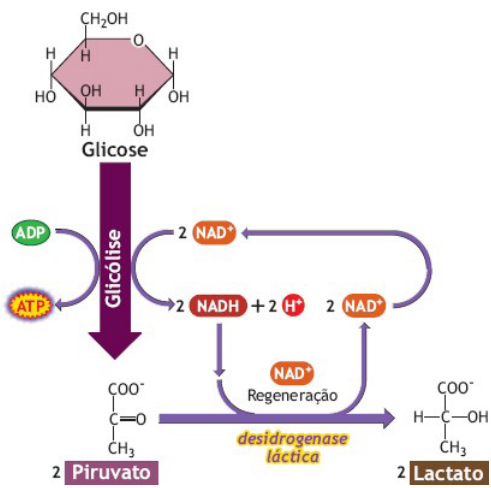


Fonte: Pithon-Curi, (2013, p. 27).
Nota: 1 = enzima hexoquinase; 2 = enzima fosfofrutoquinase (PFK) e 3 = enzima piruvato quinase.

Durante o metabolismo anaeróbio lático pela via glicolítica, a oferta de oxigênio no músculo ainda é baixa, com maior contribuição energética durante o exercício, iniciando a partir de 15 segundos e alcançando o pico próximo a 60 segundos. Durante esse processo, é importante observar que a 1ª fase da glicólise (investimento de energia = gasto de ATP) ocorrerá pela ação das enzimas hexoquinase na quebra de moléculas de glicose em glicose-6-fosfato e da enzima fosfofrutoquinase na quebra da molécula de frutose-6-fosfato em frutose-1,6-difosfato. É importante notar que a quebra de glicogênio vai necessitar somente de 1 ATP investido na 1ª fase, ao passo que a quebra de glicose vai precisar de 2 ATPs investidos na 1ª fase. Assim, a via glicolítica resultará em um saldo final de 3 ATPs por moléculas de glicogênio degradada e de 2 ATPs por glicose degradada (PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014).

Outro ponto importante da via glicolítica é a liberação de íons de hidrogênio (H+), que são removidos pela ação da coenzima transportadora nicotinamida dinucleotídeo (NAD), um importante aceptor de H+, formando NADH + H+ que, no metabolismo anaeróbio lático, será utilizado pela enzima lactato desidrogenase (ou desidrogenase lática: LDH) ao se ligar com a molécula de ácido pirúvico para produzir o ácido lático (ver Figura 1.11).

Figura 1.11 | Formação de ácido lático pela ação da lactato desidrogenase (LDH) na combinação da molécula de ácido pirúvico com NADH



Fonte: McArdle, Katch e Katch (2016, p. 147).

Assim, a produção de ácido lático será alta em esforços intensos quando a via glicolítica for muito utilizada. Durante o exercício físico, o principal substrato energético utilizado pelo metabolismo anaeróbio será preferencialmente o glicogênio muscular, pois já está disponível na célula muscular (GASTIN, 2001). Com a progressão do tempo no exercício, mesmo que intenso, haverá aumento da oferta de oxigênio e, consequentemente, o metabolismo anaeróbio lático diminuirá sua contribuição energética. Mas, conforme o tempo no exercício físico aumenta, o percentual de contribuição do metabolismo aeróbio será cada vez maior, seguido de uma diminuição do metabolismo anaeróbio (PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014; KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Reflita

O ácido láctico e o lactato são substâncias bioquimicamente distintas. O ácido láctico vem da glicólise anaeróbica e se liga ao íon de sódio ou potássio com carga elétrica positiva, formando assim um sal ácido que recebe o nome de lactato. Grande parte do ácido láctico se dissocia em lactato e, em avaliações fisiológicas, são analisadas as concentrações sanguíneas de lactato.

Via energética aeróbia

Como podemos observar, nos segundos iniciais do exercício físico, o metabolismo anaeróbio é a primeira fonte de energia que possibilitará à célula muscular realizar o trabalho biológico. Contudo, sua capacidade é muito limitada, sendo necessária a atuação do metabolismo aeróbio para fornecer energia, na medida em que o tempo no exercício físico aumenta. Segundo Gastin (2001), na duração do exercício físico de 1 a 2 minutos, o percentual de contribuição energético será dividido pelos metabolismos aeróbio e anaeróbio. Mas, acima deste tempo de duração (ex.: mais que 2 minutos), será a contribuição energética pelos sistemas que envolvem o metabolismo aeróbio.

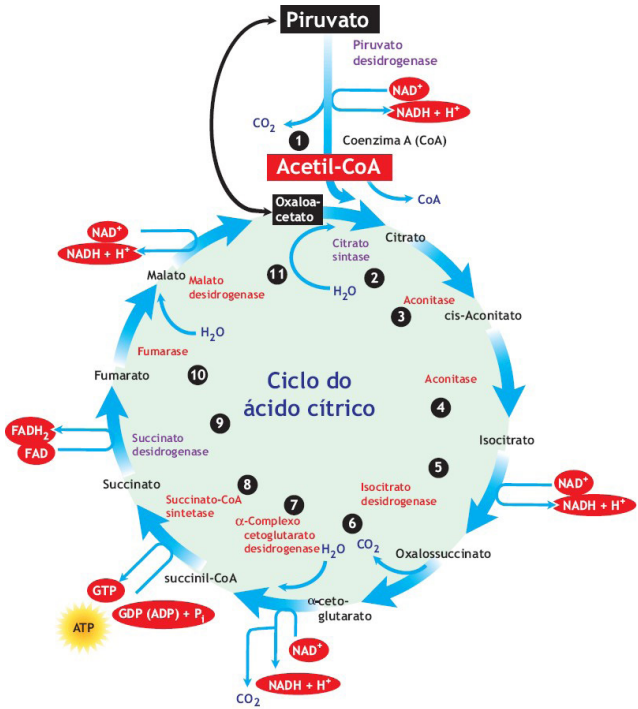
Inicialmente, o metabolismo aeróbio dará preferência para a quebra de carboidratos como fonte de energia durante o exercício físico na presença de oxigênio, possibilitando uma grande

capacidade de ressíntese de ATP por fosforilação oxidativa, mas também haverá participação da mobilização de gorduras (pela lipólise) e proteínas (desaminação) como fontes de energia do metabolismo aeróbio. A oxidação dos **carboidratos** envolverá a ação conjunta dos sistemas: glicólise aeróbia, ciclo de Krebs (ou ciclo do ácido cítrico) e cadeia de transporte de elétrons (CTE). Já a mobilização de **gorduras** (dos adipócitos ou intramuscular) pela lipólise quebrará a molécula de triacilgliceróis com mais 3 moléculas de H2O, em 3 ácidos graxos e 1 glicerol (pela enzima lipase), que vai aumentar significativamente a formação de acetil-CoA, por beta-oxidação e liberação de H+ para CTE para fosforilação oxidativa. Além disso, a participação das **proteínas** formará aminoácidos que vão auxiliar na produção de acetil-CoA e intermediários do ciclo de Krebs, possibilitando a produção de ATP por fosforilação oxidativa.

A **glicólise aeróbia** será idêntica à glicólise anaeróbia até a formação de ácido pirúvico (ver Figura 1.11). Neste caso, a quebra de uma molécula de glicose ou de glicogênio resultará em 2 moléculas de ácido pirúvico pela glicólise. Na presença de oxigênio, o ácido pirúvico (produto final da glicólise) vai se converter em acetil-CoA pela ação da enzima piruvato desidrogenase (PDH), direcionando para o ciclo de Krebs, ou vai se converter em oxaloacetato pela ação da enzima piruvato carboxilase (PC), quando houver uma quantidade elevada de acetil-CoA (que pode ser produzido pela quebra de carboidratos, lipídios ou proteínas). Além disso, a glicólise aeróbia formará NADH + H^+, que será transportado até a CTE na mitocôndria, além de liberar 2 ou 3 ATPs na célula muscular.

O **ciclo de Krebs** vai se iniciar dentro da mitocôndria, com a ligação das moléculas de acetil-CoA e de oxaloacetato pela ação da enzima citrato sintase. Durante cada ciclo de Krebs (ver Figura 1.12), haverá liberação indireta de 1 ATP (por liberação de trifosfatos de guanosina: GTP), dois dióxidos de carbono (CO_2), liberação de H^+, sendo transportados até a CTE pelas coenzimas NAD e Flavina Adenina Dinucleotídeo (FAD), formando 3 NADH + H+ e 1 $FADH_2$. Como a glicólise gera duas moléculas de ácido pirúvico, contabilizamos 2 ciclos de Krebs e multiplicamos por 2 o resultado de ATP, CO_2, NADH + H^+ e $FADH_2$.

Figura 1.12 | Exemplificação do ciclo de Krebs



Reação efetiva: duas moléculas de piruvato formam 20 átomos de hidrogênio

$$2 \text{ piruvato} + 6\ H_2O + 2\ ADP \longrightarrow 6\ CO_2 + 2\ OH + 2\ CoA + 2\ ATP$$

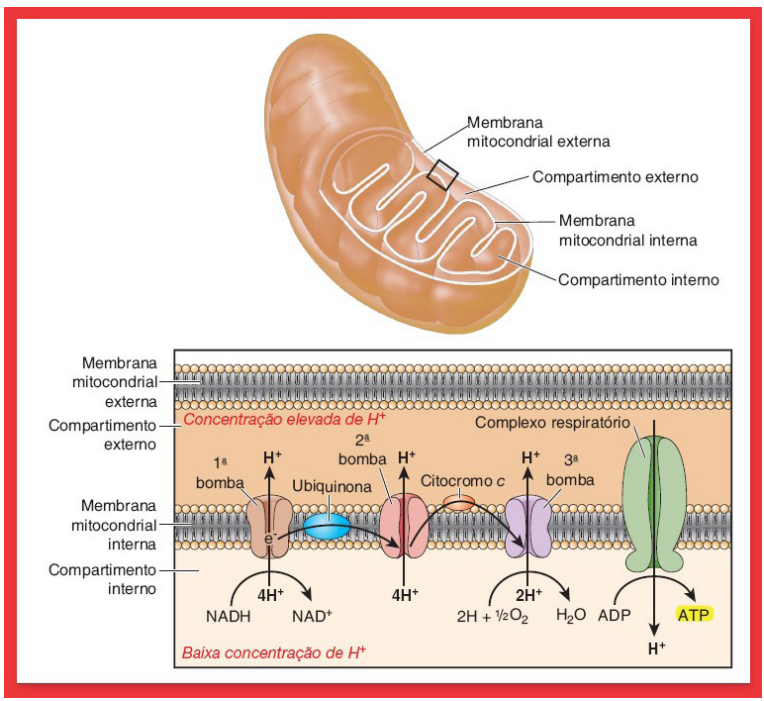
	CO_2	H
2 moléculas de piruvato	2	4
2 moléculas de acetil-CoA	4	16
Total:	6	20

Fonte: McArdle, Katch e Katch (2016, p. 149).

A **cadeia de transporte de elétrons** (CTE) ocorrerá na mitocôndria utilizando os elétrons do H^+ transportados via NADH + H^+ e $FADH_2$ vindos da glicólise, do ciclo de Krebs e da beta-oxidação (ver detalhes a seguir). A CTE é composta por 5 complexos (I a IV) e sua função será de receber os elétrons em cadeia através do íon de H^+ para produzir uma grande quantidade de ATP ao final da CTE. A função destes complexos será de bombear os íons de H^+ da matriz mitocondrial para o espaço intermembranoso. Para isso, o processo se inicia quando o NADH + H^+ libera H^+ no complexo I. Na sequência, o $FADH_2$ libera o H^+ no complexo II, criando um

gradiente de concentração com mais íons de H^+ no ambiente externo da mitocôndria, que torna possível a produção de ATP a partir do ADP e Pi (lançados do citosol da célula para a mitocôndria), através da enzima ATP sintase. Nos complexos I e II, 4 íons de H^+ e no complexo III, 2 íons de H^+ são bombeados. No complexo III, 2 íons de H^+ se unem ao oxigênio para formar H_2O, reduzindo assim a acidez provocada pelo acúmulo de H^+ na mitocôndria (ver Figura 1.13). Cada NADH fornece a capacidade de produzir 3 ATPs, enquanto $FADH_2$ gera energia para produzir 2 ATPs. Porém, deve-se considerar o gasto de ATP para permitir a entrada (transporte ativo) de NADH + H^+ que vem de fora da mitocôndria. Assim, o cálculo correto de ATP sintetizado na fosforilação oxidativa é de 2,5 para cada NADH formado e 1,5 para o $FADH_2$ (PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014; KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Figura 1.13 | Representação do funcionamento da cadeia de transporte de elétrons



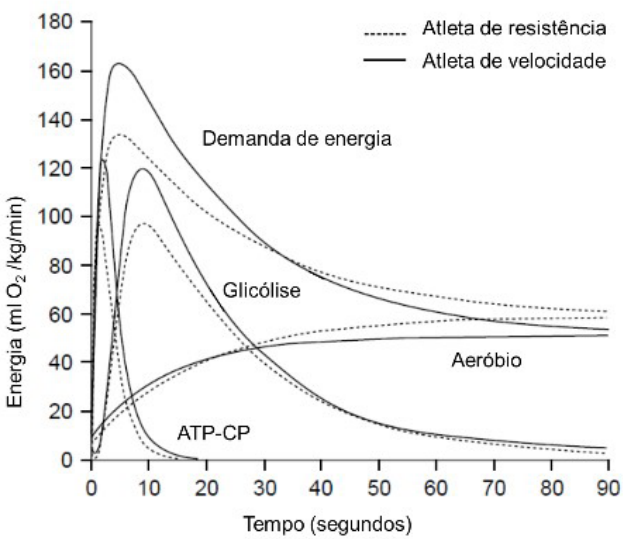
Fonte. Kraemer, Fleck e Deschenes (2016, p. 51).

A **beta-oxidação** (βO) será o processo que vai oxidar os ácidos graxos (AG) para produção de ATP, fazendo parte da lipólise. Este processo ocorre na mitocôndria, mas necessita que o ácido graxo seja transportado para o interior da mitocôndria pelo complexo carnitina acil-CoA transferase. Para o AG entrar na mitocôndria, ele será ativado pela enzima acil-CoA sintase, formando o acil-CoA. Assim, o acil-CoA será metabolizado pela βO, formando acetil-CoA (direcionado para o ciclo de Krebs), NADH + H^+ e $FADH_2$ (direcionado para a CTE).

Regulação das vias metabólicas envolvidas na produção de energia

Durante a realização do exercício físico, vários fatores vão regular o metabolismo energético. Os principais fatores de regulação biológica serão acionados mediante a intensidade e o tempo do exercício. De forma geral, a Figura 1.14 demonstra como os sistemas dos metabolismos anaeróbio e aeróbio interagem para produção de energia no exercício físico em corredor de velocidade e de resistência (GASTIN, 2001).

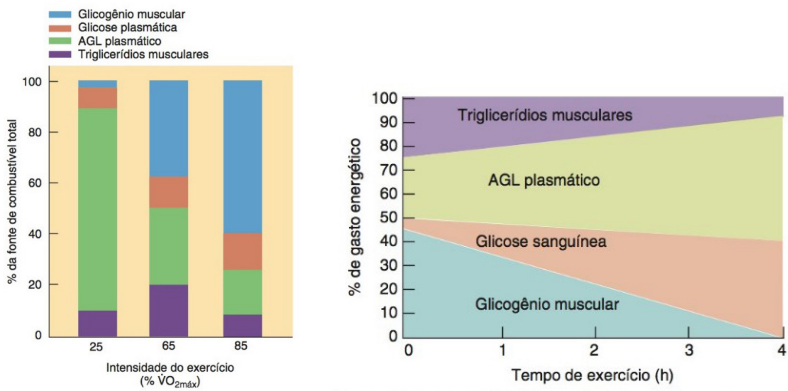
Figura 1.14 | Contribuição dos sistemas energéticos em um exercício máximo de 90 segundos em cicloergômetro em dois atletas (um de velocidade e outro de resistência)



Fonte: adaptada de Gastin (2001, p. 738).

A intensidade exercício vai influenciar no percentual de contribuição de carboidratos (por glicose ou glicogênio muscular) ou das gorduras (por ácidos graxos livre – AGL - e triglicerídeos ou triacilgliceróis musculares), para o exercício de característica aeróbia. Ao analisar um exercício de carga fixa ao longo do tempo, podemos observar que o metabolismo aeróbio poderá alternar a fonte principal para produção de ATP, que inicialmente será por carboidratos e, conforme o tempo evolui, passará a exigir maior contribuição das gorduras (ver Figura 1.15).

Figura 1.15 | Percentual de contribuição das fontes de energia em atletas altamente treinados (painel A) e em exercício submáximo a aproximadamente 65-75% do VO_2max (painel B).



Fonte: Powers, Houley (2014, p. 84-85).

Testes e avaliação da potência e capacidades anaeróbia e aeróbia

Na fisiologia do exercício há inúmeros testes para avaliação das capacidades aeróbias e anaeróbias. Porém, entre os testes de capacidade e potência anaeróbia, destacam-se os testes máximos, como o de Wingate (FRANCHINI, 2002) e de sprints repetidos (BORTOLOTTI, 2010), além dos testes salto vertical e horizontal parados para avaliação da potência muscular, etc. Para determinação da capacidade e da potência aeróbia, existem diferentes versões de testes progressivos máximos que determinam o consumo máximo de oxigênio (VO_2max) e os limiares de transição metabólica (ver detalhes nas Unidades 3 e 4). Além disso, há também os testes de carga constante chamados

de testes "retangulares", muito aplicados para avaliação do déficit de oxigênio, como indicador fisiológico da capacidade anaeróbia ao analisar o consumo de O_2 em analisador metabólico.

Assimile

A capacidade de funcionamento de metabolismo energético poderá ser alterada por treinamento físico ou por mudanças na alimentação (suplementação ou restrição dietética), seja durante o exercício ou na capacidade de recuperação das fontes de energia após séries ou sessões de treinamento. Um exemplo disso é a resposta na produção de lactato em atletas, geralmente maior em atletas de esportes de características anaeróbias (velocistas ou *sprinters*), ou quando se encontram em estado de depleção de glicogênio, podendo resultar em menor produção de lactato, mesmo sendo altamente treinados.

Modelo bioenergético de potência/velocidade crítica

Na literatura, o modelo bioenergético de potência crítica foi proposto na década de 1960 e permite determinar dois parâmetros bioenergéticos, sendo um aeróbio e outro anaeróbio. O primeiro é conhecido pela potência crítica, mas que em esforços como corrida e natação foi adaptado para velocidade crítica (VCrit). O parâmetro anaeróbio é conhecido como a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA). A teoria do modelo diz que cada indivíduo apresenta um estoque de energia limite, proveniente de fontes e dos sistemas de ressíntese anaeróbia (ATP, ATP-CP, via glicolítica), que seria a CTA. Por sua vez, durante o exercício físico, a CTA é abastecida mediante a capacidade do indivíduo em fornecer energia (ATP) pelos sistemas aeróbios que envolvem a participação do O_2. Sendo assim, podemos analisar fisiologicamente o exercício físico a partir do modelo de potência/velocidade crítica nas seguintes situações:

1. Intensidades abaixo da VCrit, em que não haverá depleção da CTA, pois o metabolismo aeróbio conseguirá fornecer energia sem grandes problemas, podendo o indivíduo permanecer no exercício sem falha ou fadiga bioenergética.
2. Intensidade equivalente à VCrit, em que, teoricamente, não haverá depleção da CTA, pois o metabolismo aeróbio conseguirá fornecer energia na sua máxima razão de

funcionamento, podendo o indivíduo permanecer no exercício (não muito confortável), mas sem falha ou fadiga bioenergética.

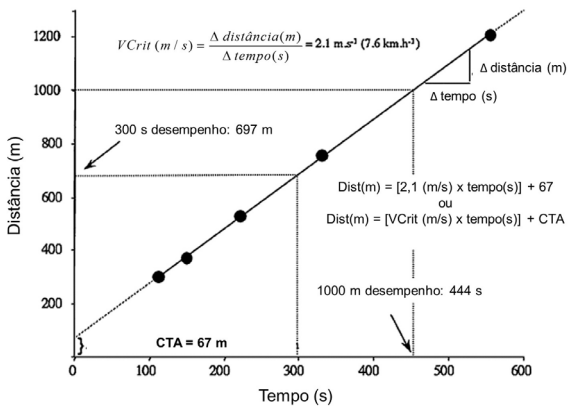
3. Intensidade acima da VCrit, em que utilizará a CTA até o seu fim, mesmo o sistema aeróbio tentando fornecer energia pelo metabolismo aeróbio, mas que pela alta demanda anaeróbia, o indivíduo entrará em falha e fadiga bioenergética (NAKAMURA et al., 2009).

Para determinar a CTA e a VCrit, deve-se aplicar 2 ou mais testes preditivos máximos que gerem o esgotamento das fontes anaeróbias somados a uma alta demanda de consumo de O_2. O tempo dos testes preditivos deve induzir à exaustão entre 1 e 15 minutos (NAKAMURA et al., 2009). Para calcular os parâmetros CTA e VCrit, há 3 modelos matemáticos, sendo um hiperbólico e dois lineares. Neste caso, será apresentado somente o modelo linear, chamado distância-tempo, assumindo testes de corrida por serem mais fáceis de aplicar (NAKAMURA et al., 2009).

$$Distância(m) = \left[\left(VCrit(m/s) \times tempo(s)\right) + CTA(m)\right]$$

Um estudo realizado com crianças determinou a VCrit e a CTA mediante 5 testes preditivos de corrida até a exaustão (BERTHOIN, 2003). Contudo, podemos visualizar e compreender, na Figura 1.16, que os procedimentos de determinação da VCrit (inclinação da reta) e da CTA [intercepção no eixo 'y' (distância) quando 'x' (tempo) é igual a zero] podem ser obtidos ao utilizar somente dois testes.

Figura 1.16 | Determinação da velocidade crítica e da capacidade de trabalho anaeróbio em uma criança



Fonte: adaptado de Berthoin et al. (2003).

A grande vantagem em utilizar o modelo bioenergético se deve à sua validade e facilidade de aplicação, podendo ser usado tanto no ambiente escolar (crianças e adolescentes), quanto no não escolar (jovens e adultos). Porém, é importante lembrar os cuidados a serem tomados para realização de testes máximos, necessários para uso deste modelo bioenergético.

Pesquise mais

O modelo de potência e velocidade crítica se mostra interessante pela facilidade e praticidade para avaliação da capacidade aeróbia e anaeróbia. Em um estudo de Jones et al. (2010), foi demonstrado que o exercício executado na intensidade de potência crítica apresentou estabilidades fisiológicas das variáveis VO_2, lactato sanguíneo, níveis de creatina fosfato, fosfato inorgânico e pH. Porém, quando o exercício foi realizado somente a 5% acima da potência crítica, nenhuma variável apresentou estabilidade fisiológica, atingindo valores críticos e presença de fadiga.

Sem medo de errar

Prezado aluno, vamos observar a situação do professor Thiago e como poderemos ajudar. Ele é um dos técnicos de atletismo da cidade e acompanha o desempenho dos atletas por meio de testes de capacidade e potência anaeróbia e aeróbia. Assim, Thiago opta sempre por realizar testes de potência anaeróbia alática (salto horizontal parado) e capacidade anaeróbia e aeróbia (utilizando o modelo bioenergético de velocidade crítica) em seus corredores, pois são de fácil aplicação durante as sessões de treino. Esses testes permitem identificar se os atletas estão progredindo no treinamento, além de fornecerem parâmetros de predição de desempenho. Desta forma, como podemos auxiliar Thiago com a aplicação e a interpretação dos resultados dos testes de potência anaeróbia alática (salto horizontal parado) e capacidade anaeróbia e aeróbia (utilizando o modelo bioenergético de velocidade crítica) em seus atletas durante o ano?

Thiago deverá priorizar a execução do teste de salto horizontal parado primeiro, por ter como característica a anaeróbia alática, sendo de rápida recuperação. Em seguida, ele deverá realizar ao

menos dois testes preditivos máximos com intervalos de tempo de 1 a 15 minutos de exaustão na pista de atletismo. É importante que esses 2 testes tenham ao menos 24h de intervalo.

Avançando na prática

Calculando o modelo de velocidade crítica

Descrição da situação-problema

Caro aluno, para compreendermos os procedimentos matemáticos do modelo de velocidade crítica, vamos assumir os resultados de um dos atletas do professor Thiago para poder determinar com exatidão os parâmetros velocidade crítica (VCrit) e capacidade de trabalho anaeróbio (CTA). Para isso, assumem-se os resultados dos testes preditivos: A) distância de 800 m e tempo de exaustão de 110 segundos, e; B) distância de 3000 m e tempo de exaustão de 550 segundos.

Resolução da situação-problema

O 1º passo é calcular a VCrit utilizando a equação a seguir:

$$VCrit\ (m/s) = \frac{\Delta\ distância(m)}{\Delta\ tempo(s)}$$

Então: $VCrit(m/s) = \frac{(distância\ testeA - distância\ testeB)}{(tempo\ testeA - tempo\ testeB)}$

Resultado: VCrit (m/s) = 5

O 2º passo é calcular a CTA utilizando a equação do modelo linear distância-tempo a seguir.

$$Distância(m) = \left[\left(VCrit(m/s) \times tempo(s)\right) + CTA(m)\right]$$

Neste caso, poderão ser utilizados os valores dos testes A ou B, pois apresentará resultados iguais.

Ex: $800m = \left[\left(5(m/s) \times 110(s)\right) + CTA(m)\right]$

Resultado: CTA (m) = 250

Faça valer a pena

1. As células do corpo humano necessitam de energia de reações químicas que ocorrem em diferentes sistemas do metabolismo celular (resultado de todas as reações da célula). Neste caso, como se chamam as reações que armazenam e liberam a energia das células do corpo?

Escolha a alternativa correta.

a) Reações agonistas (anabólicas) e antagonistas (catabólicas).
b) Reações anaeróbias (anabólicas) e aeróbias (catabólicas).
c) Reações intrínsecas (anabólicas) e extrínsecas (catabólicas).
d) Reações simples (anabólicas) e complexas (catabólicas).
e) Reações endergônicas (anabólicas) e exergônicas (catabólicas).

2. Na célula muscular, o processo de quebra das moléculas de ATP vai proporcionar a transformação de energia química em energia mecânica. Assim, quais sistemas energéticos ressintetizam o ATP nos metabolismos anaeróbio e aeróbio, respectivamente?

Escolha a alternativa totalmente correta.

a) Sistemas anaeróbios: via glicolítica e beta-oxidação – Sistemas aeróbios: ATP-CP, glicólise aeróbia, ciclo de Krebs e cadeia de transporte de elétrons.
b) Sistemas anaeróbios: glicólise aeróbia, ciclo de Krebs, cadeia de transporte de elétrons e beta-oxidação – Sistemas aeróbios: ATP-CP, ADP-ADP e glicólise anaeróbia.
c) Sistemas anaeróbios: ATP-CP, ADP-ADP e glicólise anaeróbia – Sistemas aeróbios: glicólise aeróbia, ciclo de Krebs, cadeia de transporte de elétrons e beta-oxidação.
d) Sistemas anaeróbios: fosforilação oxidativa – Sistemas aeróbios: hidrólise, via glicolítica e cadeia de transporte de elétrons.
e) Sistemas anaeróbios: ATP-CP e Ciclo de Cori – Sistemas aeróbios: hidrólise e sistema ADP-ADP.

3. O processo do metabolismo anaeróbio glicolítico na célula muscular é divido em duas fases.

Desta forma, escolha a alternativa correta que se relaciona com o metabolismo anaeróbio lático.

a) A 1ª fase é de produção de energia (2 ou 1 ATPs na quebra de ácidos graxos ou glicogênio em glicose 6-fosfato pela ação da enzima ATPase). Na 2ª fase, o fluxo glicolítico produz 4 ATPs. Isso acontece mediante a ação de outras enzimas aeróbias (ex.: citrato sintase), que geram 2 moléculas de piruvato, catalisadas em oxaloacetato pela desidrogenase lática.
b) A 1ª fase é de investimento de energia (2 ou 1 ATPs na quebra de glicose ou glicogênio em glicose 6-fosfato pela ação da enzima hexoquinase e fosforilase, respectivamente). Na 2ª fase, o fluxo glicolítico produz 4 ATPs. Isso acontece pela ação de outras enzimas anaeróbias (ex.: fosforilase e fosfofrutoquinase), que geram 2 moléculas de piruvato, catalisadas em lactato pela desidrogenase lática (LDH).
c) A 1ª fase é de investimento de energia, incialmente por 2 moléculas de H_2O na quebra de glicose ou glicogênio em glicose 6-fosfato pela ação da enzima NAD. Na 2ª fase, o fluxo glicolítico produz 38 ATPs. Isso acontece pela ação de outras enzimas anaeróbias (ex.: fosforilase e fosfofrutoquinase), que geram 2 moléculas de piruvato, catalisadas em AcetilCoA pela desidrogenase lática (LDH).
d) A 1ª fase é de produção de energia (2 ou 1 ATPs na quebra de glicose ou glicogênio em glicose 6-fosfato pela ação da enzima hexoquinase e fosforilase, respectivamente). Na 2ª fase, o fluxo glicolítico produz 4 ATPs. Isso acontece pela ação de outras enzimas anaeróbias (ex.: fosforilase e fosfofrutoquinase), que geram 2 moléculas de piruvato, catalisadas em lactato pela desidrogenase lática (LDH).
e) Nenhuma das anteriores.

Referências

BERTHOIN, S. et al. Critical velocity and anaerobic distance capacity in prepubertal children. **Canadian Journal of Applied Physiology**. 28(4), 561-575. 2003.

BORTOLOTTI, H. et al. Avaliação da capacidade de realizar sprints repetidos no futebol. **Motriz**, v. 16, n. 4, p. 1006-1012. 2010.

CAMILA LAUAND RIZZO. **Funções das organelas em células eucariontes**. Disponível em: <https://youtu.be/Gdr-F9homAU>. Acesso em: 23 abr. 2018.

CRUZAT, Vinicius Fernandes et al. Aspectos atuais sobre estresse oxidativo, exercícios físicos e suplementação. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 13, n. 5, p. 336-342, 2007.

CURI. T. C. P. **Fisiologia do exercício**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

CURY-BOAVENTURA, M. F. Nutrição na atividade física. In. CURI. T. C. P. **Fisiologia do exercício**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

De MELLO, M. L. S.; CASTILHO. R. F. Morte celular. In: CARVALHO. H. F.; RECCO-PIMENTAL, S. M. A célula. 2ª ed. Barueri, SP: Manole, 2007.

ESCOLACVI. **Patologia**: Aula 14 – Mecanismos das lesões – Acúmulo de radicais livres de oxigênio (parte 1). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=l-CY7GXTUCA&feature=youtu.be>. Acesso em: 24 abr. 2018.

FARINATTI, P. T. V. Apresentação de uma versão em português do compêndio de atividades físicas: uma contribuição aos pesquisadores e profissionais em fisiologia do exercício. **Rev. Bras. Fisiol. Exerc**., Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 177-208, 2003.

FRANCHINI, E. Teste anaeróbio de Wingate: conceitos e aplicação. R**evista Mackenzie de educação física e esporte**, v. 1, n. 1, p. 11-27, 2002.

FOSCHINI, D.; PRESTES, J.; CHARRO, M. A. Relação entre exercício físico, dano muscular e dor muscular de início tardio. **Revista brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 9, n. 1, p. 101-106, 2007.

GASTIN, P. B. Energy System Interaction and Relative Contribution During Maximal Exercise. **Sports Medicine**, v. 31, n. 10, p. 725-741, 2001.

HARRIS, J. A.; BENEDICT, F. G. A. **Biometric study of basal metabolism in man**. Publ. n. 279. Washington, DC: Carnegie Institute, 1919.

IRRCHER, I., ADHIHETTY, P.J., JOSEPH, AM. et al. Regulation of Mitochondrial Biogenesis in Muscle by Endurance Exercise. **Sports Medicine**, v. 33, n. 783, p. 783–793, 2003.

JONES, A. M. et al. Critical power: implications for determination of VO2max and exercise tolerance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, n. 10, p. 1876-90, 2010.

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; DESCHENES. M. R. **Fisiologia do exercício**: teoria e

prática. 2. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício**: nutrição, energia e desempenho humano. 8. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

MELLO, M. L. S. de.; CASTILHO. R. F. Morte celular. In: CARVALHO. H. F.; RECCO-PIMENTAL, S. M. **A célula**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2007.

NEUBAUER, O.; REICHHOLD, S.; NERSESYAN, A.; KONIG, D.; WAGNER, K. H. Exercise-induced DNA damage: is there a relationship with inflammatory responses? **Exercise Immunology Review**, v. 14, p. 51-72, 2008.

PEREIRA, B. Biogênese mitocondrial e exercício físico: hipótese do acoplamento elétrico-transcripcional. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 687-703, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-55092015000400687>. Acesso em: 13 mar. 2018.

PITHON-CURI, T. C. Fisiologia Do Exercício. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**. 6. ed., Barueri: Manole, 2009.

PROESP-BR. Versão 2016. PROJETO ESPORTE BRASIL. Setor de Pedagogia do Esporte do CENESP – UFRGS. Disponível em: <http://www2.esporte.gov.br/arquivos/snear/talentoEsportivo/proespBr.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2018.

TRICOLI, Valmor. Mecanismos envolvidos na etiologia da dor muscular tardia. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 9, n. 2, p. 39-44, 2008. (Artigo e/ou matéria de jornal)

TIDBALL, J. G.; VILLALTA, S. A. Regulatory interactions between muscle and the immune system during muscle regeneration. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 298, n. 5, p. R1173-87, 2010.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Princípios de Anatomia e Fisiologia**. 2. ed. Guanabara Koogan. 2016.

Sistema neuromuscular e exercício físico

Convite ao estudo

Prezado aluno, nesta seção iremos observar vários aspectos fisiológicos relacionados ao sistema neuromuscular, importantes para vários tipos de exercícios físicos utilizados em diferentes contextos. Neste sentido, iremos acompanhar Jonatas, que é um jovem profissional de Educação Física, com formação e experiência em treinamento de força/resistido. Jonatas é um profissional curioso e tem muito interesse em compreender todos os processos biológicos e fisiológicos que explicam o ganho de força e do aumento da massa muscular em indivíduos de diferentes populações. Sua curiosidade se deve principalmente por observar seu avô (Márcio), que sempre se manteve fisicamente ativo realizando programas de treinamento de força/resistido. Apesar de Márcio, avô de Jonatas, ter 68 anos de idade, sua força e tônus muscular impressionam qualquer pessoa. Desta forma, vamos ajudar Jonatas sobre quais aspectos fisiológicos são capazes de explicar quais os mecanismos que estão relacionados aos ganhos de força e massa muscular em diferentes indivíduos? Do sedentário ao atleta? Do jovem ao idoso?

Para ajudarmos a Jonatas em sua busca por conhecimento, a primeira unidade desta seção será voltada aos aspectos relacionados ao controle neural do movimento humano. Em seguida, a segunda unidade desta seção será relacionada ao músculo esquelético, sua estrutura e função. E por fim, a terceira seção será voltada aos conhecimentos mais aplicados com relação a organização e treinamento de força/resistido em diferentes populações.

Seção 2.1

Controle neural do movimento humano

Diálogo aberto

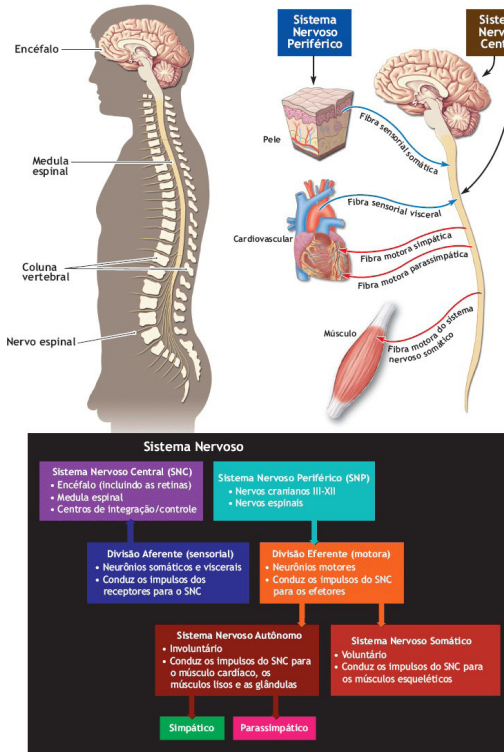
Jonatas é um profissional de Educação Física, com formação e experiência em treinamento de força/resistido, além de ser profissional curioso e ter muito interesse em compreender todos os processos biológicos e fisiológicos que explicam o ganho de força e do aumento da massa muscular em indivíduos de diferentes populações. Sua curiosidade se deve principalmente por observar seu avô (Márcio), pois sempre se manteve fisicamente ativo realizando treinamento de força/resistido. Apesar de Márcio, avô de Jonatas, ter 68 anos de idade, sua força e tônus muscular impressionam qualquer pessoa. Desta forma, vamos ajudar Jonatas sobre quais aspectos fisiológicos são capazes de explicar quais os mecanismos que estão relacionados aos ganhos de força e massa muscular em diferentes indivíduos? Do sedentário ao atleta? Do jovem ao idoso?

Não pode faltar

A realização de qualquer movimento corporal irá exigir uma ação coordenada de comunicação de grande parte da estrutura neural do corpo humano, chamado de sistema nervoso. A composição geral do sistema nervoso é basicamente formada por dois tipos de células, que são: os neurônios (que conduzem os estímulos elétricos) e as células da glia, chamadas de neuróglia (que dão suporte e nutrição aos neurônios). Os neurônios apresentam 3 componentes básicos em sua estrutura, que são: dendritos, corpo celular e axônios (TORTORA; DERRICKSON, 2016). A comunicação entre neurônios e outras células/tecidos se dá pelas sinapses mediante a liberação de neurotransmissores. O sistema nervoso também irá ser responsável por gerar estímulos em algumas regiões do corpo (ex: cérebro, órgãos, tecidos e glândulas) para causar respostas fisiológicas voluntárias e involuntárias na tentativa de buscar a homeostasia através da interação dos **Sistemas Nervoso Central (SNC) e Periférico (SNP)**. O SNC compreende o encéfalo e a

medula espinhal. Já o SNP é a ponte de comunicação, formado por nervos que transmitem e recebem estímulos/informações do SNC até os diferentes tecidos e células do corpo. A Figura 2.1 demonstra as divisões do sistema nervoso de forma geral.

Figura 2.1 | Divisões do sistema nervoso



Fonte: McArdle, Katch e Katch (2016, p. 388).

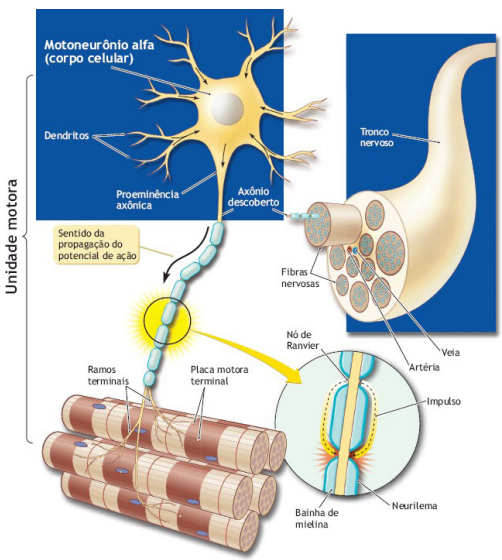
Podemos observar na Figura 2.1 que a organização do sistema nervoso apresenta uma via efetora que é responsável por conduzir os impulsos nervosos que foram gerados no SNC por ramos neurais dos sistemas nervosos autônomo (SNA), ou neurovegetativo e somático. Além disso, o SNC poderá receber informações de impulsos gerados nos tecidos periféricos por fibras sensoriais aferentes, importantes nos mecanismos de retroalimentação (*feedback*), para que mudanças imediatas ou mais prolongadas possam ser executadas para atender à necessidade de homeostasia,

principalmente durante a realização de atividades físicas e de exercícios físicos (MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016).

Divisão neural periférica autonômica e somática

A divisão neural autonômica, que responde a estímulos involuntários, é subdivida em sistema nervoso autônomo simpático e parassimpático. Um campo muito estudado e um termo muito utilizado na fisiologia do exercício, por exemplo, é estudar os efeitos que a prática de atividade física habitual ou de programas de condicionamento físico sobre a modulação autonômica, através da ativação dos sistemas simpático e parassimpático sobre o coração, tanto para saúde quanto ao desempenho esportivo. Porém, esse tema será melhor aprofundado na Unidade 3, Seção 1 do livro. Com relação ao controle neural dos movimentos, que será mediante a estímulos voluntários, a divisão somática do SNP será a responsável para levar os estímulos do SNC até o tecido muscular. O principal neurônio que está relacionado à contração muscular, constituindo a unidade motora, pela divisão somática é o **Motoneurônio Alfa**, pois apresenta maior capacidade de propagação de estímulos elétricos, como apresentado na Figura 2.2 (MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016).

Figura 2.2 | Estrutura na unidade motora formada por um motoneurônio alfa



Fonte: McArdle, Katche Katch (2016, p. 397).

Neste exemplo, o Motoneurônio Alfa é formado por uma bainha de mielina ao longo do axônio, o que garante maior propagação dos impulsos elétricos (potencial e ação) por condução "saltatória" através de regiões chamadas de nódulos de Ranvier até as células musculares (placa motora). Por sua vez, a bainha de mielina é formada por células de Schwann.

Assimile

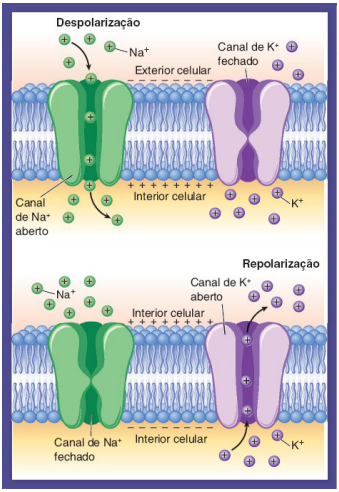
É importante sempre lembrar que o grau de mielinização dos neurônios irá permitir uma resposta neuromuscular mais rápida. Assim, em algumas fases do desenvolvimento humano as respostas neuromusculares após o nascimento é acompanhado por formação de bainhas de mielina em algumas células nervosas. De forma contrária, no envelhecimento, é observado uma perda de mielinização de neurônios, o que provoca uma resposta neuromuscular mais lenta.

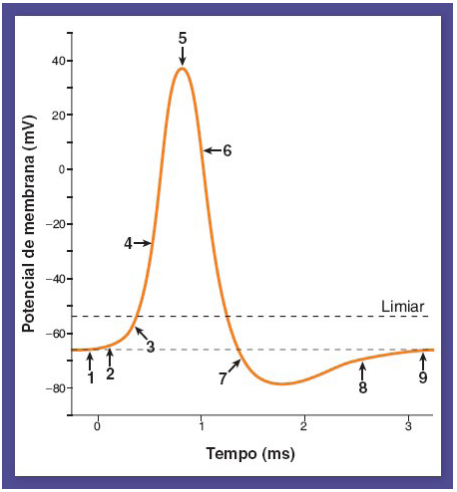
Aspectos neurais de controle do movimento humano

Para que ocorra contrações musculares para realização de um padrão motor, os neurônios terão de direcionar a condução de impulsos elétricos até a placa motora. Os impulsos elétricos serão propagados por trocas ou inversão de íons de sódio (Na), que estão concentrados no meio extracelular em maior quantidade e potássio (K), que estão concentrados no interior das células nervosas (veja o painel A da Figura 2.3). Na situação de repouso (potencial de repouso da membrana) o interior da célula apresenta uma carga negativa. Mas o impulso nervoso, quando gerado, irá provocar a despolarização da membrana celular (mudanças das cargas elétricas da célula), gerando uma resposta de "tudo ou nada". Por sua vez, esse efeito é em resposta aos íons de "Na" que irão penetrar na célula pela abertura dos canais de sódio, juntamente com os íons de "K" que irão sair do meio intracelular pelos canais de potássio. Mas para isso ocorrer, o estímulo elétrico deverá ser superior ao limiar de despolarização, para que ocorra os disparos elétricos até a junção neuromuscular (veja o painel B da Figura 2.3).

Figura 2.3 | Aspectos neurais sobre a o processo de trocas iônicas e de potencial de ação elétrico na condução do impulso nervoso ao longo do axônio.

Painel A	Painel B





Fonte: Kraemer, Fleck e Dechenes (2016, p. 133).
Nota explicativa do painel B: segundo Kraemer, Fleck e Dechenes, (2016, p. 133). *"(1) Potencial de repouso da membrana; (2) estímulo para despolarizar; (3) se o limiar é alcançado, os canais de Na+ se abrem e Na+ entra na célula; (4) a entrada de Na+ na célula causa sua despolarização; (5) os canais de Na+ se fecham e os canais de K+ se abrem; (6) K+ se move do interior para o exterior da célula; (7) os canais de K+ permanecem abertos, causando hiperpolarização; (8) os canais de K+ se fecham, então menos K+ deixa a célula; (9) a célula retorna ao potencial de membrana de repouso."*

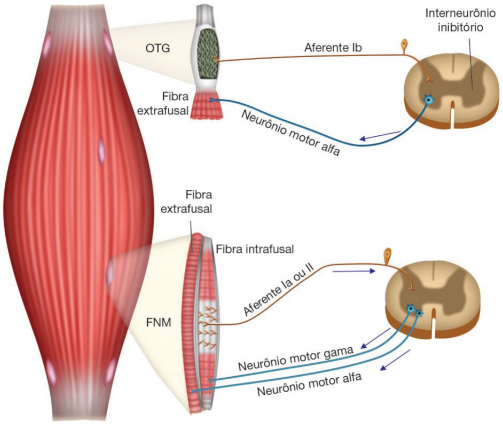
Assim, o impulso nervoso irá percorrer as estruturas dos neurônios motores, para direcionar a condução de impulsos elétricos até a placa motora, causando a liberação de acetilcolina (neurotransmissor) na junção neuromuscular. Após a liberação de acetilcolina na porção final do axônio, esse neurotransmissor irá se ligar com os receptores pós-sinápticos (receptores de acetilcolina) da célula muscular, permitindo que impulsos elétricos se dissipem ao longo das fibras musculares, para que ocorram os eventos fisiológicos para geração de tensão muscular. Os eventos fisiológicos que ocorrem na célula muscular serão mais detalhados na próxima seção.

Integração sensorial e motora durante exercício físico

Durante o exercício físico, o grau de tensão muscular e de outras respostas fisiológicas, poderão ser influenciados por mensagens emitidas de receptores periféricos que mapeiam

os ambientes internos e externos. Essas informações emitidas por receptores periféricos são enviadas até o SNC através das fibras sensoriais aferentes (POWERS; HOWLEY, 2013). Existem inúmeros receptores periféricos, como quimiorreceptores (mapeiam alterações no sangue de oxigênio, dióxido de carbono, etc.), nociceptores (mapeiam a percepção de dor ao dano celular), fotorreceptores (receptores sensíveis à luz, presentes principalmente nos olhos), barorreceptores (mapeiam alterações pressóricas, presentes no sistema cardivascular). Mas neste caso, será apresentado os receptores cinestésicos, ou proprioceptores. Os proprioceptores que apresentam um papel importante no controle do padrão motor são os **fusos musculares, órgão tendinoso de golgi** e os **receptores articulares**. Os fusos musculares mapeiam no músculo o grau de estiramento (alongamento), e se localizam de forma paralela às fibras musculares. Assim, os fusos musculares poderão identificar essa mudança de comprimento por fibras sensoriais aferentes e enviar essa informação à medula espinhal. Esse estímulo irá acionar o Motoneurônio alfa, gerando um estímulo de contração no músculo (positiva) que está sendo estirado, reduzindo assim o alongamento da fibra muscular. Na prática, é muito comum observar a resposta do fuso muscular em: a) ao realizar um alongamento de forma passiva até a amplitude de movimento ser limitado por contrações musculares agonistas; e b) no reflexo miotático (resposta reflexa por mudanças rápidas de estiramento). O órgão tendinoso de golgi (OTG), localizado nos tendões, mapeiam a tensão quando há contração excessiva, atuando como mecanismo de segurança ao exercício físico. Ao ser acionado quando há uma tensão grande a ser produzida por contração muscular, o OTG envia a informação para a medula espinhal e ao SNC que aciona os neurônios inibitórios, causando inibição nos disparos dos Motoneurônios-α, resultando em relaxamento muscular. Esse reflexo, por sua vez, é reduzido conforme o indivíduo progride no treinamento de força, aumentando assim sua resposta neuromuscular ao treinamento, o que induz em maior capacidade de força muscular (POWERS, HOWLEY, 2013; MCARDLE, KATCH, KATCH, 2016). A Figura 2.4 demonstra como funcionam os proprioceptores fuso muscular e o órgão tendinoso de golgi.

Figura 2.4 | Representação de funcionamento dos proprioceptores: fuso muscular e o órgão tendinoso de golgi



Fonte: Pithon-curl (2013, p. 66).

Reflita

Reflitam sobre os aspectos de controle do movimento e as influências dos reflexos neuromusculares, exemplificado pelo reflexo miotático. Disponível em: <https://youtu.be/8HVoezqwAJc>. Acesso em: 25 abr. 2018.

Adaptação neural ao treinamento físico

Pesquise mais

O treinamento de força no tratamento de Parkinson tem promovido importantes benefícios para pacientes que sofrem com essa doença. Os benefícios encontrados são surpreendentes, pois têm oferecido uma melhora de ordem clínica e funcional. Veja uma matéria sobre este tema com relação aos estudos produzidos no Brasil por profissionais da área da Educação Física, que ganharam prêmios internacionais ao utilizar o treinamento de força com instabilidade acessando o link <https://bit.ly/2K2lJ5F>. Acesso em: 25 abr. 2018.

Os ganhos de força muscular nas primeiras semanas de um programa de treinamento físico, principalmente se for treinamento de força/resistido, se deve às adaptações neurais de forma inicial,

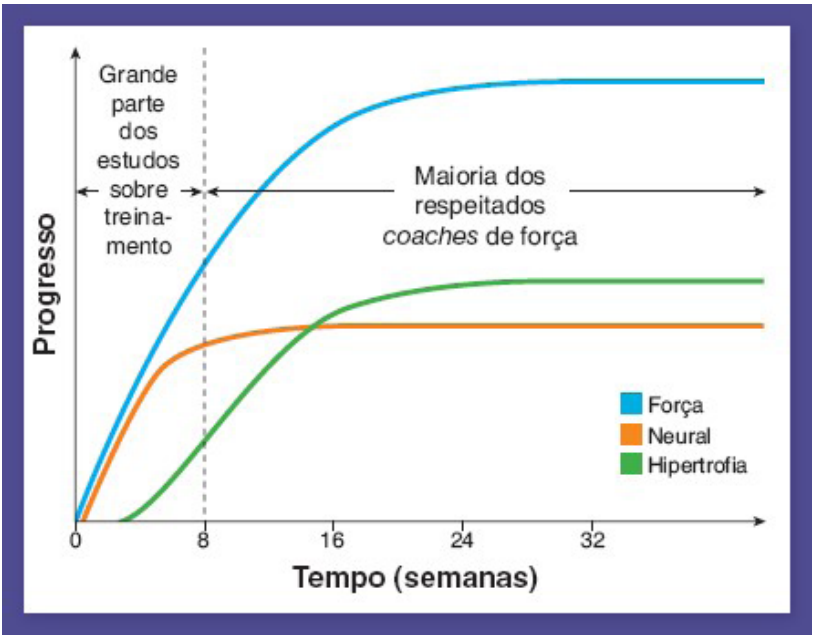
e mais adiante a hipertrofia (ver Figura 2.5). Esse ganho rápido de força promovido pelas adaptações neurais nas primeiras sessões se deve a múltiplos fatores fisiológicos de ordem neural. Neste caso, o treinamento de força/resistido irá promover um maior número de recrutamento de unidades motoras, maior frequência de disparos elétricos, redução da coativação dos proprioceptores cinestésicos durante o exercício, maior coordenação de unidades motoras antagonistas ao movimento, maior excitabilidade dos neurônios de alto limiar, produzindo assim maior desempenho de força e potência muscular (SALE, 1988). Tais adaptações neurais são possíveis de serem observadas através da aplicação de técnicas laboratoriais, como avaliação do drive neural (sinal elétrico) por eletromiografia de superfície (EMG) associada a algum protocolo de exercício físico. Para acessar o desempenho máximo muscular, vários testes e protocolos podem ser utilizados (KRAEMER, FLECK, DECHENES; 2016). Mas os testes de força muscular mais usuais são em equipamentos isocinéticos que controlam a velocidade angular de movimento e a medida de força (em Newtons) de pico de torque [Newton-metro (N.m)], tanto em contrações concêntricas e excêntricas quanto em contrações isométricas.

Pesquise mais

O sistema neuromuscular é acionado em diferentes situações de exercícios físicos podendo resultar diferentes tipos de contrações musculares. Assim, assista ao vídeo disponível no link <https://bit.ly/2KIFOz5> sobre os vários aspectos relacionados aos diferentes tipos de contrações musculares. Acesso em: 25 abr. 2018.

Outra forma de avaliação do desempenho muscular são por métodos indiretos, como o teste de uma repetição máxima (1-RM) e/ou também por repetições máximas (BROWN; WEIR, 2001). Neste caso, os métodos indiretos são realizados em exercícios nos próprios equipamentos utilizados no treinamento de força/resistido ou em exercícios com pesos livres, podendo ser aplicados tanto em crianças e adolescentes (FAIGENBAUM et al., 2012) quanto em adultos (CRONIN, HENDERSON; 2004) e idosos (PLOUTZ-SNYDER, GIAMS; 2001).

Figura 2.5 | Ganhos de força muscular pela influência de adaptações neurais, seguido pela hipertrofia do músculo esquelético mais tarde, conforme o treinamento vai avançando durantes as semanas.



Fonte: Kraemer, Fleck e Dechenes (2016, p. 141).

Exemplificando

Um dos testes mais utilizados para avaliação de ganhos de força é o teste de 1-RM. Mas alguns aspectos são importantes para serem seguidos, como:

- Aprendizagem do movimento por parte do avaliado.
- Limite de até 5 tentativas para cada exercício.
- Intervalo de recuperação mínimo de 3 minutos entre as tentativas para encontrar a carga máxima de 1-RM.
- Aquecimento prévio com cargas girando em torno de 50% a 70% da carga da 1ª tentativa, de 5 e 3 repetições, respectivamente.

- Execução de amplitude completa do movimento, com contrações musculares concêntricas e excêntricas, considerando que o avaliado seja capaz de vencer a carga sem auxílio externo.
- Acompanhamento e orientação de ao menos 2 avaliadores para validar a repetição e garantir a segurança do avaliado, caso haja alguma falha durante a execução do teste.
- Considerar a existência do efeito de familiarização ao teste em condições similares. Assim, o ideal é realizar ao menos 2 sessões de teste de 1-RM com o mínimo de intervalos de 48h entre as sessões.
- Avaliadores experientes para acompanhar o padrão motor executado por parte do avaliado e para ajustar as cargas nas tentativas que irão seguir durante o teste.

Observar essas informações acessando o artigo publicado na revista Motriz através do link <https://bit.ly/2rr3XCk>. Acesso em: 25 abril 2018.

Como podemos ajudar Jonatas, que é um profissional de Educação Física, sobre quais aspectos fisiológicos são capazes de explicar os mecanismos que estão relacionados aos ganhos de força e massa muscular em diferentes indivíduos? Do sedentário ao atleta? Do jovem ao idoso?

Deve-se considerar que as adaptações causadas pelo treinamento que explicam os ganhos de força muscular estão inicialmente relacionadas aos aspectos neurais, como: o treinamento de força/resistido irá promover um maior número de recrutamento de unidades motoras, maior frequência de disparos elétricos, redução da coativação dos proprioceptores cinestésicos durante o exercício, maior coordenação de unidades motoras antagonistas ao movimento, maior excitabilidade dos neurônios de alto limiar, produzindo assim maior desempenho de força e potência muscular (SALE, 1988). Posteriormente, aspectos relacionados às mudanças morfológicas e ganhos hipertróficos da célula muscular explicam em parte os ganhos de força muscular, como ilustrado na Figura 2.5 da primeira seção desta unidade.

Avançando na prática

Avaliação da força muscular por teste de 1-RM

Descrição da situação-problema

A avaliação da força muscular é muito importante para diferentes contextos, pois possibilita utilizar essa avaliação para prescrição de exercícios físicos no treinamento de força/resistido em diferentes populações. Neste caso, o teste de 1-RM é muito utilizado devido a sua aplicabilidade e por ser um bom indicador de força muscular para diferentes exercícios. Desta forma, quais são os aspectos que devem ser considerados para execução de um teste de 1-RM?

Resolução da situação-problema

Neste caso, alguns aspectos são importantes para serem seguidos, por exemplo:

- Aprendizagem do movimento por parte do avaliado.
- Limite de até 5 tentativas para cada exercício.
- Intervalo de recuperação mínimo de 3 minutos entre as tentativas para encontrar a carga máxima de 1-RM.
- Aquecimento prévio com cargas girando em torno de 50% a 70% da carga da 1ª tentativa, de 5 e 3 repetições, respectivamente.
- Execução de amplitude completa do movimento, com contrações musculares concêntricas e excêntricas, considerando que o avaliado seja capaz de vencer a carga sem auxílio externo.
- Acompanhamento e orientação de ao menos 2 avaliadores para validar a repetição e garantir a segurança do avaliado, caso haja alguma falha durante a execução do teste.
- Considerar a existência do efeito de familiarização ao teste em condições similares. Assim, o ideal é realizar ao menos 2 sessões de teste de 1-RM com o mínimo de intervalos de 48h entre as sessões.

Observar essas informações no artigo publicado na revista Motriz acessando o link <https://bit.ly/2rr3XCk>. Acesso em: 25 abr. 2018.

- Avaliadores experientes para acompanhar o padrão motor executado por parte do avaliado e para ajustar as cargas nas tentativas que irão seguir durante o teste.

Faça valer a pena

1. O sistema nervoso também irá ser responsável por gerar estímulos em algumas regiões do corpo para causar respostas fisiológicas voluntárias e involuntárias na tentativa de buscar a homeostasia através da interação dos sistemas nervoso central (SNC) e periférico (SNP). Assim, qual divisão do SNP será acionada mediante estímulos voluntários?

Escolha a alternativa correta.

a) Sistema nervoso central.
b) Fibras sensoriais aferentes.
c) Divisão neural somática.
d) Divisão neural autonômica.
e) Neuróglia.

2. Para que ocorra contrações musculares para a realização de um padrão motor, os neurônios terão de direcionar a condução de impulsos elétricos até a placa motora. Para isso, quais são os eventos fisiológicos que explicam como ocorre a propagação de estímulo elétrico pelo axônio no Motoneurônio Alfa mielinizado?

Escolha a alternativa correta.

a) Despolarização da membrana neural e inversão de íons de Sódio (Na) e potássio (K) e condução em saltos até a junção neuromuscular.
b) Despolarização da membrana neural e inversão de íons de Cálcio (Ca) e potássio (K) e condução em saltos até os filamentos contráteis da célula muscular.
c) Despolarização da membrana neural e inversão de íons de Cálcio (Ca) e potássio (K) e condução em saltos até os filamentos contráteis próximos aos dendritos.
d) Despolarização da membrana neural por inversão de íons de hidrogênio (H) e potássio (K) e condução em saltos até o retículo sarcoplasmático.

e) Despolarização da membrana neural por inversão de íons de Sódio (Na) e Cálcio (Ca) e condução em saltos até os filamentos contráteis da célula muscular.

3. Durante o exercício físico, o grau de tensão muscular e de outras respostas fisiológicas poderão ser influenciados por mensagens emitidas de receptores periféricos que mapeiam os ambientes internos e externos. Os proprioceptores apresentam um papel importante no controle do padrão motor, principalmente pelo acionamento dos fusos musculares e do órgão tendinoso de golgi. Desta forma, qual alternativa contempla a informação correta sobre a resposta gerada com relação ao funcionamento dos fusos musculares e do órgão tendinoso de golgi?

Escolha a alternativa correta.

a) Os fusos musculares mapeiam a tensão e enviam a informação para a medula espinhal que aciona os neurônios inibitórios, causando inibição nos disparos dos motoneurônios-α, resultando em relaxamento muscular. O órgão tendinoso de golgi (OTG) mapeia no músculo o grau de estiramento (alongamento) e pode identificar essa mudança de comprimento que irá acionar o motoneurônio-α, gerando um estímulo de contração no músculo que está sendo estirado, reduzindo assim o alongamento da fibra muscular.
b) Os fusos musculares mapeiam no músculo o grau de estiramento (alongamento) e poderão identificar essa mudança de comprimento que irá acionar o motoneurônio-α, gerando um estímulo de contração no músculo que está sendo estirado, reduzindo assim o alongamento da fibra muscular. O órgão tendinoso de golgi (OTG) mapeia a tensão e envia a informação para a medula espinhal que aciona os neurônios inibitórios, causando inibição nos disparos dos motoneurônios-α, resultando em relaxamento muscular.
c) Tanto os fusos musculares quanto o órgão tendinoso de golgi mapeiam no músculo o grau de estiramento (alongamento), e poderão acionar o motoneurônio-α, gerando um estímulo de contração no músculo que está sendo estirado, reduzindo assim o alongamento da fibra muscular.
d) Os proprioceptores cinestésicos, fusos musculares e órgão tendinoso de golgi são mais acionados em indivíduos treinados, pois permitem um maior estímulo neural, gerando assim maior capacidade de produção de força muscular.
e) As alternativas C e D estão corretas.

Seção 2.2

Músculo esquelético: estrutura e função

Diálogo aberto

Jônatas tem organizado alguns testes para o seu avô Márcio para saber informações sobre capacidade e resistência muscular no treinamento resistido. O teste que Jônatas tem programado envolve em realizar maior número de repetições no exercício de supino horizontal e agachamento a 70% da carga máxima em 4 séries com 2 minutos de intervalos para avaliação da fadiga muscular. Como podemos ajudar Jônatas no resultado desse teste e quais são as considerações fisiológicas e musculares para o treinamento de seu avô, mesmo com a idade de 68 anos de idade?

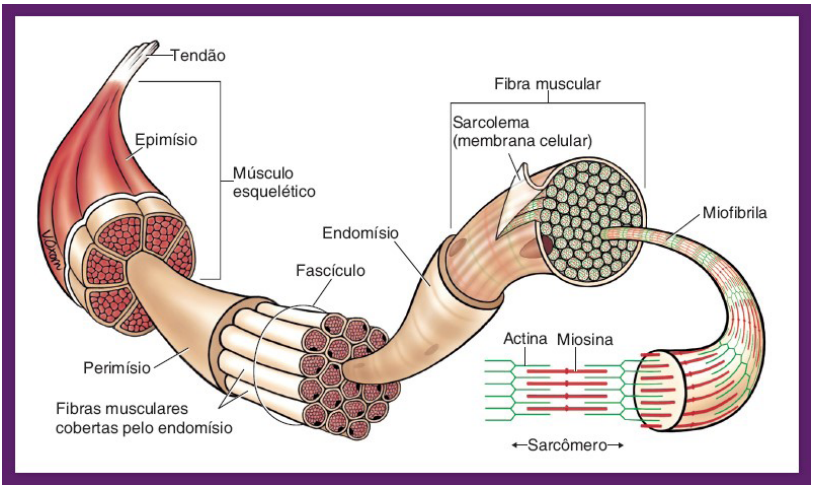
Não pode faltar

Estrutura do sistema muscular e sua relação com exercício físico

O músculo estriado esquelético é o responsável por gerar movimentos corporais com diferentes exigências de complexidade motora, seja os mais simples como caminhar, aos movimentos mais complexos como uma série de exercícios executados por um dançarino de ballet. Para isso, o músculo esquelético, que é formado por várias miofibrilas, apresenta uma estrutura com diferentes tecidos conjuntivos (endomísio, perimísio e epimísio) que dão sustentação, proteção e tem um papel de unir as fibras musculares, formando um grupo muscular, além do tendão (formado por tecido conjuntivo fibroso e denso) que faz a inserção óssea nas extremidades. O **endomísio** é o tecido conjuntivo mais interno, que envolve um conjunto de miofibrilas, que por sua vez formam as fibras musculares. O **perimísio** recobre o feixe ou fascículo muscular, que é formado por um conjunto de fibras musculares. O **Epimísio** envolve um conjunto de feixes ou fascículos musculares, formando assim um grupamento muscular completo. Além disso, o músculo esquelético apresenta ou camada de tecido conjuntivo, chamada de fáscia, que liga os tecidos da pele com o muscular e recobre o músculo (PITHON-CURI, 2013; KRAEMER; FLECK; DECHENES,

2016). Na Figura 2.6 é demonstrada a organização e estrutura do músculo esquelético.

Figura 2.6 | Organização e estrutura do músculo esquelético formado basicamente pelos tecidos conjuntivos endomísio, perimísio e epimísio



Fonte: Kraemer, Fleck e Dechenes (2016, p. 81).

Além de dar estrutura e sustentação ao músculo esquelético, os tecidos conjuntivos têm o papel de evitar que os estímulos elétricos possam se propagar para fibras musculares adjacentes, que inicialmente não foram recrutadas pelo sistema nervoso. E ainda, os tecidos conjuntivos por apresentarem uma resposta elástica (componente elástico) juntamente com as fibras musculares, desempenham um importante papel na produção de força e potência muscular. Esse componente elástico pode ser inibido, por exemplo, se o indivíduo realizar exercícios de alongamento estático antes de um exercício que exige força e potência muscular, reduzindo assim o desempenho muscular (KRAEMER, FLECK, DESCHENES, 2016). Uma forma de melhorar o componente elástico do músculo é com exercícios pliométricos, contribuindo assim com o ciclo estiramento-encurtamento, comuns de serem observados nos saltos verticais contramovimento.

A fibra muscular também apresenta uma microestrutura de organização que forma o sarcômero (ver Figuras 2.6 e 2.7), permitindo que o músculo realize as contrações musculares mediante a ligação

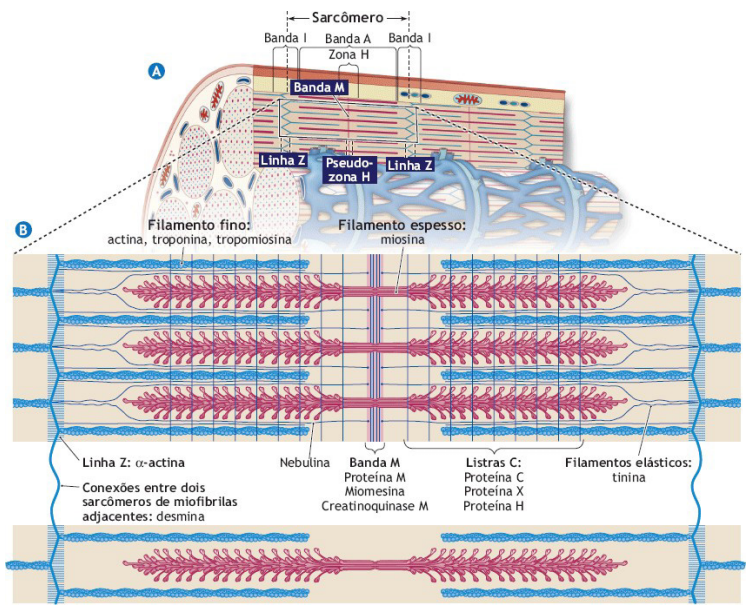
de proteínas contráteis que formam os filamentos fino (actina) e grosso (miosina). Essa microestrutura é ilustrada na Figura 2.7.

O sarcômero é formado por um conjunto de proteínas, sendo classificadas de acordo com sua função, sendo elas:

- Proteínas contráteis formadas pelos filamentos de **actina** e **miosina**;
- Proteínas regulatórias formadas pelos filamentos de **tropomiosina** e **troponina**, importantes para os processos de contração e relaxamento muscular;
- Proteínas não contráteis ou acessórias, que são: **nebulina, titina** e **desmina** que dão estrutura ao sarcômero e aos filamentos contráteis.

O conjunto dessas proteínas formam as zonas dentro do sarcômero, conhecidas como: **bandas A** (banda mais escura) e **banda I** (banda mais clara). Dentre cada banda temos as **linhas M** (meio da porção central da banda H), **linha Z** (que divide os sarcômeros) e a **banda H** (área clara) (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Figura 2.7 | Estrutura do sarcômero formado pelos diferentes filamentos de proteínas contráteis, regulatórias e não contráteis.

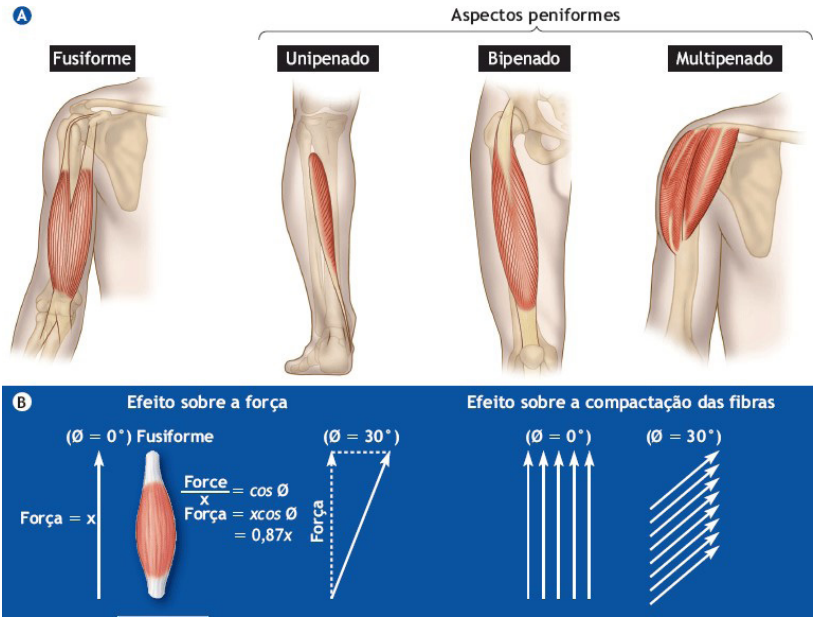


Fonte: McArdle, Katch e Katch (2018, p. 366).

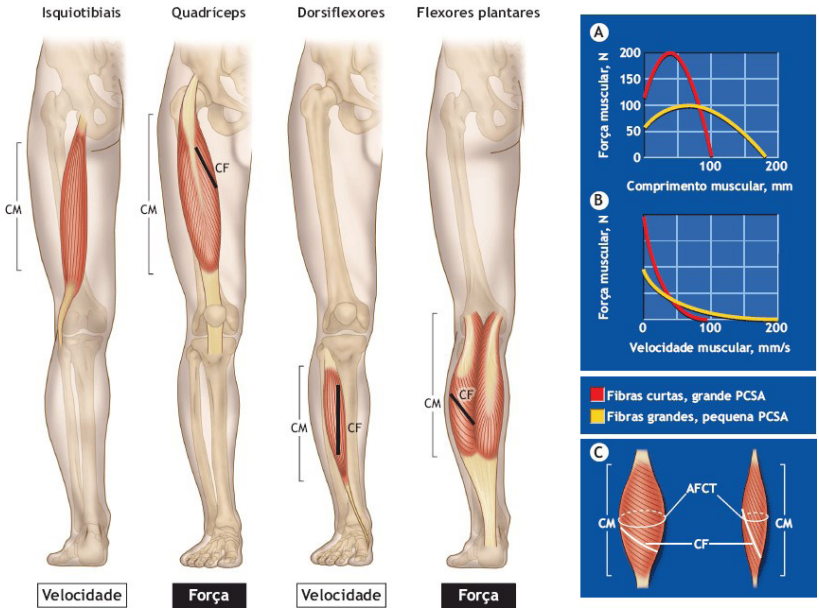
O alinhamento ou o arranjo das fibras musculares é outra característica que diz respeito ao músculo esquelético. Esse alinhamento pode ser diferente em determinados grupos musculares, podendo classificar um músculo em: músculos **fusiformes** e músculos **peniformes**. Os músculos fusiformes são formados por fibras paralelas ao eixo longitudinal e se afunilam no tendão. As fibras **peniformes apresentam** ângulo de penação, de forma oblíqua ao eixo longitudinal do músculo. As características de alinhamento dos músculos fusiformes e peniformes podem apresentar maior relação com as taxas de velocidade angular de movimento por contração muscular, impactando diretamente nas capacidades em produzir força e potência muscular. Músculos fusiformes apresentam maior característica de velocidade de contração. Já os músculos peniformes ou penados apresentam maior capacidade de força de contração (ver Figura 2.8).

Figura 2.8 | Alinhamento ou o arranjo das fibras musculares e sua relação com velocidade de contração e produção de força muscular

Painel A



Painel B



Nota: Painel A: (A) Formas de arranjo das fibras no músculo esquelético humano. (B) Desenvolvimento da força nos músculos fusiformes e penados (a 30°). Painel B. (A) Exemplo de músculo fusiforme e (B) exemplo de músculos peniformes com relação às curvas de força e velocidade. (C) Maior área de secção transversa produz maior força (músculos quadríceps e flexores plantares).
Fonte: McArdle, Katch e Katch (2016, p. 369 – Painel A, p. 370 – Painel B).

Reflita

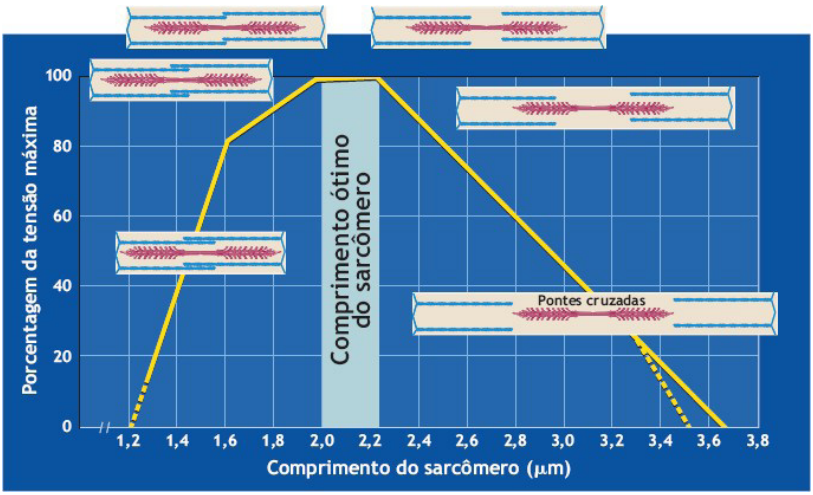
A velocidade angular de movimento em grande parte está relacionada ao alinhamento e arranjo das fibras musculares. Assim, movimentos de extensão de joelho que exigem a contração de músculos penados apresentam menor velocidade do que o movimento de flexão de joelho que exige a contração de músculo fusiforme.

Mecanismos celulares da contração muscular

Para que o processo de contração muscular possa acontecer, é necessário que a dissipação da propagação do estímulo elétrico no músculo, que chega do motoneurônio-alfa, se efetive. Esse processo é chamado de excitação. Na sequência, ocorrerão processos fisiológicos que resultarão em aumento da tensão muscular (acoplamento excitação-contração), que se mostra diferente de acordo com o comprimento do sarcômero (ver Figura 2.9). Para isso, o processo

de contração se iniciará pela liberação de acetilcolina das vesículas sinápticas que ficam no botão final do axônio para a fenda sináptica (espaço entre as membranas das células nervosas e musculares), que fica na junção neuromuscular na região da placa motora.

Figura 2.9 | Grau de tensão e comprimento do sarcômero do músculo esquelético em contração muscular isométrica



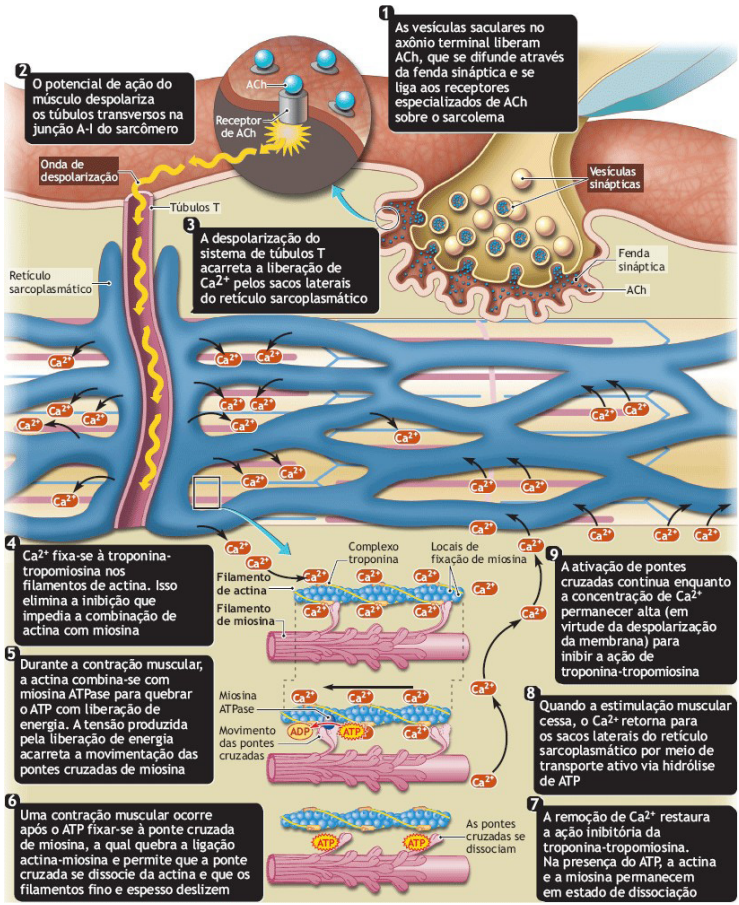
Fonte: McArdle, Katch e Katch (2018, p. 374).

Contração muscular (teorias dos filamentos deslizantes)

O processo de contração será desencadeado quando a acetilcolina (neurotransmissor) é liberada e se liga com os receptores pós-sinápticos, chamados de receptores de acetilcolina, e, consequentemente, haverá a dissipação do potencial de ação elétrico para a fibra muscular, promovendo o processo de contração. Isso irá provocar a despolarização de estruturas tubulares (túbulos T) que envolvem as fibras musculares, permitindo a liberação de cálcio do retículo sarcoplasmático. Com isso, os íons de cálcio irão se ligar com o filamento de troponina, reduzindo assim a ação inibitória da tropomiosina, fazendo com que ocorra a ligação dos filamentos de actina e miosina. Em consequência, haverá a quebra de ATP de forma contínua, fazendo com que o filamento de miosina tracione com o filamento de actina, reduzindo os espaços do sarcômero, promovendo a tensão muscular (teorias dos filamentos deslizantes ou das pontes cruzadas). A contração muscular com relação à ligação dos filamentos

de actina e miosina continuará na presença de cálcio liberado pelo estímulo elétrico que chega do neurônio. Para que o músculo volte ao estado de relaxamento, será necessário que a quebra de ATP ocorra, para romper a ligação actino-miosina, simultaneamente a uma redução do cálcio que será bombeado para o retículo sarcoplasmático. Na presença de ATP os filamentos contráteis sem mantêm separados, com a ação inibitória da tropomiosina que se movimenta recobrindo o sítio ativo da actina, de forma conjunta. O estado de relaxamento e o processo de contração muscular após o processo de excitação é demonstrado na Figura 2.10.

Figura 2.10 | Estado de relaxamento e o processo de contração muscular



Fonte: McArdle, Katch e Katch (2016, p. 379).

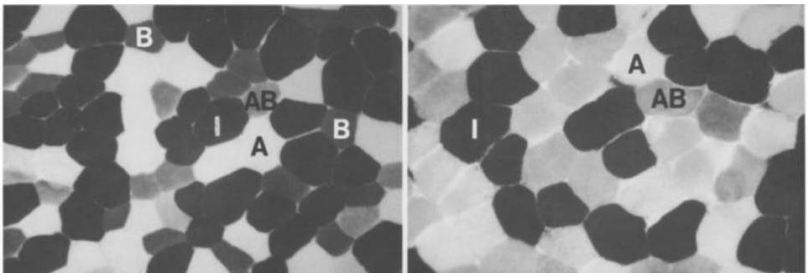
Exemplificando

Assista ao vídeo, clicando no link <https://bit.ly/2J5Ifhm> para facilitar no aprendizado sobre a fisiologia da contração muscular. Acesso em: 4 maio 2018.

Propriedades bioquímicas e fisiológicas dos diferentes tipos de fibras musculares

Existem no corpo humano cerca de 660 músculos esqueléticos formados por várias fibras musculares, que podem se diferenciar quanto a suas propriedades metabólicas e contráteis. As fibras musculares podem ser classificadas em fibras do tipo I ou do tipo II, que apresentam isoformas de cadeia pesada de miosina (MHC: do inglês, *myosin heavy chain*). As fibras do tipo I são de característica aeróbia e de contração lenta, classificadas como fibra lenta-oxidativa (LO). As fibras musculares do tipo II são de característica anaeróbia e de contração rápida, que são subdividas em fibras do tipo IIa e IIb (IIb: determinadas em estudos iniciais com animais, não expressas em humanos) ou IIx (IIx: identificadas em seres humanos, mas com a mesma característica da fibra IIb) (AGUIAR, 2016). As fibras musculares do tipo IIa apresentam características intermediárias entre as fibras do tipo I e tipo IIx, e, por isso são chamadas de fibra intermediária rápida-glicolítica-oxidativa (ROG). As fibras do tipo IIx apresentam uma maior especificidade quanto ao metabolismo anaeróbio, sendo classificada como fibra rápida-glicolítica (RG). A determinação dos diferentes tipos de fibras musculares é possível com amostras de músculo obtidas pelo procedimento de biópsia muscular com cortes transversais. A tipagem do músculo será por meio de técnicas imuno-histoquímicas em diferentes níveis de pH para identificar a miosina-ATPase específica (ver Figura 2.11) (POWER, HOWLEY, 2009; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Figura 2.11 | Exemplificação de diferentes fibras musculares nas situações pré e pós-treinamento de força em humanos



Fonte: Staron et al. (1989, p. 74).

O treinamento de força muscular, que requer alta demanda anaeróbia lática, parece promover a interconversão de fibras musculares do tipo IIx para o tipo IIa, além do aumento da área de secção transversa da fibra muscular (STARON et al., 1989; 1994). Outro aspecto importante é o percentual de fibras musculares do tipo I e II em atletas de diferentes esportes. Por exemplo, atletas de esportes de características aeróbias, como maratonistas, apresentam maior percentual de fibras do tipo I em comparação às fibras do tipo II. Já atletas de corridas de velocidade, como corredores de 100 metros rasos, apresentam maior percentual de fibras do tipo II do que fibras do tipo I (POWER; HOWLEY, 2009).

Assimile

Os diferentes tipos de fibras musculares estão relacionados com sua capacidade específica de produzir força, velocidade de contração, resistência à fadiga e característica metabólica.

Fadiga neuromuscular

A fadiga muscular é observada em diferentes tipos de exercícios, principalmente durante esforços intensos, sendo caracterizada pela redução da capacidade de gerar força. Neste caso, as fibras musculares do tipo I são mais resistentes à fadiga muscular do que as fibras musculares do tipo II. Entretanto, vários são os mecanismos que podem estar relacionados com a fadiga, sendo somados fatores neurais, resultando em fadiga neuromuscular, que considera fatores periféricos e neurais. Os fatores periféricos estão relacionados ao

acúmulo de metabólitos com elevação da acidose (ex.: acúmulo de íons H+, ADP, Pi e queda do pH), inibição dos íons de cálcio no filamento de troponina, redução do fluxo de cálcio intramuscular nos túbulos transversos, hipóxia tecidual, falha bioenergética (redução das reservas de fosfocreatina e de glicogênio muscular), redução da liberação de acetilcolina e dos processos excitação-contração etc. (CARROLL; TAYLOR; GANDEVIA, 2016). Os fatores neurais ou centrais têm sido mais estudados recentemente, porém apresentam grande complexidade e teorias/modelos que explicam o processo de fadiga. Tais modelos teóricos, como o governador central e o modelo psicobiológico, basicamente podem sofrer influências de fatores como: os periféricos, mediante mecanismos de feedback através de informações mapeadas por estímulos aferentes (AMANN; DEMPSEY, 2008), mas também podem estar relacionados a fatores não locais, de origem perceptual, motivacional e/ou comportamental que irão reduzir a quantidade de impulsos elétricos, causando assim redução da capacidade de trabalho muscular (SMIRMAUL et al.; 2013), respectivamente. Contudo, a fadiga neuromuscular parece estar relacionada a uma interação de mecanismos fisiológicos periféricos e neurais/centrais, podendo variar de acordo com o tipo de exercício, intensidade e duração.

Pesquise mais

Pesquise mais sobre as implicações da tolerância do exercício de longa duração e sua relação com o modelo psicobiológico de fadiga, acessando o link a seguir: <https://bit.ly/2FSAw0y>. Acesso em: 4 maio 2018.

Sem medo de errar

Como podemos auxiliar Jônatas em interpretar a resistência muscular em um teste que será aplicado em seu avô, que envolve realizar maior número de repetições no exercício de supino horizontal e agachamento a 70% da carga máxima em 4 séries com 2 minutos de intervalos, para avaliação da fadiga muscular? Além disso, como podemos ajudar Jônatas no resultado deste teste e quais são as considerações fisiológicas e musculares para o treinamento de seu avô, mesmo com a idade de 68 anos de idade?

Aparentemente, como o avô de Jônatas já treina há muito tempo, ele deverá apresentar uma resposta de resistência muscular, relativamente boa, por já ter causado estímulos de adaptação e interconversão de fibras musculares do tipo IIa, entre outros benefícios. Além disso, espera-se que o grau de fadiga muscular não seja tão grande, observando as repetições da última série nos exercícios selecionados. Esse parâmetro poderá ser utilizado para acompanhamento do treinamento, na tentativa de observar as adaptações fisiológicas do treinamento sobre a resistência à fadiga.

Avançando na prática

Avaliando o efeito do componente elástico no desempenho muscular

Descrição da situação-problema

Na tentativa de avaliar a potência muscular de membros inferiores e a influência do componente elástico sobre desempenho muscular, o professor Júlio irá aplicar o teste de salto vertical em seus alunos em uma escola de ensino médio. Como podemos ajudar o professor Júlio na aplicação e interpretação dos resultados desse teste? E como ele poderá observar a influência do componente elástico no desempenho muscular de seus alunos?

Resolução da situação-problema

Para avaliar o efeito do componente elástico no desempenho muscular, o professor Júlio poderá aplicar a avaliação da potência muscular em saltos verticais **com** e **sem contramovimento**. Os saltos **com contramovimento** apresentam o ciclo alongamento-encurtamento, sendo realizado com movimento rápido de alongamento muscular seguido de rápida contração para promover um movimento de grande potência muscular. Já o salto **sem contramovimento**, chamado de salto agachado, a fase de alongamento é realizada de forma controlada e lenta até o sujeito ficar estático na posição agachado (flexão de joelhos próximo a 90º) por ~3 segundos, antes de realizar a fase de encurtamento

para promover a contração muscular com alta potência. Assim, a altura do teste de impulsão vertical nas situações de salto com e sem contramovimento poderá dizer sobre o desempenho muscular de seus alunos além de ilustrar a influência do componente elástico sobre a potência muscular em salto vertical.

Faça valer a pena

1. Quais são os tipos de tecido conjuntivo que dão sustentação e suporte na estrutura do músculo esquelético?

Escolha a alternativa que contenha a informação correta de forma completa.

a) Fáscia, tendão e endomísio.
b) Actina, miosina, troponina e tropomiosina.
c) Endomísio, perimísio e epimísio.
d) Endométrio, fusiforme e perimísio.
e) Fáscia, sarcolema e sarcômero.

2. A fibra muscular também apresenta uma microestrutura de organização que forma o sarcômero, permitindo que o músculo realize as contrações musculares mediante a ligação de proteínas que formam os filamentos fino e grosso. Quais são as proteínas que são classificadas como proteínas contráteis?

Escolha a alternativa que contenha a informação correta de forma completa.

a) Proteínas contráteis formadas pelos filamentos de actina e miosina.
b) Proteínas contráteis formadas pelos filamentos de tropomiosina e troponina.
c) Proteínas contráteis formadas pelos filamentos de nebulina e titina.
d) Proteínas contráteis formadas pelos filamentos de actina e tropomiosina.
e) Proteínas contráteis formadas pelos filamentos de miosina e troponina.

3. Na junção neuromuscular, o estímulo elétrico causa um potencial de placa terminal e na fibra muscular (unidade motora), gerando uma onda de propagação do estímulo elétrico, desencadeando na despolarização de estruturas tubulares, permitindo a saída de cálcio do retículo sarcoplasmático.

Assim, o que acontece dentro da célula muscular para que aconteça a contração muscular mediante o acoplamento entre os filamentos de actina e miosina que resulta na teoria dos filamentos deslizantes?

Escolha a alternativa que contenha a informação correta de forma completa.

a) Acoplamento de íons de sódio nos filamentos de miosina, causando interação actino-miosina e a quebra de ATP pela ação da enzima ATPase.
b) Liberação de acetilcolina pela fenda sináptica e a identificação de seus receptores de adrenalina.
c) Acoplamento de íons de cálcio nos filamentos de troponina, causando interação actino-miosina e quebra de ATP pela ação da enzima ATPase.
d) Acoplamento de íons de potássio nos filamentos de miosina, causando interação actina-miosina e o consumo de ATP pela ação da enzima ATPase (hidrólise).
e) Lei do tudo ou nada.

Seção 2.3

Organização e treinamento de força/resistido em diferentes populações

Diálogo aberto

Vamos analisar uma situação que é muito comum na área de Educação Física com relação à orientação do treinamento de força/resistido. Em uma academia que Jônatas trabalha, ele é treinador de 2 alunos com perfil corporal e com a mesma idade de 21 anos. Ambos os alunos têm peso e estatura similares e realizam o mesmo programa de treinamento, pois querem treinar juntos, pois se sentem mais motivados. Entretanto, um dos alunos Jônatas tem apresentado maior aumento de massa muscular neste período que treinaram. Vamos ajudar Jônatas a explicar aos alunos para que possam entender quais são os fatores fisiológicos que poderiam explicar melhores adaptações de hipertrofia muscular em alguns indivíduos do que em outros?

Não pode faltar

Diretrizes para prescrição do treinamento força/resistido em adultos

O treinamento de força (TF) muscular ou treinamento resistido é muito utilizado entre diversas populações para promover ganhos substanciais na força muscular entre praticantes que buscam melhoria da saúde, ou desempenho físico entre atletas de diversas modalidades esportivas (ACSM, 2009). De forma geral, as sessões de TF são realizadas por contrações musculares **concêntricas** (tensão muscular por encurtamento), **excêntricas** (tensão muscular com estiramento) ou **isométricas** (tensão muscular sem movimento angular) sobre uma carga ou resistência imposta por equipamentos ou pesos livres. O TF induz adaptações funcionais, morfológicas e moleculares que resultam em ganho de força e massa muscular, após um período de treinamento (SALE, 1988; STARON et al., 1991; KRAEMER; FLECK; EVANS, 1996; KRAEMER et al., 2004).

Existem princípios envolvidos na elaboração de um programa de TF e sua progressão. Dentre eles, devem ser considerados os princípios da especificidade, sobrecarga e frequência de treinamento (ACSM, 2009; KRAEMER, FLECK, 2009). O TF usa destes princípios de forma organizada e planejada, que resulta em modelos de periodização, que podem ser caracterizados por modelos de TF periodizado (com variações de intensidade absoluta, relativa e volume de repetições) ou não periodizado (sem variação de intensidade relativa e volume de repetições).

O modelo periodizado pode ser organizado de forma **linear** (periodização clássica) ou **ondulatória** (periodização não linear). A periodização linear é caracterizada por um maior volume e menor intensidade na fase inicial do TF, e com a progressão do treinamento, há uma redução no volume e aumento na intensidade relativa. Já o modelo de periodização do TF não linear, ou ondulatório, é caracterizado por variações da intensidade relativa e de volume de repetições com a progressão das sessões de TF (ACSM, 2009; KRAEMER, FLECK, 2009).

O TF pode apresentar vários objetivos, que são relacionados aos componentes treináveis de força, hipertrofia, potência e resistência muscular. Para que se consiga induzir em adaptações a estes componentes supracitados, devem ser controladas algumas variáveis que norteiam a sessão aguda do TF, que envolvem a escolha e sequência do exercício, o volume de treinamento indicado pelo número de séries e repetições, a intensidade do treinamento e a duração dos intervalos (ACSM, 2009; KRAEMER, FLECK, 2009).

A escolha do exercício na sessão de TF envolve a seleção de um grupo muscular, com o objetivo de causar as adaptações desejadas, e está relacionada à execução do movimento, que são influenciados por exercícios **monoarticulares** (1 articulação envolvida) ou **multiarticulares** (2 ou mais articulações envolvidas), exercícios com aparelho ou pesos livres, ordem e padrão de execução. Exercícios multiarticulares requerem maior demanda de ativação neural, e por isso recrutam um maior número de grupamento muscular por movimento, além de exigir maior complexidade à técnica de execução do movimento. Contudo, a escolha por exercício monoarticulares se

deve por induzir adaptações mais específicas para um grupamento muscular de forma isolada com menor complexidade da execução do movimento (KRAEMER, FLECK; 2009). A escolha do TF executado com exercícios em aparelhos ou em pesos livres, em grande parte se deve aos aspectos de segurança e nível de treinamento. Exercícios em aparelhos são mais estáveis e de maior facilidade quanto ao aprendizado do movimento do que exercícios em pesos livres, assim, mais indicado para iniciantes ao TF (ACSM, 2009). Porém, há certa preferência entre os profissionais de TF por exercícios com pesos livres, devido à maior exigência de estabilidade da carga, o que resulta em maior ativação neural e de músculos sinergistas ao movimento (KRAEMER, FLECK; 2009), sendo mais indicado para praticantes com nível intermediário e mais avançado.

A ordem e a sequência dos exercícios no TF também são importantes. A recomendação geral é de priorizar a sequência de exercícios no TF por exercícios multiarticulares e que mobilizam maior massa muscular primeiro, e por último os exercícios monoarticulares e de menor massa muscular. Há também a relação de exercícios agonista/antagonista, pois pode otimizar os graus de força e potência durante a sessão de TF (ACSM, 2009).

A intensidade da carga e o volume de repetições compõem os principais fatores relacionados ao grau e ao tipo de adaptação com o TF, sobretudo para ganhos na força muscular (ACSM, 2009; SCHOENFELD et al., 2015). O controle e os incrementos da intensidade do TF se deve pelo percentual da carga relacionada a uma repetição máxima (1RM), por número de repetições alvo ou por zona de repetições máximas (RM), como: 6 a 10 RM, 8 a 12 RM ou 10 a 15 RM, etc. De forma geral, as diretrizes do TF proposto pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte são apresentadas na Tabela 2.1 (ACSM, 2009). As diretrizes trazem uma orientação geral quanto à frequência semanal, número de séries e repetições, intensidade de 1RM e tempo de intervalo entre séries para o TF voltado com ênfase em força máxima, hipertrofia, potência e resistência muscular localizada.

Tabela 2.1 | Diretrizes do treinamento de força/resistido proposto pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte em 2009

Frequência semanal	Nº de rep/ exercício	Nº de rep/série	Percentual de 1RM	Tempo de intervalo entre séries
Ênfase em força máxima				
Nível Iniciante 2 a 3 sessões para o corpo todo	1 a 3	8 a 12	60 a 70%	2 a 3 min. em exercícios principais 1 a 2 min. em exercícios de assistência
Nível Intermediário 3 sessões para o corpo todo e 4 rotinas divididas	Múltiplas	8 a 12	60 a 70 %	2 a 3 min. em exercícios principais 1 a 2 min. em exercícios de assistência
Nível Avançado 4 a 6 rotinas divididas	Múltiplas	1 a 12	Até 80 a 100% de maneira periodizada	2 a 3 min. em exercícios principais 1 a 2 min. em exercícios de assistência
Ênfase em hipertrofia				
Nível Iniciante 2 a 3 sessões para o corpo todo	1 a 3	8 a 12	70 a 85 %	1 a 2 min.
Nível Intermediário 3 sessões para o corpo todo e 4 rotinas divididas	1 a 3	8 a 12	70 a 85 %	1 a 2 min.
Nível Avançado 4 a 6 rotinas divididas	3 a 6	1 a 12 (6 a 12 vezes na maioria)	70 a 100% de maneira periodizada	2 a 3 min. em exercícios principais 1 a 2 min. em exercícios de assistência
Ênfase em potência				
Nível Iniciante 2 a 3 sessões para o corpo todo	Treinamento de força máxima + 1 a 3 exercícios de potência	3 a 6 (sem falha concêntrica)	Região superior: 30 a 60 % Região inferior: 0 a 60 %	2 a 3 min. em exercícios principais 1 a 2 min. em exercícios de assistência e principais de baixa intensidade
Nível Intermediário 3 a 4 sessões para o corpo todo ou rotinas divididas	Iniciante + progressão para 3 a 6 exercícios de potência	Iniciante + progressão para 1 a 6	Iniciante + progressão para 85 a 100 %	2 a 3 min. em exercícios principais 1 a 2 min. em exercícios de assistência e principais de baixa intensidade
Nível Avançado 4 a 5 voltadas para o corpo todo ou rotinas divididas	Iniciante + progressão para 3 a 6 exercícios de potência	Iniciante + progressão para 1 a 6	Iniciante + progressão para 85 a 100 %	2 a 3 min. em exercícios principais 1 a 2 min. em exercícios de assistência e principais de baixa intensidade
Ênfase em resistência muscular localizada				
Nível Iniciante 2 a 3 sessões para o corpo todo	Múltiplas	10 a 15	Baixa	1 min. ou menos

Nível Intermediário *3 sessões para o corpo todo e 4 rotinas divididas*	Múltiplas	10 a 15	Baixa	1 min. ou menos
Nível Avançado *4 a 6 rotinas divididas*	Múltiplas	10 a 25	Várias	1 min. ou menos, 10 a 15 rep 1 a 2 min., 15 a 25 rep

Fonte: adaptada de Kraemer, Fleck e Deschenes (2016, p. 405).

É importante considerarmos que há alguns estudos que contestam as recomendações e as diretrizes do Colégio Americano de Medicina do Esporte (ACSM, 2009) com relação a alguns aspectos, como a utilização da frequência de treinamento, intensidade e volume de repetições sobre as adaptações de ganhos de força hipertrofia muscular. Um exemplo disso, seria a utilização de cargas no treinamento (baixa: 23-35 RM e 30-50 % de 1RM; e alta: 8-12 RM e 70-80% de 1RM) em indivíduos bem treinados sobre os ganhos de força, resistência e hipertrofia muscular (SCHOENFELD et al., 2015). Neste estudo, os resultados demonstraram que os ganhos de hipertrofia muscular são similares nas intensidades baixa e alta de treinamento, mas o ganho de força muscular é maior no grupo que treina em alta intensidade (SCHOENFELD et al., 2015).

Não há dúvidas que a realização de um programa de TF promove ganhos na capacidade de produção de força e hipertrofia muscular em diversas populações.

Exemplificando

Acesso o vídeo do link abaixo e veja um exemplo da adaptação hipertrófica e de ganho de força ao treinamento de baixa e alta intensidade. Disponível: <https://bit.ly/2ke23Rq>. Acesso em: 15 maio 2018.

O aumento da força apresenta certa relação com o aumento da área de secção transversa muscular (ASTM) com o TF (STARON et al., 1991). Os efeitos do TF sobre os aspectos celulares são observados com um maior impacto em fibras musculares do tipo II (de característica anaeróbia), promovido por uma maior sinalização das vias de síntese de proteínas (STARON et al., 1991). Desta forma, o TF parece estimular os mecanismos de reparação e

construção celular, já indicado por uma maior expressão das vias de sinalização anabólicas que causam o aumento da massa muscular. O mecanismo que tem sido relacionado pela resposta hipertrófica e de aumento de força com o TF é iniciado por uma maior expressão do fator de crescimento insulínico tipo-1 (conhecido como IGF-1) que desencadeia na ativação da uma importante via de crescimento celular e de produção de proteínas [via IGF-1 / P13K / Akt / mTOR / P70S6K), ver a seguir] (BODINE, 2006; COFFEY, HAWLEY; 2007). Assim, os mecanismos que são desencadeados pelo TF se mostram necessários conhecer, pois podem explicar os ganhos de força e hipertrofia muscular.

Recomendações do treinamento de força/resistido para crianças e adolescentes

A utilização do TF para crianças e adolescentes merece atenção no que diz respeito à aplicação de cargas absolutas e relativas sobre o crescimento ósseo. Deve ter atenção com aplicação das cargas do TF e evitar cargas de treinamento próximas à capacidade contrátil em nível máximo (~1RM), pois podem acelerar o fechamento das epífises ósseas, influenciando negativamente no crescimento físico. Contudo, a prática e orientação do TF para crianças e adolescentes seguem as recomendações para adultos (ACSM, 2009), não havendo um tempo mínimo para início (BEHM et al. 2008), devendo ser apropriado para cada faixa etária e obedecendo à escolha de exercícios adequados e dando atenção aos fatores maturacionais. A escolha da intensidade pode variar de baixa para moderada, com uma frequência semanal de 2-3 vezes por semana em dias não consecutivos, utilizando de 1-2 séries por exercício no seu início, e progredindo para 4 séries nas faixas de repetições de 8-15 em 8 a 12 exercícios, podendo ser simples, como monoarticulares ou mais complexos em termos motores, como os exercícios multiarticulares. A periodização deve ser gradual e progressiva e sempre orientada e acompanhada de supervisão profissional para promover os benefícios esperados (BEHM et al., 2008).

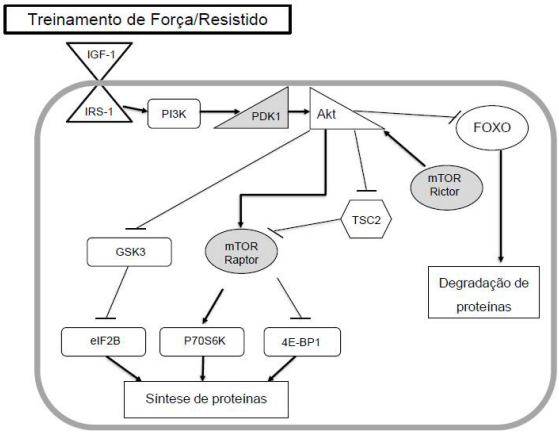
Mecanismos celulares e moleculares da hipertrofia muscular

As adaptações moleculares que desencadeiam uma maior taxa de síntese de proteínas no músculo esquelético em seres humanos, que são em parte atribuídas à ativação da via IGF-1 / P13K / Akt / mTOR / P70S6K em decorrência aos diferentes modelos de TF (BODINE, 2006) embora outras vias sejam relatadas (COFFEY, HAWLEY, 2007).

O estresse mecânico no TF, de forma aguda ou crônica, estimula a secreção de IGF-1 que induz uma isoforma chamada de **fator de crescimento mecânico** (*mechano growth factor,* MGF), resultando na ativação subsequente da via anabólica que resulta na produção de proteínas na célula muscular [proteínas, enzimas e moléculas relacionadas: *fosfatidilinositol 3 quinase* (PI3K), receptor de insulina 1 (IRS-1), proteína dependente de fosfoinositídeos 1 (PDK1), proteína quinase B (Akt), proteína alvo da rapamicina de mamíferos (mTOR), *complexo esclerose tuberosa 2* (TSC2 - tuberina), *glicogênio sintase quinase 3* (GSK3), fator de iniciação eucariótico 2B (eIF2B)], bem como inibição da via atrófica muscular [processos e proteínas relacionadas: *fatores de transcrição da forquilha* (FOXO) e da atividade da proteína quinase ativada por adenosina monofosfato (AMPK)] (BODINE, 2006; COFFEY, HAWLEY, 2007).

A mTOR atua em dois complexos multiproteicos responsivos, denominados de complexo 1 e 2. A ativação do complexo 1 da mTOR, chamada de mTOR-Raptor, tem sido uma via importante para gerar um aumento na síntese de proteínas em resposta do TF (KUBICA et al., 2005). A ativação do complexo 2 da mTOR (mTOR-Rictor) está relacionada com os receptores de IGF-1 que fosforila a Akt (COFFEY, HAWLEY; 2007). A mTOR-Raptor ativada pela Akt exerce papel importante na resposta hipertrófica do músculo, que estimula a tradução no RNAm por ligação de ribossomos, resultando em aumento na síntese de proteínas. O alvo da mTOR-Raptor inclui as *proteínas ribossomais S6 kinase* (P70S6K), proteína de ligação ao fator eucariótico 4E (4E-BP1), fatores de iniciação eucariótico 4 (eIF4). A regulação na síntese de proteínas, pela mTOR fosforilada, induz na ativação da P70S6K resultando em síntese de proteínas e inibição pela sinalização da 4E-BP1 e das eIF4, que exercem o papel de redução da produção de proteínas (BODINE, 2006; COFFEY, HAWLEY, 2007) (ver Figura 2.12).

Figura 2.12 | Vias de regulação e sinalização de síntese/degradação de proteínas relacionadas à adaptação muscular ao TF



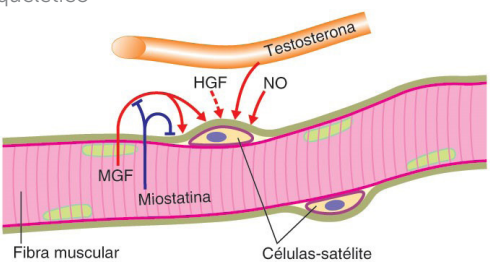
Fonte: adaptada pelo autor de Coffey e Hawley, (2007, p. 743).
Nota: a linha contínua cinza representa a membrana celular.

Outro mecanismo que tem sido relacionado às adaptações hipertróficas promovidas pelo TF é a ação da migração de **células satélites**, promovida pela resposta endócrina, estresse mecânico e inflamatória e inibição da proteína **miostatina**, que exerce o papel de inibir o crescimento muscular.

Assimile

Outro mecanismo que tem sido relacionado às adaptações hipertróficas promovidas pelo TF é a ação da migração de células satélites, promovida pela resposta endócrina, estresse mecânico e inflamatória e inibição da proteína miostatina, que exerce o papel de inibir o crescimento muscular.

Figura 2.13 | Mecanismos de ativação e inibição de células satélites no músculo esquelético



Fonte: Pithon-curi (2013, p. 76).

Pesquise mais

Aprofunde mais seus conhecimentos sobre as adaptações que TF provoca no mecanismo de regulação da miostatina através do link <https://goo.gl/LRqCaZ> . Acesso em: 3 jul. 2018.

Treinamento força/resistido e hipertrofia muscular

A resposta aguda do TF em seres humanos demonstrou um aumento na sinalização da via anabólica de produção de proteínas (Akt/mTOR/P70S6K) após 2h de exercício excêntrico (5 séries de 8 repetições) independentemente da velocidade de contração (ROSCHEL et al., 2011). Assim, os efeitos agudos sobre um aumento na ativação nas vias de sinalização após exercício resistido parecem explicar, em parte, os efeitos crônicos sobre os ganhos hipertróficos e de força após TF.

Os efeitos crônicos sobre a sinalização da via Akt/mTOR/P70S6K com o TF parecem ser menos expressivos com relação aos efeitos agudos (BODINE, 2006). Mas uma forte evidência é apontada pelo estudo de Terziz et al. (2008), que demonstrou ter uma relação entre aumento na taxa de síntese de proteínas na fase inicial do TF (via Akt/mTOR/P70S6K) com aumento nos indicadores de força muscular e de hipertrofia após 14 semanas de TF. Embora tenha alguns resultados conflitantes que possam ser encontrados na literatura, os efeitos crônicos promovidos pelo TF sobre expressão das vias de sinalização que resultam em maior síntese de proteínas, a ativação da via Akt/mTOR/P70S6K desencadeada pelo IGF-1/MGF tem sido relacionada com as adaptações hipertróficas e de ganho de força muscular com o TF (BODINE, 2006; COFFEY; HAWLEY, 2007).

Reflita

Veja com mais detalhes os mecanismos moleculares relacionados ao TF e reflita sobre como o exercício físico resistido pode induzir a vários mecanismos fisiológicos. Para isso acesse o link <https://goo.gl/Z2TCyx>. Acesso em: 15 maio 2018.

Relação entre dano muscular induzido pelo exercício e hipertrofia muscular

Outra questão um tanto polêmica é a relação entre o dano muscular induzido pelo exercício (DMIE) como fator causador da hipertrofia muscular. Diferentes mecanismos parecem estar relacionados ao DMIE, que inicialmente, causa uma desorganização estrutural em nível celular pelo rompimento de filamentos contráteis. Durante as contrações concêntricas e, especialmente, excêntricas vigorosas ou contínuas, as pontes de actina e miosina e as linhas Z nos sarcômeros do músculo estriado esquelético sofrem rupturas, e com isso, aumento de sinalizadores inflamatórios, podendo causar edema (inchaço), rubor (vermelhidão) e dor muscular localizada. Essa polêmica existe, pois, a literatura tem mostrado que um excesso da resposta inflamatória promovido pelo DMIE pode estar mais relacionado com as vias de degradação de proteínas, do que as vias anabólicas. Por exemplo, um aumento da resposta inflamatória e do DMIE pode estimular os mecanismos de migração de células satélites, e com isso, maior síntese de proteínas e miotubos na célula muscular. Entretanto, os ganhos hipertróficos são observados na ausência do DMIE (FLANN et al., 2011), na qual o grau de estresse mecânico exerce a função mais importante (NOSAKA et al., 2003). Além disso, parece que a hipertrofia miofibrilar se mostra mais importante após a diminuição do DMIE com o TF (ex.: >3 semanas) (DAMAS; LIBARDI; UGRINOWITSCH, 2018). Estes resultados sugerem que o DMIE poderia ser limitado, sem prejuízos ao processo de adaptação muscular.

Schoenfeld (2012) tem sugerido que há um limiar de DMIE para favorecer os ganhos hipertróficos. Esse limiar de DMIE estaria relacionado a certo equilíbrio favorável das respostas pró-inflamatórias e anti-inflamatórias, que sinalizam o reparo e mobilização de células satélites, além de uma ativação nas vias de sinalização (relacionadas ao IGF1 e Akt / mTOR / P70S6K) que resultaria, em parte, o ganho hipertrófico. Mais recentemente, Damas et al. (2018) tem demonstrado que DMIE exerce um certo papel no processo de adaptação ao TF na fase inicial, e conforme a progressão do TF ocorre, mas a hipertrofia poderá ocorrer de maneira independente ao DMIE.

Sem medo de errar

Vamos analisar uma situação que é muito comum na área de Educação Física com relação à orientação do treinamento de força/resistido. Em uma academia que Jônatas trabalha, ele é treinador de 2 alunos com perfil corporal e com a mesma idade de 21 anos. Ambos os alunos têm peso e estatura similares e realizam o mesmo programa de treinamento, pois querem treinar juntos, pois se sentem mais motivados. Entretanto, um dos alunos de Jônatas tem apresentado maior aumento de massa muscular neste período que treinaram. Vamos ajudar Jônatas a explicar aos alunos para que possam entender quais são os fatores fisiológicos que poderiam explicar melhores adaptações de hipertrofia muscular em alguns indivíduos do que em outros?

Em parte, pode-se especular as diferenças de percentual de tipos de fibras entre os indivíduos (ver detalhes na seção anterior - U2S2)

Além disso, embora ambos os indivíduos tenham o tipo corporal e faixa etária parecidos, um dos sujeitos podem ter respostas anabólicas desencadeadas após as sessões de TF mais expressivas, o que induz em mais ganho hipertrófico. Assim, devemos buscar entender o papel das vias de sinalização moleculares, mobilização das células satélites e de miostatina, e sua relação com influência do DMIE.

Outro fator, pode residir em diferenças no aporte nutricional entre os sujeitos. Mas para isso, seria necessário uma investigação e intervenção de um profissional de nutrição.

Avançando na prática

Sensação de dor muscular após exercício de Parkour em escolares

Descrição da situação-problema

Miguel é um professor de uma escola e que, eventualmente, realiza atividades adaptativas entre seus alunos do ensino médio com características do Parkour. Essas atividades sempre requerem um grande volume de saltos, que exigem grandes contrações

concêntricas seguidas de contrações excêntricas. Após a primeira aula de Educação Física com as atividades de Parkour, uma grande parte de seus alunos relatam a sensação de dor e inchaço nos membros inferiores, que podem estar relacionados ao DMIE. Porém, parte dos alunos não relatam qualquer sintoma de dor ou incômodo. O que pode causar os sintomas relacionados ao DMIE em alguns alunos e em outros não? Vamos ajudar a Miguel a descobrir isso?

Resolução da situação-problema

O nível de DMIE está relacionado à experiência prévia com as atividades e com o nível de treinamento com exercícios resistidos. Os alunos que sentiram maiores dores musculares, consequentemente, experimentaram maior DMIE, devem apresentar menor nível de experiência com as atividades de Parkour e menor treinabilidade com exercícios resistidos. Isso causa um aumento da resposta inflamatória e consequentemente maior dor muscular tardia.

Faça valer a pena

1. De forma geral, as sessões de treinamento de força/resistido são realizadas por diferentes tipos de contrações musculares.

Assinale a alternativa correta sobre os tipos de contrações observadas no treinamento de força/resistido.

a) Contrações musculares **concêntricas** (tensão muscular por alongamento), **excêntricas** (tensão muscular com estiramento) ou isométricas (tensão muscular com movimento angular).
b) Contrações musculares **concêntricas** (tensão muscular por alongamento) e **excêntricas** (tensão muscular com encurtamento).
c) Contrações musculares **positivas** (tensão muscular por encurtamento), **negativas** (tensão muscular com estiramento) ou **isotônicas** (tensão muscular sem movimento angular).
d) Contrações musculares **concêntricas** (tensão muscular por encurtamento), **excêntricas** (tensão muscular com estiramento) ou **isométricas** (tensão muscular sem movimento angular).
e) Nenhuma das anteriores.

2. A escolha do exercício na sessão de TF envolve a seleção de um grupo muscular, com o objetivo de causar as adaptações desejadas, e está relacionada à execução do movimento, que são influenciados por exercícios **monoarticulares** ou **multiarticulares**, exercícios com aparelho ou pesos livres, ordem e padrão de execução.

Assinale a alternativa correta que sobre os tipos de exercícios no treinamento de força/resistido.

a) Exercícios multiarticulares requerem a participação de duas ou mais articulações e maior demanda de ativação neural. Os exercícios monoarticulares exigem somente uma articulação e induzem adaptações mais específicas para um grupamento muscular de forma isolada.
b) Exercícios monoarticulares requerem a participação de duas ou mais articulações e maior demanda de ativação neural. Os exercícios multiarticulares exigem somente uma articulação e induzem adaptações mais específicas para um grupamento muscular de forma isolada.
c) Exercícios multiarticulares requerem a participação de duas ou mais articulações e maior demanda de ativação neural. Os exercícios monoarticulares exigem mais de uma articulação e induzem adaptações mais complexas para vários grupamentos musculares.
d) Exercícios multiarticulares requerem a participação de duas ou mais articulações e maior demanda de ativação neural, assim como os exercícios monoarticulares que induzem adaptações mais específicas para um grupamento muscular de forma isolada.
e) Exercícios monoarticulares requerem a participação de duas ou mais articulações e maior demanda de ativação neural, assim como os exercícios multiarticulares que induzem adaptações mais específicas para um grupamento muscular de forma isolada.

3. Sobre as vias de sinalizações moleculares relacionadas à produção, o estresse mecânico no TF, de forma aguda ou crônica, estimula a secreção de IGF-1 que induz uma isoforma chamada de **fator de crescimento mecânico** (*mechano growth factor*, MGF), resultando na ativação subsequente de uma importante via de crescimento celular e produção de... Assim, analise as assertivas a seguir que complete a sentença anterior.

I. A via anabólica que resulta na produção de proteínas na célula muscular [proteínas, enzimas e moléculas relacionadas: *fosfatidilinositol 3*

quinase (PI3K), receptor de insulina 1 (IRS-1), proteína dependente de fosfoinositídeos 1 (PDK1), proteína quinase B (Akt), proteína alvo da rapamicina de mamíferos (mTOR), *complexo esclerose tuberosa 2* (TSC2 - tuberina), *glicogênio sintase quinase 3* (GSK3), fator de iniciação eucariótico 2B (eIF2B)];

II. Essa resposta pode promover a síntese de proteínas e inibição da via de degradação dada pela FOXO;

III. O alvo da mTOR-Raptor *inclui as proteínas ribossomais S6 kinase* (P70S6K), proteína de ligação ao fator eucariótico 4E (4E-BP1), fatores de iniciação eucariótico 4 (eIF4). A regulação na síntese de proteínas, pela mTOR fosforilada, induz na ativação da P70S6K resultando em síntese de proteínas e inibição pela sinalização da 4E-BP1 e das eIF4, que exercem o papel de redução da produção de proteínas.

O estresse mecânico no TF, de forma aguda ou crônica, estimula a secreção de IGF-1 que induz uma isoforma chamada de **fator de crescimento mecânico** (*mechano growth factor*, MGF), resultando na ativação subsequente da via anabólica que resulta na produção de proteínas na célula muscular [proteínas, enzimas e moléculas relacionadas: *fosfatidilinositol 3 quinase* (PI3K), receptor de insulina 1 (IRS-1), proteína dependente de fosfoinositídeos 1 (PDK1), proteína quinase B (Akt), proteína alvo da rapamicina de mamíferos (mTOR), *complexo esclerose tuberosa 2* (TSC2 - tuberina), *glicogênio sintase quinase 3* (GSK3), fator de iniciação eucariótico 2B (eIF2B)], bem como inibição da via atrófica muscular [processos e proteínas relacionadas: *fatores de transcrição da forquilha* (FOXO) e da atividade da proteína quinase ativada por adenosina monofosfato (AMPK)] (BODINE, 2006; COFFEY, HAWLEY; 2007).

Assinale a alternativa correta ao analisar as assertivas acima.

a) Somente a assertiva I está correta.
b) Somente a assertiva II está correta.
c) Somente a assertiva III está correta.
d) Somente as assertivas I e II estão corretas.
e) As assertivas I, II e III estão corretas.

Referências

ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 41, n. 3, p. 687-708, 2009.

AGUIAR, A. F. Modulação das fibras musculares em resposta ao exercício físico. In: TEIXEIRA, D. C.; AVERSANI, M. R. (Org). **Exercício físico na promoção da saúde:** temas e suas relações. Belo Horizonte: Casa da Educação Física, 2016.

AMANN, M.; DEMPSEY, J. A. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. **The Journal of physiology,** v. 586, n. 1, p. 161-173, 2008.

BEHM, D. G. et al. Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 33, n. 3, p. 547-561, 2008.

BODINE, S. C. mTOR signaling and the molecular adaptation to resistance exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 38, n. 11, p. 1950-7, 2006.

BROWN, L. E.; WEIR, J. P. ASEP procedures recommendation I: accurate assessment of muscular strength and power. **Journal of Exercise Physiology**, n. 4, p. 1–21, 2001.

CARROLL, T. J.; TAYLOR, J. L.; GANDEVIA, S. C. Recovery of central and peripheral neuromuscular fatigue after exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 122, n. 5, p. 1068-1076, 2016.

COFFEY, V. G.; HAWLEY, J. A. The molecular bases of training adaptation. **Sports Medicine**, v. 37, n. 9, p. 737-63, 2007.

CRONIN, J. B.; HENDERSON, M. E. Maximal strength and powerassessment in novice weight trainers. **Journal of Strength and Conditioning and Research**, n. 18, p. 48–52, 2004.

DAMAS, F.; LIBARDI, C. A.; UGRINOWITSCH, C. The development of skeletal muscle hypertrophy through resistance training: the role of muscle damage and muscle protein synthesis. European **Journal of Applied Physiology**, v. 118, n. 3, p. 485-500, 2018.

FAIGENBAUM, A. D. et al. Reliability of the one repetition-maximum power clean test in adolescent athletes. **Journal of Strength and Conditioning Research**. v. 26, n. 2, p. 432-437, 2012.

FLANN, K. L. et al. Muscle damage and muscle remodeling: no pain, no gain? **Journal of Experimental Biology**, v. 214, n. 4, p. 674-9, 2011.

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; DESCHENES. M. R. **Fisiologia do exercício**: teoria e prática. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J. **Otimizando o treinamento de força:** programas de periodização não-linear. Barueri, SP: Manole, 2009.

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; EVANS, W. J. Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. **Exercise and Sports Science Review**, v. 24, n. 1, p. 363-97, 1996.

KRAEMER, W. J. et al. Changes in muscle hypertrophy in women with periodized resistance training. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 36, n. 4, p. 697-708, 2004.

KUBICA, N. et al. Resistance exercise increases muscle protein synthesis and translation of eukaryotic initiation factor 2Bepsilon mRNA in a mammalian target of rapamycin-dependent manner. **Journal of Biological Chemistry**, v. 280, n. 9, p. 7570-80, 2005.

McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício**: nutrição, energia e desempenho humano. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

NOSAKA, K. et al. Muscle Damage in Resistance Training: Is Muscle Damage Necessary for Strength Gain and Muscle Hypertrophy? **International Journal of Sport and Health Science**, v. 1, n. 1, p. 1-8, 2003.

PITHON-CURI. T. C. **Fisiologia do exercício**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

PLOUTZ-SNYDER, L. L.; GIAMS, E. L. Orientation and familiarization to 1RM strength testing in old and young women. **Journal of Strength and Conditioning and Research**. n. 15, p. 519–523, 2001.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício**: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. 6. ed. Barueri: Manole, 2009.

ROSCHEL, H. et al. Effect of eccentric exercise velocity on akt/mtor/p70(s6k) signaling in human skeletal muscle. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 36, n. 2, p. 283-90, 2011.

SALE, D. G. Neural adaptation to resistance training. **Medicine and Science in Sports and Exercise,** v. 20, n. 5, Suppl., p. S135-45, 1988.

SCHOENFELD, B. J. Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 26, n. 5, p. 1441-53, 2012.

SCHOENFELD, B. J. et al. Effects of low-vs. high-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men. **The Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 29, n. 10, p. 2954-2963, 2015.

SMIRMAUL, B. P. C. et al. Modelo psicobiológico: uma nova explicação para o controle da intensidade e (in)tolerância durante exercícios de resistência cardiorrespiratória. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 27, n. 2, p. 333-340, 2013.

STARON, R. S. et al. Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 60, n. 1, p. 71-79, 1989.

STARON, R. S. et al. Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. **Journal of Applied Physiology**, v. 70, n. 2, p. 631-40, 1991.

STARON, R. S. et al. Skeletal muscle adaptations during early phase of heavy-resistance training in men and women. **Journal of applied physiology**, v. 76, n. 3, p. 1247-1255, 1994.

TERZIS, G. et al. Resistance exercise-induced increase in muscle mass correlates with p70S6 kinase phosphorylation in human subjects. **European Journal of Applied Physiology**, v. 102, n. 2, p. 145-52, 2008.

TORTORA, G. J.; DERRICKSON, B. **Princípios de Anatomia e Fisiologia.** 14. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

Funcionamento dos sistemas fisiológicos com o exercício físico

Convite ao estudo

Caro aluno, nesta unidade iremos estudar o funcionamento de vários sistemas fisiológicos e como eles são influenciados pelo exercício físico. Assim, você será convidado a conhecer e compreender o funcionamento dos principais sistemas corporais envolvidos em situações de testes de esforço e em diferentes tipos de exercício físico. Além disso, para que você tenha conteúdos pertinentes para a compreensão sobre assunto, acesse algumas figuras importantes através de links apresentados na unidade, assim você terá melhores condições para o seu estudo. Para aprofundarmos neste conteúdo, iremos acompanhar Joana, uma estudante do curso de Educação Física que está realizando seu estágio final numa grande escola de ensino privado em conjunto com a professora Helena, no ensino fundamental. Nesta situação, a professora Helena tem notado que seus alunos têm consumido uma grande quantidade de alimentos industrializados ricos em sódio e conservantes, como salgadinhos e refrigerantes. Para provocar uma situação de conscientização entre seus alunos, a professora Helena está inicialmente organizando algumas avaliações fisiológicas para que possam impactar seus alunos à mudança de comportamentos. Tais avaliações têm como objetivo provocar situações que envolvem esforço físico para testar a capacidade de funcionamento e ajuste dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório. A professora Helena designou Joana para auxiliar neste processo durante a execução dos testes e avaliações nos alunos. Assim, vamos ajudar a professora Helena e sua estagiária com os testes e avaliações em alunos na capacidade e funcionamento do sistema cardiovascular e cardiorrespiratório e como hábitos alimentares podem interferir.

Seção 3.1

Estrutura e função dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório

Diálogo aberto

Joana e a professora Helena têm descoberto que vários dos alunos estão com indicadores de saúde ruins, como sobrepeso, pressão arterial e resistência aeróbia. Inicialmente a professora Helena tem desconfiado da influência negativa do alto consumo de alimentos industrializados. Mas alguns dos alunos, que aparentemente têm um perfil mais saudável, também tiverem indicadores ruins da saúde cardiovascular. Dessa forma, como podemos ajudar Joana e a professora Helena em explicar e compreender quais os outros fatores têm grande influência nos indicadores de saúde dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório, que não somente hábitos alimentares?

Não pode faltar

Durante o exercício físico, a dinâmica dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório é de grande importância. Vários são os fatores limitantes e determinantes no funcionamento dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório investigados pelos fisiologistas do exercício, a fim de melhor compreender o que levaria ao melhor desempenho físico em atletas (de diferentes idades), ou aos benefícios à saúde com a prática regular de programas de exercício físico, ou simplesmente o aumento da atividade física habitual, em diferentes populações. Neste caso, existe uma inter-relação entre esses sistemas, sobretudo no que diz respeito à absorção e transporte de oxigênio durante o exercício físico.

Grande parte dessa inter-relação diz respeito à capacidade funcional, demonstrada pelo Débito Cardíaco (DC), que é a quantidade de sangue bombeada pelo coração em 1 minuto. O DC representa ser a multiplicação da Frequência Cardíaca (FC em bpm) pelo Volume Sistólico (VS – volume de ejeção em mililitros ou em litros). Assim, podemos representar o DC nas situações de repouso e exercício em indivíduos treinados e destreinados para verificar a sua importância com o desempenho cardiorrespiratório na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 | Valores representativos para Débito Cardíaco (DC), Frequência Cardíaca (FC) e Volume Sistólico (VS) de homens treinados e destreinados

	DC (ml/min) =	FC (bpm) x	VS (ml)
Repouso			
Indivíduo destreinado	~5.000 (ml/min)	70 (bpm) x	71 (ml)
Indivíduo treinado	~5.000 (ml/min)	50 (bpm) x	100 (ml)
Exercício Máximo			
Indivíduo destreinado	~22.000 (ml/min)	195 (bpm) x	113 (ml)
Indivíduo treinado	~35.000 (ml/min)	195 (bpm) x	179 (ml)

Fonte: adaptado de McArdle, Katch e Katch, (2016, p. 348).

Podemos observar nesta tabela que o DC em repouso não demonstra ser diferente na condição de repouso entre os indivíduos treinado e destreinado, pois a exigência fisiológica é similar nesta condição, mesmo em indivíduos de diferentes níveis de treinamento. Porém, o DC no indivíduo treinado se mostra bem maior na situação de esforço máximo, o que resulta em um melhor desempenho físico e fisiológico em esforço.

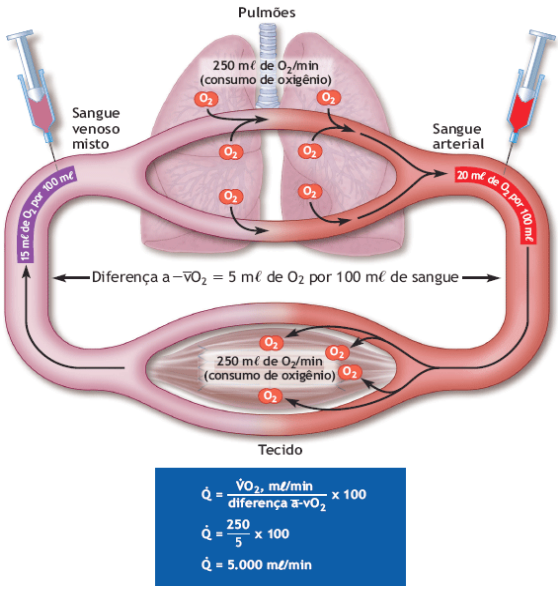
Além disso, o DC também pode ser observado pelo conceito teórico do princípio de Fick, exemplificado pela equação a seguir:

$$Débito\ Cardíaco\ (ml/min) = \frac{\dot{V}O_2(ml/\min)}{Diferença\ (ml/100ml\ de\ sangue) a\text{–}\bar{v}O_2} \times 100 \quad \text{(Eq. 3.1)}$$

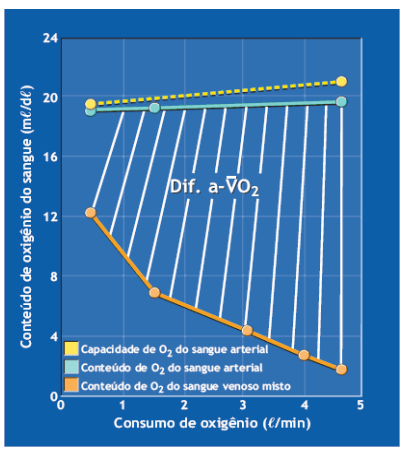
Neste caso, observamos que o DC (indicador fisiológico do sistema cardiovascular) e o consumo de oxigênio (VO_2 – indicador fisiológico do sistema cardiorrespiratório) durante o exercício é influenciado por fatores centrais que determinam as capacidades cronotrópicas (ex: FC) e inotrópicas (ex: VS) sobre o DC, somados a fatores periféricos que estão relacionados à capacidades musculares de utilizar o oxigênio, através da diferença arteriovenosa ($a - \bar{v}O_2$) de oxigênio (ver Figura 3.1, painéis A e B).

Figura 3.1 | Representação da medida fisiológica da diferença arteriovenosa de oxigênio em repouso (Painel A) e como essa medida se comporta durante o exercício em um teste progressivo máximo (Painel B)

Painel A	Painel B



Painel B



Fonte: McArdle, Katch, Katch (2016, p. 346, 354).

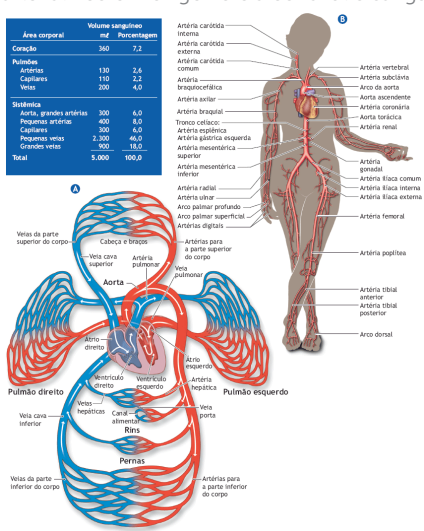
Por sua vez, os batimentos cardíacos – analisados pela FC – serão influenciados por mecanismos intrínseco e extrínseco (ver detalhes no tópico a seguir). Já o volume de sangue analisado pelo VS poderá ser influenciado por diferentes fatores hemodinâmicos, como a força de contração ventricular, pressão aórtica média e volume diastólico final. Logo, há inúmeros fatores fisiológicos que irão indicar a capacidade dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório nas situações agudas e crônicas submetidos a diferentes formas de atividade física e/ou exercícios físicos (McARDLE, KACTH, KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS, HOWLEY, 2014).

Alterações morfológicas e anatômicas do coração ao exercício físico

Considerando os aspectos estruturais do sistema cardiovascular, o coração merece especial atenção, pois bombeia o sangue para todas as partes do corpo. Para isso, o coração é dividido em átrios e ventrículos, com duas câmaras atriais (direita e esquerda) que ficam na parte superior do coração e duas câmaras ventriculares (direito e esquerdo) na parte inferior. Veja na Figura 3.2 uma ilustração para compreender melhor a importância do coração para bombeamento do sangue pelo sistema circulatório para todo o corpo.

Figura 3.2 | O coração, os sistemas vasculares pulmonar e sistêmico. A cor vermelha representa o sangue arterial rico em oxigênio e a cor azul o sangue venoso

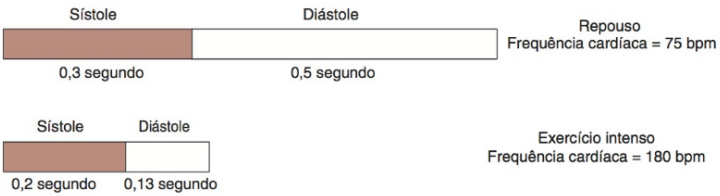
Área corporal	Volume sanguíneo ml	Porcentagem
Coração	360	7,2
Pulmões		
Artérias	130	2,6
Capilares	110	2,2
Veias	200	4,0
Sistêmica		
Aorta, grandes artérias	300	6,0
Pequenas artérias	400	8,0
Capilares	300	6,0
Pequenas veias	2.300	46,0
Grandes veias	900	18,0
Total	5.000	100,0



Legenda: adaptada de McArdle, Kacth & Katch (2016, p. 308).

O funcionamento ritmado e coordenado do coração ocorre a cada ciclo cardíaco, que é dividido em Sístole e Diástole. A influência temporal de cada ciclo cardíaco se mostra diferente nas situações de repouso e durante o exercício. Em repouso, a Sístole corresponde a 1/3, enquanto que a Diástole corresponde a aproximadamente 2/3, conforme figura a seguir.

Figura 3.3 | Influência temporal da Sístole e Diástole nas situações de repouso e exercício intenso



Fonte: McArdle, Katch & Katch (2016, p. 308).

A Sístole corresponde a fase de contração, já a Diástole corresponde a fase de relaxamento. Em cada fase do ciclo cardíaco, podemos observar o comportamento de algumas variáveis hemodinâmicas, como por exemplo a Pressão Arterial Sistólica (PAS) e a Pressão Arterial Diastólica (PAD). Além disso, podemos estimar a PA média, como um indicador da resistência vascular total, pela equação a seguir.

$$PA\ média\ (mmHg) = PA\ diastólica\ + [0{,}33\ \times (PA\ sístólica\ -\ PA\ diastólica)] \quad \text{(Eq. 3.2)}$$

Pesquise mais

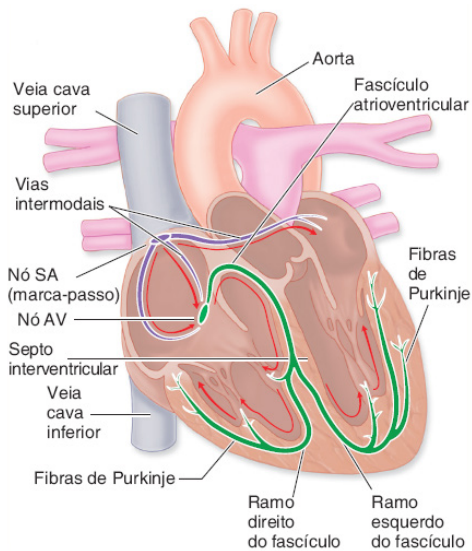
A hipertensão arterial em crianças e adolescentes tem se relacionado com o aparecimento da obesidade infantil. Isso se mostra preocupante, pois crianças hipertensas apresenta grande probabilidade de se tornarem adultos hipertensos. Neste sentido, tem sido observado redução significativa da pressão arterial em crianças, quando elas conseguem reduzir o peso, quando em excesso. Além disso, a prática regular de exercícios físicos tem sido um dos principais fatores que contribuem para redução pressão arterial, além da redução do peso corporal de crianças obesas (VILLARES; RIBEIRO; DA SILVA, 2010).

Aprofunde mais seus conhecimentos estudando os artigos a seguir.

Disponível em: <https://bit.ly/2Jfbyij>.; <https://bit.ly/2LWINVg>. Acesso em: 4 jun. 2018.

Outro aspecto importante sobre o controle da atividade de bombeamento cardíaco, muito comumente analisado pela FC, seja em repouso, durante o exercício ou pós-esforço, diz respeito aos mecanismos intrínseco e extrínseco que agem no coração. O **mecanismo intrínseco** diz respeito à capacidade elétrica própria que o coração tem sobre o seu ritmo, mediante às contrações dos músculos cardíacos a cada batimento. O coração conta com marca-passos fisiológicos e ramos neurais na sua estrutura morfológica, que pode manter uma FC próxima a 100-110 bpm, de forma exclusiva. Assim, o circuito elétrico, pelo mecanismo intrínseco cardíaco, funcionará pelos nódulos sinoatrial (SA) e atrioventricular (AV), além dos feixes de His (fascículo atrioventricular) e das fibras de Purkinje.

Figura 3.4 | Estrutura eletrofisiológica do coração



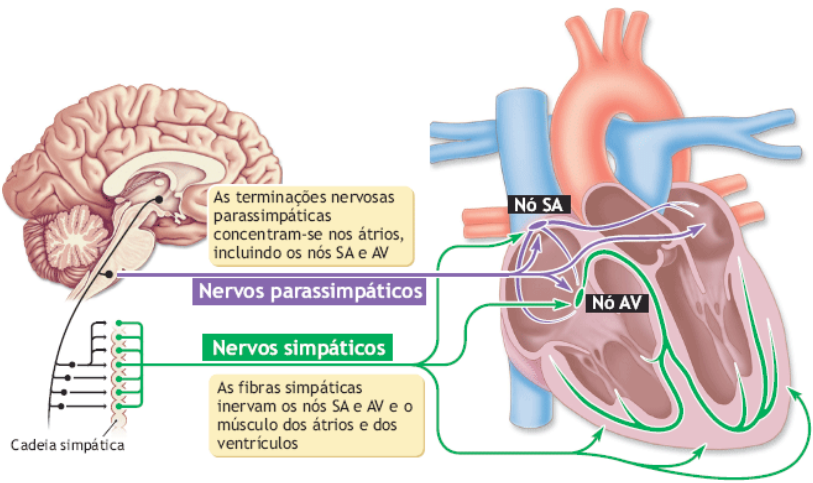
Fonte: Kraemer, Fleck e Dechenes (2016, p. 155).

O comportamento do sinal eletrofisiológico do coração pode ser acompanhado pela representação gráfica do eletrocardiograma (ECG) analisado nas situações de repouso, como nas avaliações médicas e clínicas, por indução de estresse farmacológico ou por estresse provocado pelo exercício físico em testes de esforços (ver Figura 3.6).

O **mecanismo extrínseco** no coração é regulado basicamente pela atuação do Sistema Nervoso Autônomo (SNA) simpático, quando

acelera o ritmo cardíaco, e parassimpático, quando desacelera o ritmo cardíaco por influência do nervo vago. O SNA simpático exerce sua influência no coração através das catecolaminas, adrenalina e noradrenalina, causando aumento da FC e da contratilidade cardíaca, principalmente nos nódulos SA e AV, além dos músculos do coração. O SNA parassimpático exerce sua influência pela liberação de acetilcolina sobre o nódulo AS através do nervo vago, causando bradicardia sinusal (Figura 3.5) (McARDLE; KACTH; KACTH, 2016).

Figura 3.5 | Influência do sistema nervoso autônomo simpático e parassimpático sobre a estrutura eletrofisiológica do coração



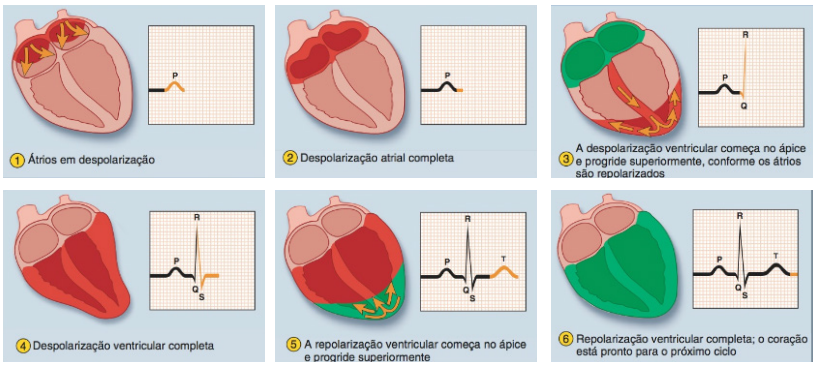
Fonte: McArdle, Katch, Katch (2016, p. 334).

Por sua vez, o SNA será influenciado por mecanismo de feedback, por diversas informações provenientes de receptores (ex: barorreflexos arteriais, reflexos cardiopulmonares e reflexo pressor do exercício) ao centro cardiovascular para modular a resposta cardíaca tanto em repouso, em exercício, quanto no pós-esforço. Outro fato curioso e importante é a influência do padrão respiratório sobre a resposta da FC, sobretudo em relação a atuação do SNA Parassimpático sobre o ritmo cardíaco. Assim, podemos induzir uma redução da FC ao controlar a respiração, principalmente em exercícios respiratórios e de meditação (McARDLE; KACTH & KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014).

Ajustes fisiológicos no controle do ciclo cardíaco e eletrocardiograma no exercício físico

O exercício físico promove várias adaptações sobre o mecanismo extrínseco no coração, que podem ser mapeadas pela avaliação do ECG. O sinal eletrofisiológico é segmentado em diferentes ondas pelo ECG, que indica o ponto e o local do coração, como representado pela Figura 3.6.

Figura 3.6 | Representação dos eventos elétricos cardíacos do ECG



Fonte: Powers e Houley (2014, p. 200).

Através da avaliação do ECG durante testes de esforço, pode-se estabelecer contraindicações do exercício físico por alterações anormais no ECG.

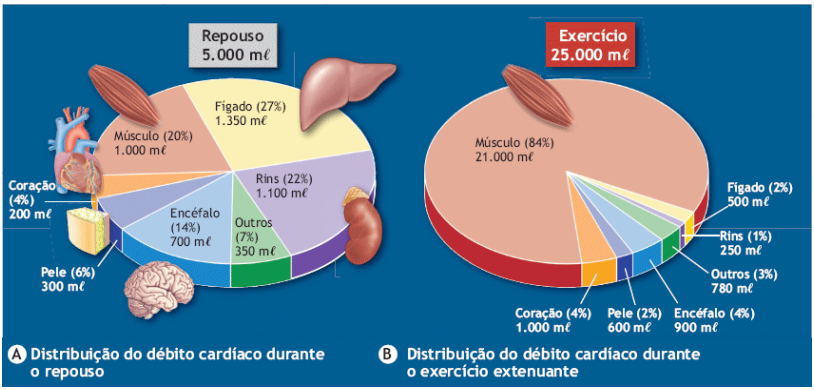
Uma das possibilidades promissoras na fisiologia do exercício está na avaliação do SNA no coração, pela técnica da variabilidade da FC (VFC), acessada basicamente pelas variações temporais de cada onda R (intervalo RR) do sinal eletrofisiológico, observado pelo complexo QRS. Com isso, pode-se avaliar a modulação e o tónus autonômico cardíaco simpático e parassimpático mediantes índices matemáticos nas situações de repouso, exercício e pós-esforço (ALBERT et al., 2003; PITHON-CURI, 2013; TASK FORCE, 1996).

Ajustes e adaptações cardiovasculares durante o exercício físico

Durante o exercício físico, ocorrem mudanças fisiológicas a fim de atender as demandas energéticas e outras funções vitais. Neste caso, sucede uma redistribuição sanguínea realizada pelo sistema cardiovascular para direcionar maior quantidade de sangue para a

musculatura ativa durante o exercício físico, reduzindo, em termos percentuais, de forma significativa o fluxo sanguíneo nas regiões dos órgãos, cérebro, etc.

Figura 3.7 | Distribuição relativa do débito cardíaco durante o repouso (A) e durante o exercício (B) intenso



Fonte: McArdle, Katch, Katch (2016, p. 351).

O fato de ocorrer uma drástica redução sanguínea na região dos rins durante o exercício físico, um mecanismo de controle da Pressão Arterial (PA) é acionado, chamado mecanismo renina-angiotensina-aldosterona. Com isso, temos um aumento da PA Sistólica mantendo praticamente estável a PA Diastólica durante o exercício. Embora o mecanismo renina-angiotensina-aldosterona exerça grande influência na resposta pressórica durante o exercício, o comportamento da PA pode alterar devido a diversos fatores fisiológicos, como: aumento da atividade simpática, que além de aumentar a FC e o VS, favorece uma maior constrição arterial (pelos receptores α_1), aumento da resistência periférica e aumento da viscosidade do sangue, principalmente durante o exercício físico. Vale lembrar, que esses fatores podem exercer sua influência na situação de repouso também (MCARDLE; KATCH; KATCH; 2016).

Para realizar esse monitoramento da PA em situações de repouso, exercício e pós-esforço, a forma mais prática e válida é a aferição da PA Sistólica e Diastólica é através do método auscultatório pelos sons de Korotkoff utilizando um estetoscópio e um esfigmomanômetro, ou oscilométrico.

Exemplificando

Atualmente, os métodos oscilométrico (aparelhos semiautomáticos digitais de braço) e auscultatório (uso de esfigmomanômetro aneróides e estetoscópio) são mais empregados para avaliação da pressão arterial. Ambos os métodos necessitam de equipamentos calibrados (ao menos 1x/ano) e válidos para a aferição da pressão arterial.

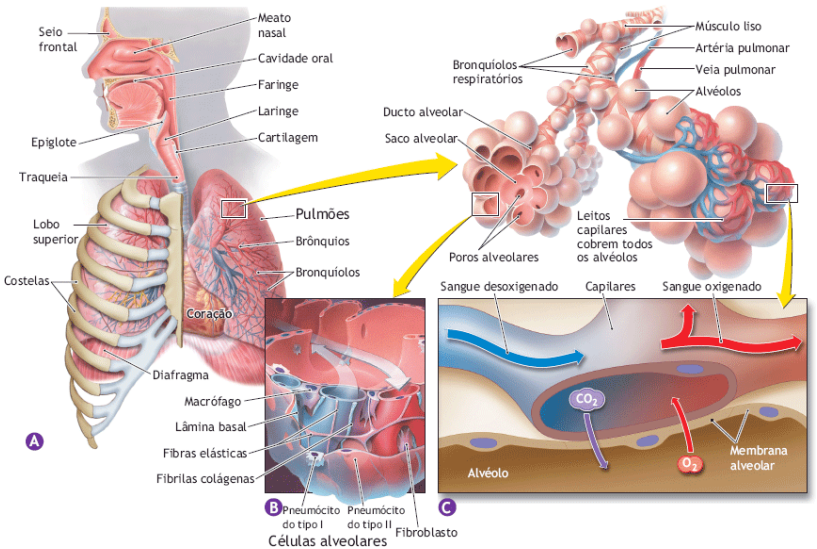
Para a medida de pressão arterial de crianças deve ser interpretada, levando em consideração a idade, sexo e estatura. Neste caso, o diagnóstico da hipertensão nessa população, tem como critério valores de pressão arterial iguais ou acima do percentil 95 (acessar o link: https://bit.ly/2waAUWh. Acesso em 23/08/2018). Veja a tabela de classificação da pressão arterial para crianças, segundos a VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão (2010).

VI Diretrizes Brasileiras de Hipertensão. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, São Paulo , v. 95, n. 1, supl. 1, p. I-III, 2010.

Estrutura e função pulmonares e sua relação com o exercício físico

O suprimento de oxigênio para o exercício, para fornecimento de energia aos músculos, depende da capacidade de troca gasosa realizada em cada respiração. Assim, o sistema cardiorrespiratório exerce papel fundamental para que um indivíduo consiga realizar esforços de características aeróbias, como uma maratona (42.195 m) em 2 horas e 10 minutos, o que equivale a uma velocidade média de corrida de 19,5 km/h (ver Figura 3.8). Desta forma, as vias aéreas superiores (zona condutora), os pulmões, brônquios, bronquíolos e alvéolos são estruturas importantes para que seja realizada a dinâmica da mecânica ventilatória, durantes as fases inspiratória e expiratória. Na **fase inspiratória**, o músculo diafragma se contrai e induz uma expansão do espaço existente nos pulmões, fazendo com que o ar entre. Na **fase expiratória**, durante o repouso ou na atividade física de baixa intensidade, o movimento do ar para fora dos pulmões é de forma passiva por retração natural do tecido pulmonar distendido e relaxamento dos músculos inspiratórios. Em esforço máximos, os músculos intercostais internos e abdominais atuam de forma importante, fazendo com que as costelas e a cavidade abdominal diminuam as dimensões torácicas, tornando a fase expiratória mais rápida.

Figura 3.8 | Painel A: Estruturas pulmonares na cavidade torácica (árvore respiratória). Painel B: Estrutura do alvéolo com os pneumócitos do tipo I na parede alveolar e os pneumócitos do tipo II, que secretam surfactante pulmonar e os macrófagos para combater agentes agressores, como as bactérias. Painel C. A troca gasosa de oxigênio e de dióxido de carbono nos alvéolos



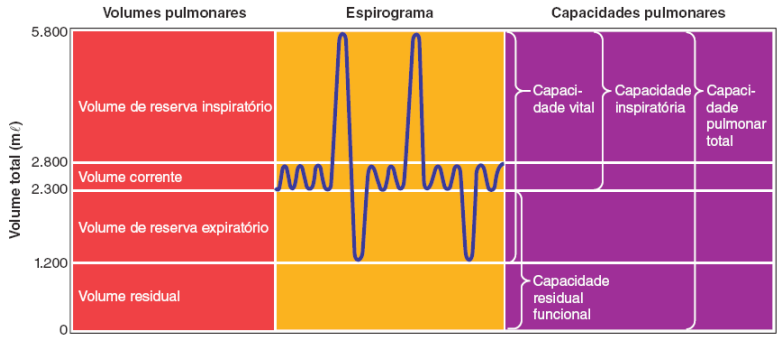
Fonte: McArdle, Katch, Katch (2016, p. 256).

Desta forma, toda estrutura pulmonar será utilizada de acordo com a necessidade de fornecimento de oxigênio para os diversos tecidos do corpo, em especial ao tecido muscular durante qualquer atividade física ou exercício físico.

Permuta de gases e dinâmica da ventilação ao exercício físico

Na situação de estresse físico, os diferentes volumes pulmonares (especialmente o volume corrente) sofrerão alteração de acordo com o aumento da taxa respiratória induzida pelo exercício físico. Nesse sentido, a capacidade pulmonar exerce grande influência na capacidade cardiorrespiratória, conforme figura a seguir.

Figura 3.9 | Representação dos volumes pulmonares analisados em um equipamento de pneumotacógrafo



Fonte: Kraemer, Fleck e Dechenes (2016, p. 190).

Durante o exercício físico, de forma aguda, o volume corrente apresenta aumento, enquanto que os volumes de reserva inspiratório e expiratório diminuem. O treinamento físico pode melhorar os indicadores da capacidade pulmonar, sobretudo por diminuir o volume residual.

A Ventilação Pulmonar (l/min) é uma das principais variáveis da capacidade pulmonar analisada durante testes de esforço submáximo e máximo, que pode ser calculada pela multiplicação do Volume Corrente (ml) pela Frequência Respiratória (ciclos ou incursões por min).

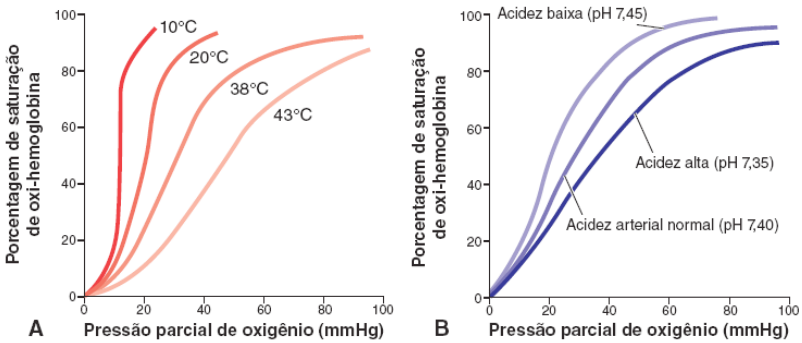
Contudo, o Consumo Máximo de Oxigênio (VO_2max) é a principal variável do sistema cardiorrespiratório e representa a maior taxa de captação, transporte e utilização de oxigênio em esforço de característica máxima (ver mais detalhes na Unidade 4). Além disso, o volume de exalação de dióxido de carbono (VCO_2) é uma medida muito utilizada em testes de esforço, principalmente para auxiliar como critério fisiológico para exaustão em testes máximo e para determinação dos limiares ventilatórios (ver detalhes na próxima seção do livro). Em situações de esforço máximo, é comum observarmos a dispneia por excesso de íons H+ e CO_2 nas artérias, forçando o sistema pulmonar em expulsar o CO_2 para o ar atmosférico pelo aumento da ventilação e da frequência respiratória (McARDLE; KACTH & KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014).

O transporte de O_2 sanguíneo pelo sistema circulatório ocorrerá principalmente pela ligação do O_2 com a hemoglobina, numa reação denominada de oxi-hemoglobina, e nos tecidos periféricos, ocorre a desoxi-hemoglobina na entrega do O_2. Por sua vez, o transporte de

CO_2 produzido nos tecidos até o pulmão ocorrerá principalmente com íons bicarbonato (~70%) ou ligado à hemoglobina (~20%) (McARDLE; KACTH & KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014).

A saturação de hemoglobina com o oxigênio, pode ser representada pela curva de dissociação da saturação oxi-hemoglobina e pode ser influenciada pela acidez metabólica (indicada pela queda do pH) e da temperatura corporal (ver Figura 3.10).

Figura 3.10 | Curva de saturação oxi-hemoglobina por influência da temperatura (Painel A) e por influência da acidez avaliada pelo pH (Painel B)



Fonte: Kraemer, Fleck e Deschenes, (2016, p. 197).

Este exemplo ilustra a influência da temperatura e da acidez sobre a curva de dissociação de saturação oxi-hemoglobina. Quando analisamos o efeito da acidez na curva de dissociação da oxi-hemoglobina, chamamos de efeito Bohr. Esse efeito é mais visível em esforços anaeróbios e, que se observa o aumento da acidez pela concentração de íons hidrogênio. Isso ocorre, pois, o hidrogênio se liga à hemoglobina, diminuindo a afinidade da hemoglobina com o oxigênio, fazendo com que a curva de dissociação da oxi-hemoglobina se desloque para a direita.

No músculo, a troca gasosa ocorre devido a uma molécula carreadora de oxigênio – mioglobina para o seu transporte até as mitocôndrias. Assim como a hemoglobina, a mioglobina é uma molécula transportadora de O_2 existente nos músculos esquelético e cardíaco (McARDLE; KACTH & KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014).

Reflita

Fisiologicamente, existe intensidades relativas de exercícios físicos que podem indicar estabilidade fisiológica sobre as capacidades dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório. Assim, o transporte e o fornecimento de oxigênio dependerá de fatores centrais, levando a célula muscular à utilizar esse oxigênio para produção de energia em níveis adequados. Caso contrário, o exercício físico se torna extenuante, induzindo em altas demandas fisiológicas dos sistemas cardiovasculares e cardiorrespiratórios.

Sem medo de errar

Joana e a professora Helena têm descoberto que vários dos alunos estão com indicadores de saúde ruins, como sobrepeso, pressão arterial e resistência aeróbia. Inicialmente a professora Helena tem desconfiado da influência negativa de um alto consumo de alimentos industrializados. Mas alguns dos alunos que aparentemente têm um perfil mais saudável, também tiverem indicadores ruins da saúde cardiovascular. Desta forma, como podemos ajudar Joana e a professora Helena em explicar e compreender quais os outros fatores tem grande influência nos indicadores de saúde dos sistemas cardiovascular e cardiorrespiratório, que não somente hábitos alimentares?

É importante listar aos alunos que níveis elevados do peso corporal, sobretudo com relação ao acúmulo de gordura corporal (indicado pela obesidade), exerce influência negativa em crianças e adolescentes. Além disso, o consumo excessivo de sódio pode comprometer a regulação da pressão arterial. Como a capacidade da resistência aeróbia depende, em parte, da capacidade de transporte de oxigênio pelo sistema cardiovascular (ver o princípio de Fick), uma piora na pressão arterial poderá comprometer o transporte de oxigênio até o músculo esquelético, resultando em uma maior dificuldade na resistência aeróbia.

Avançando na prática

Avaliação da resistência vascular total

Descrição da situação-problema

A professor Helena, em uma das suas aulas, aferiu a pressão arterial sistólica e diastólica em repouso de seus alunos, com o auxílio de

Joana. Com essas medidas, a professora Helena pretende estimar a pressão arterial média. Como podemos ajudar a professora Helena em determinar a pressão arterial média de seus alunos?

Resolução da situação-problema

A professora Helena poderá utilizar a equação apresentada a seguir, estimando, assim, a pressão arterial média de seus alunos, para poder avaliar a resistência vascular total.

$$PA\ média\ (mmHg) = PA\ diastólica\ + [0{,}33\ \times (PA\ sistólica\ -\ PA\ diastólica)] \quad \text{(Eq. 3.3)}$$

Faça valer a pena

1. O débito cardíaco é um importante parâmetro hemodinâmico que avalia a capacidade funcional do sistema cardiovascular, que representa a quantidade de sangue bombeada pelo coração em 1 minuto.

Assim, escolha a alternativa correta que diz respeito a determinação do débito cardíaco.

a) É produto da pressão arterial sistólica e volume sistólico.
b) É produto da frequência cardíaca e volume diastólico final.
c) É produto da frequência cardíaca e volume sistólico.
d) É produto da pressão arterial sistólica e frequência cardíaca.
e) É produto da pressão arterial diastólica e volume diastólico final.

2. O controle da atividade de bombeamento cardíaco, comumente analisado pela frequência cardíaca (FC), seja em repouso, durante o exercício ou pós-esforço, diz respeito a atuação dos mecanismos: intrínseco e extrínseco que agem no coração.

Assinale a alternativa correta que diz respeito ao mecanismo extrínseco.

a) O mecanismo extrínseco no coração é regulado basicamente pela atuação do sistema nervoso autônomo (SNA) simpático e parassimpático.
b) O mecanismo extrínseco diz respeito a capacidade elétrica própria que o coração tem sobre o seu ritmo, mediante as contrações dos músculos cardíacos a cada batimento.
c) O mecanismo extrínseco está relacionado a influência do mecanismo renina-angiotensina-aldosterona sobre o controle de batimentos.

d) O mecanismo extrínseco está relacionado ao reflexo pressor que o exercício provoca no nódulo sinoatrial, aumento assim a atividade do sistema nervoso parassimpático.
e) O mecanismo extrínseco diz respeito a capacidade de ajuste da curva de saturação de oxigênio no músculo cardíaco.

3. O transporte de oxigênio no sangue pelo sistema circulatório, após a troca gasosa capilar nos pulmões, ocorrerá principalmente pela ligação do oxigênio com a hemoglobina, numa reação denominada oxi-hemoglobina.

Assinale a alternativa correta que diz respeito aos fatores que podem influenciar na curva de saturação oxi-hemoglobina.

a) O efeito Bohr é mais visível em esforços de baixa intensidade, onde se observa aumento da acidez pelo acúmulo das concentrações de íons hidrogênio.
b) A curva de saturação de oxi-hemoglobina não é influenciada pelas mudanças de acidez e temperatura durante o exercício físico.
c) O efeito Bohr é mais visível em esforços de alta intensidade, em que se observa aumento da acidez pelo acúmulo das concentrações de oxigênio no sangue arterial.
d) A curva de saturação de oxi-hemoglobina pode ser influenciada pelo nível de acidez e de temperatura, denominada de efeito Bohr.
e) A curva de saturação de desoxi-hemoglobina acontece pela afinidade de dióxido de carbono com a molécula de mioglobina.

Seção 3.2

Limiares de transição metabólica

Diálogo aberto

Durante as avaliações de esforço em um teste contínuo de intensidade moderada realizado na escola em que Joana está estagiando, juntamente com a professora Helena, alguns alunos apresentavam resultados ruins de capacidade de ajuste cardiovasculares e cardiorrespiratório. Contudo, outros alunos apresentavam uma resposta totalmente oposta, na qual durante o esforço não sentiam qualquer dificuldade em executar o exercício físico proposto. Desta forma, como podemos auxiliar a professora Helena e sua estagiária Joana em explicar aos alunos quais fatores ou índices fisiológicos estão relacionados com essas diferenças entre os resultados discrepantes entre os alunos?

Não pode faltar

A utilização de parâmetros fisiológicos é importante para orientação e prescrição de treinamento aeróbio. Neste caso, é muito comum avaliar a capacidade cardiorrespiratória por testes progressivos máximos para identificação do VO_2max. Mas a identificação dos limiares de transição metabólica, obtidos geralmente durante os testes progressivos, se mostra mais sensível às mudanças provocadas por programas de treinamento aeróbio. Diferentemente do VO_2max que induz o indivíduo à exaustão e à sensação de fadiga, os limiares de transição metabólica são parâmetros submáximos, que além de serem capazes de indicar adaptações ao treinamento (GAESSER; POOLE, 1986), são bons marcadores fisiológicos para predizer o desempenho aeróbio (KRAEMER, FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE, KATCH & KATCH, 2016). Pode-se resumir que as inúmeras metodologias e terminologias por diferentes marcadores fisiológicos irão indicar dois pontos: o limar aeróbio e o limiar anaeróbio, que delimitam, basicamente, os domínios de esforço, sendo eles os domínios moderado, intenso e severo (GAESSER; POOLE, 1996).

Os limares de transição metabólica podem ser determinados mediante o uso de procedimentos invasivos e não-invasivos. Dentre os procedimentos invasivos mais utilizados, estão os testes que utilizam

amostras de sangue para determinação das concentrações sanguíneas de lactato nos procedimentos acerca dos limiares de lactacidemia. Já os procedimentos não-invasivos, que podem depender do uso de instrumentos/equipamentos caros ou de baixo custo, também são capazes de predizer os limites dos diferentes domínios de esforço mediantes aos parâmetros ventilatórios, respiratórios, frequência cardíaca e percepção subjetiva de esforço (DENADAI, 1996).

Figura 3.11 | Exemplificação do efeito do treinamento sobre os limiares de lactacidemia (limiar de lactato e OBLA, do inglês *Onset of Blood Lactate Accumulation*) em relação a intensidade relativa ao Consumo Máximo de Oxigênio (VO_2max).

Fonte: Kraemer, Fleck e Deschenes (2016, p. 59).

Limiares de lactacidemia

Os limiares de lactacidemia são, historicamente, os mais utilizados na fisiologia do exercício e obtidos por diferentes metodologias e testes, tendo como base as alterações nas capacidades de produção e remoção de lactato pelo músculo esquelético em diferentes intensidades de esforço (ver detalhes dos mecanismos fisiológicos na Seção 3 da Unidade 1). Neste caso, destacam-se as metodologias e terminologias dos seguintes limiares, como: Limiar Aeróbio (LAer), Limiar de Lactato (LL), Limiar Anaeróbio (LAn), Limiar de Lactato Mínimo (LACmin), Limiar Anaeróbio Individual (Individual Anaerobic Thereshold: IAT) e Máxima Fase Estável de Lactato (MFEL) (DENADAI et al.,1996; LUCAS et al. 2000).

O **Limiar Aeróbio** é o ponto da intensidade de exercício, durante um teste progressivo, quando as concentrações sanguíneas de lactato alcançam o valor de 2 mmol/l. Este limiar é muitas vezes utilizado como sinônimo do Limiar de Lactato e do Limiar Ventilatório (KINDERMANN et al., 1979).

O **Limiar de Lactato** é o ponto da intensidade de exercício, em que é observado um aumento exponencial pelo acúmulo na produção

de lactato acima de 1 mmol/l comparado ao valor de repouso, durante um teste progressivo. Este limiar é também identificado pela terminologia na língua inglesa como, *Onset of Plasma Lactate Acumulation* (OPLA) (FARREL, PETER et al. 1979).

O **Limiar Anaeróbio** é o termo mais comum dentre os limiares e se mostra o ponto de intensidade de exercício, em que há um limite na capacidade de consumo de oxigênio para produção de energia. A partir desse ponto, haverá uma maior taxa de quebra de glicogênio muscular que resultará em ponto de intensidade um maior acúmulo de lactato sanguíneo [em inglês OBLA: *Onset of Blood Lactate Accumulation* (SJÖDIN; JACOBS, 1981)]. Este ponto é identificado como a intensidade em que as concentrações de lactato no teste progressivo são fixadas a 4 mmol/L (quanto o tempo dos estágios no teste progressivo é de 5 minutos) ou 3,5 mmo/L (quanto o tempo dos estágios no teste progressivo é de 3 minutos) (KINDERMANN et al., 1979). Contudo, para crianças, recomenda-se a utilização da concentração fixa de 2,5 mmol/L devido a dificuldades dos mecanismos anaeróbios na produção de lactato nesta população (WILLIAMS; ARMSTRONG, 1991).

O **Limiar de Lactato Mínimo (LACmin)** é uma metodologia que tenta corrigir a limitação de disponibilidade de glicogênio muscular nas situações de testes de esforço, na qual o LACmin corresponde à intensidade de exercício em que ocorre o ponto de equilíbrio entre produção e remoção de lactato no músculo. Para isso, a metodologia para determinação do teste de LACmin requer a realização de esforço anaeróbio de alta intensidade que induz em acúmulo de lactato no sangue (ex: séries de corridas máximas de 2 x 200 m ou corrida máxima de 300 m + 200 m, após um curto intervalo, ou o teste de Wingate (*sprint* máximo de 30 segundos em cicloergômetro), descanso de 8 minutos e depois a realização de um teste progressivo (TEGTBUR et al., 1993).

O **Limiar Anaeróbio Individual** (*Individual Anaerobic Thereshold*: IAT) é uma metodologia que tentar corrigir possíveis erros e variações individuais que são desconsideradas nos limiares LAer, LL e LAn. O IAT indica o ponto de equilíbrio dinâmico de produção e remoção pela cinética de lactato sanguíneo durante teste progressivo e pela cinética de remoção do lactato na fase de recuperação após exaustão no teste progressivo máximo (STEGMANN et al., 1981).

A **Máxima Fase Estável de Lactato (MFEL)** é método padrão-ouro para indicar o ponto de equilíbrio máximo de estabilização entre produção e

remoção de lactato durante o exercício físico. Porém, esta metodologia exige a realização de várias intensidades em testes com cargas fixas realizados em vários dias, logo, não é um método muito aplicável. O critério para determinar a MFEL seria a intensidade de exercício em que é observado o acúmulo de lactato no sangue menor que 1 mmol/L entre o 20º e 30º minuto de um teste de esforço com carga constante (HECK et al., 1985). No entanto, URHAUSEN et al. (1994) sugerem um critério mais rigoroso de estabilização para MFEL, que seria uma variação menor de 0,5 mmol/L entre 15º e o 30º minutos de um teste de carga constante.

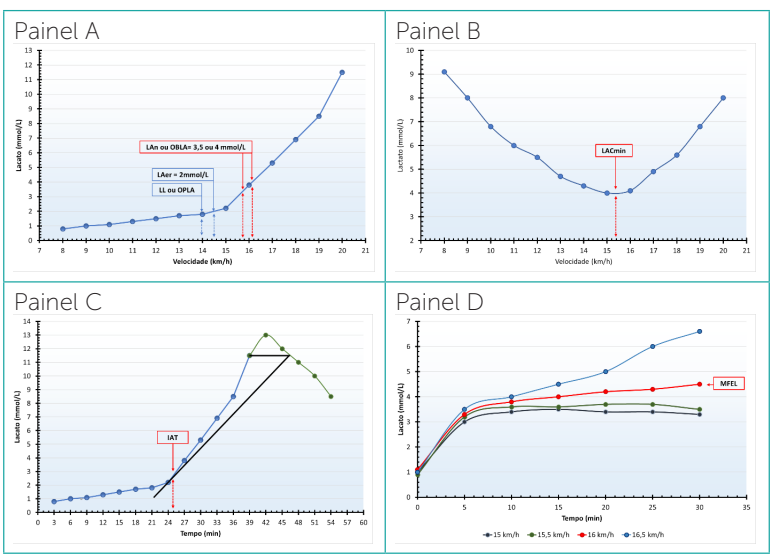
Para melhor compreensão, veja a Figura 3.12 uma demonstração da identificação dos limiares apresentados anteriormente.

Pesquise mais

Pesquise e aprenda mais sobre o assunto assistindo ao vídeo a seguir.

Disponível em: <https://youtu.be/8PRozfg2MrE>. Acesso em: 9 jun. 2018.

Figura 3.12 | Exemplificação para identificação dos limares de lactacidemia: Painel A - Limiar Aeróbio (LAer), Limiar de Lactato (LL), Limiar Anaeróbio (LAn); Painel B - Limiar de Lactato Mínimo (LACmin); Painel C - Limiar Anaeróbio Individual (*Individual Anaerobic Thereshold*: IAT), e; Painel D - Máxima Fase Estável de Lactato (MFEL)



Fonte: elaborada pelo autor.

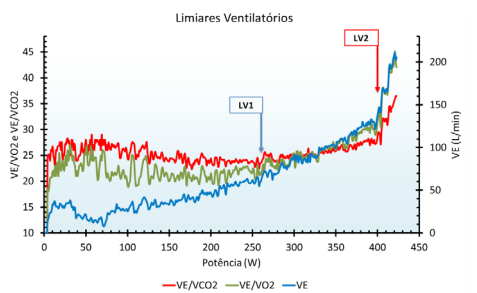
Limiares ventilatórios

Outra forma de determinar os limiares metabólicos de transição aeróbio e anaeróbio é por meio dos limiares ventilatórios. Esses limiares podem ser avaliados com auxílio de analisador de gases, quando é possível medir as taxas ventilatórias, respiratórias, do consumo de O_2 e da produção de CO_2 por via metabólica pela utilização dos substratos energéticos e não-metabólica pelo tamponamento do H+ pelo sistema do bicarbonato sanguíneo pela ação da enzima anidrase carbônica. Com isso, a produção não-metabólica do CO_2 induz o organismo a aumentar demanda pulmonar de ventilação e da respiração, indicando fisiologicamente, pontos de transição, que em geral, coincidem com os limiares de lactacidemia. Os limiares ventilatórios serão denominados como limiar ventilatório 1 e limiar ventilatório 2 (WASSERMAN et al., 1973; LUCÍA et al., 1998).

O **liminar ventilatório 1 (LV1)** pode ser determinado pela razão da ventilação (l/min) pelo valor do consumo de O_2 (VO_2) (VE/VO_2). Através dessa razão, deve-se observar um aumento súbito da VE/VO_2 sem a quebra da linearidade da razão VE/VCO_2, indicando que o organismo está elevando a taxa ventilatória induzido com a progressão da intensidade do teste. Além disso, a intensidade que corresponde ao LV1 pode ser avaliada ao observar o primeiro aumento não-linear, somente analisando o comportamento da ventilação (McLELLAN, 1985).

O **limiar ventilatório 2 (LV2)** indica a intensidade do ponto de compensação respiratória durante o teste progressivo. O LV2 pode ser observado pelo segundo aumento não-linear da ventilação, ou pela quebra da linearidade da razão da VE/VCO_2 (McLELLAN, 1985). Na Figura 3.13 pode-se visualizar a determinação de um sujeito treinado em teste progressivo em cicloergômetro.

Figura 3.13 | Determinação dos limiares ventilatórios 1 e 2



Fonte: elaborada pelo autor.

Percepção subjetiva de esforço e limiar de esforço percebido

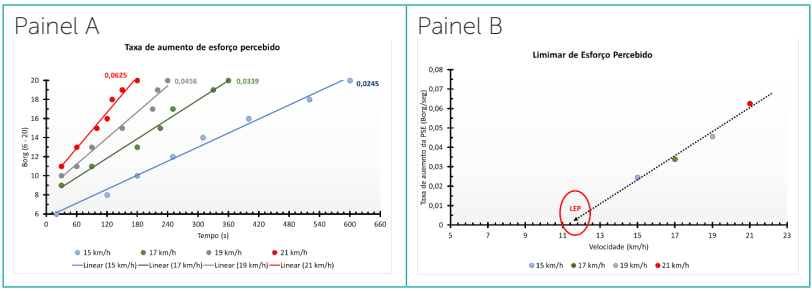
O uso da Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) se mostra um método interessante, não-invasivo e de baixíssimo custo operacional para estimar o Limiar de Esforço Percebido (LEP). Para isso, a metodologia irá utilizar a escala de PSE (ver quadro 3.1) de Borg de 15 pontos (6-20) em testes de carga constante até exaustão, com tempos variando de 1-15 minutos. Para essa metodologia, se aplicam os mesmos testes para potência/velocidade crítica (ver Seção 3 da Unidade 1). Durante o teste, o avaliador deverá registrar o tempo em que ocorre o aumento da PSE por parte do avaliado. Assim, calcula-se por regressão linear as taxas de aumento da PSE pelo tempo de cada teste. Fisiologicamente, as taxas de aumento da PSE são reflexo da taxa de utilização dos substratos energéticos anaeróbios nos testes exaustivos. Em seguida, plota-se as respectivas taxas de aumento da PSE com as intensidades empregadas para encontrar, por meio de regressão linear, a intensidade do LEP (taxa de aumento da PSE seria igual a zero) (NAKAMURA et al., 2005). Assim, podemos observar a determinação do LEP na Figura 3.14.

Quadro 3.1 | Escala de Percepção Subjetiva de Esforço (PSE) proposta por BORG (1982)

6	
7	Muito, muito leve
8	
9	Muito leve
10	
11	Um pouco leve
12	
13	Um pouco pesado
14	
15	Pesado
16	
17	Muito pesado
18	
19	Muito, muito pesado
20	

Fonte: adaptado de Fleck, Kraemes e Deschenes, (2016, p. 400).

Figura 3.14 | Exemplificação para determinação do limiar de esforço percebido



Fonte: elaborada pelo autor.

É importante considerar que a determinação da intensidade do LEP parece ser correspondente ao LAn, OBLA e LV2.

Exemplificando

Para calcular os procedimentos do LEP, deve-se recorrer aos modelos de regressão lineares, possíveis de serem realizados em softwares, como o excel ou programas similares.

Respostas fisiológicas e domínios de esforço

A determinação destes limiares de transição metabólica se mostram importantes, pois indicam a mudança de diferentes domínios de esforço, como os domínios moderado, intenso e severo.

Reflita

A utilização dos limiares delimita os diferentes domínios fisiológicos de esforço para a prescrição de treinamento de resistência aeróbia.

Em cada domínio, há respostas fisiológicas distintas, como: no domínio moderado existem total estabilidade fisiológica em esforço físico; no domínio intenso existe uma estabilidade fisiológica precária e tardia, porém é possível se manter em esforço em um tempo considerado. No domínio severo não há estabilidade fisiológica, o que induz em grande estresse metabólico e baixa tolerância ao exercício (GAESSER; POOLE, 1996).

Assimile

A importância dos limiares de transição metabólica é devido a marcadores fisiológicos sensíveis ao treinamento muito comuns em avaliações de capacidade aeróbia. Para aprofundar mais sobre o tema, acesse o link <https://bit.ly/2ttGn97>. e leia o texto sobre a importância de se determinar os domínios de esforço.

Sem medo de errar

Durante as avaliações de esforço em um teste contínuo de intensidade moderada realizado na escola em que Joana está estagiando juntamente com a professora Helena, alguns alunos apresentavam resultados ruins de capacidade de ajuste cardiovasculares e cardiorrespiratório. Contudo, outros alunos apresentavam uma resposta totalmente oposta, na qual durante o esforço não sentiam qualquer dificuldade em executar o exercício físico proposto. Desta forma, como podemos auxiliar a professora Helena e sua estagiária Joana para explicar aos alunos quais fatores ou índices fisiológicos estão relacionados com essas diferenças entre os resultados discrepantes entre os alunos?

Ao observar essas diferenças entre os alunos, dois índices fisiológicos podem explicar, em grande parte, uma maior dificuldade dos alunos que apresentam menor capacidade cardiorrespiratória, indicada pelo VO_2max. Mas também, para àqueles alunos que tenham os seus limiares metabólicos de transição aeróbio e anaeróbio baixos, terão mais dificuldades de realizar esforços com intensidades constantes, em comparação com alunos que apresentam maior VO_2max e que tenham melhores índices dos limiares metabólicos de transição aeróbio e anaeróbio.

Avançando na prática

Identificação dos domínios de esforço

Descrição da situação-problema

Nesta situação, Rodrigo é um estudante de Educação Física e tem um trabalho teórico-prático orientado pelo professor Allan. O trabalho

teve o objetivo de provocar uma situação em que um corredor de alto nível, e precisa encontrar as intensidades para seu treinamento, de acordo com dos domínios moderado, intenso e severo. Assim, quais são as metodologias invasivas e não invasivas que podem ser aplicadas?

Resolução da situação-problema

Neste caso, poderão ser utilizados os métodos invasivos e não-invasivos. O método invasivo mais comum é pelas concentrações sanguíneas de lactato para identificação dos limiares de lactacidemia. Os métodos não-invasivos, que foram apresentados no livro são os limiares ventilatórios e o limiar de esforço percebido. Porém existem outros métodos, como limiar de frequência cardíaca e da sua variabilidade. Basicamente, o limite entre os domínios de esforço moderado e intenso é pelos limiares aeróbios (ex: LAer, LL, OPLA e LV1). Já o limite entre os domínios intenso e severo é pelos limiares anaeróbios (LAn, OBLA, LACmin, IAT, MFEL, LV2 e LEP).

Faça valer a pena

1. Os limiares de lactacidemia são, historicamente, os mais utilizados na fisiologia do exercício e obtidos por diferentes metodologias e testes, tendo como base, as alterações nas capacidades de produção e remoção de lactato pelo músculo esquelético em diferentes intensidades de esforço.

Assim, assinale a alternativa correta que diz respeito ao limiar de lactato.

a) É o ponto da intensidade de exercício, durante um teste progressivo quando as concentrações sanguíneas de lactato alcançam o valor de 2 mmol/l.
b) É o ponto da intensidade de exercício onde é observado um aumento exponencial pelo acúmulo na produção de lactato acima de 1 mmol/l comparado ao valor de repouso.
c) Este ponto é identificado como a intensidade em que as concentrações de lactato no teste progressivo são fixadas a 4 mmol/l ou 3,5 mmo/l.
d) Indica o ponto de equilíbrio dinâmico pela cinética de lactato sanguíneo e pela cinética de remoção do lactato na fase de recuperação após exaustão no teste progressivo máximo.
e) Seria a intensidade de exercício quando é observado o acúmulo de lactato no sangue menor que 1mmol/L entre o 20º e 30º minuto de um teste de esforço com carga constante.

2. Outra forma de determinar os limiares de transição metabólico aeróbio e anaeróbio é por meio dos limiares ventilatórios. Esses limiares podem ser avaliados com auxílio de analisador de gases, onde é possível medir as taxas ventilatórias, respiratórias, do consumo de O_2 e da produção de CO_2.

Assim, assinale a alternativa correta que diz respeito aos limiares ventilatórios.

a) Limiar ventilatório 1 e máxima fase estável de lactato.
b) Limiar de esforço percebido e limiar ventilatório 2.
c) Limiar ventilatório e limiar anaeróbio individual.
d) Limiar de lactato e limiar anaeróbio.
e) Limiar ventilatório 1 e 2.

3. O uso da percepção subjetiva de esforço (PSE) se deve mostrar um método interessante, não-invasivo e de baixíssimo custo operacional para estimar o limiar de esforço percebido (LEP). Para isso, a metodologia irá utilizar a escala de PSE de Borg de 15 pontos (6-20) em testes de carga constante até exaustão.

Assinale a alternativa correta que diz respeito ao limiar de esforço percebido (LEP).

a) É a intensidade do exercício em que a produção e remoção das concentrações de lactato são equilibradas.
b) É a intensidade do exercício em que a taxa de aumento da PSE seria igual a zero.
c) É a intensidade do exercício em que a taxa de ventilação sofre quebre da linearidade.
d) É a intensidade do exercício em que as concentrações da lactato sofre súbito aumento acima de 2 mmol/L.
e) É a intensidade do exercício em que as concentrações da lactato atingem o valor de 4 mmol/L.

Seção 3.3

Sistema endócrino: organização e respostas agudas e crônicas ao exercício físico

Diálogo aberto

Durante o ano letivo em que realizou seu estágio na escola juntamente com a professora Helena, Joana percebeu que o desempenho e desenvolvimento físico e motor entre os alunos de 12 a 15 anos apresentavam mais diferenças individuais. A professora Helena explicou que isso era esperado por questões de maturidade sexual e por questões hormonais, mas não explicou o motivo dessas diferenças. Desta forma, como podemos ajudar Joana que ficou curiosa em saber, como os fatores fisiológicos hormonais exercem tanta influência nas questões no desempenho físico e motor dos alunos em questão?

Não pode faltar

Organização geral do sistema endócrino

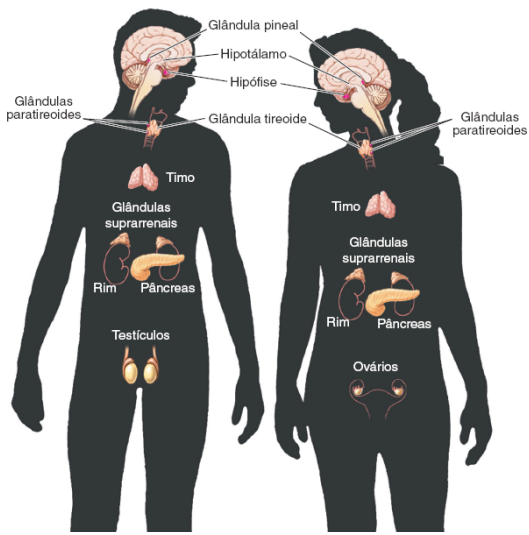
Os hormônios exercem papel importante na regulação das funções corporais e celulares atuando como mensageiros através do sistema endócrino, formado por órgão hospedeiro (glândulas), hormônios e órgão alvo (receptor). Existem vários tipos de mensageiros químicos, relacionadas à função endócrina, como:

- **Neurotransmissores**, que são moléculas sinalizadoras liberadas por neurônios atuando em funções de células alvo.
- **Hormônios endócrinos**, que são liberados por glândulas ou células na corrente sanguínea auxiliando as funções corporais e celulares de diferentes locais do corpo.
- **Substâncias neuroendócrinas**, que são hormônios secretados células nervosas (neurônios) no sangue para influenciar nas funções de células alvo em regiões distantes.
- **Substâncias parácrinas** são substâncias secretadas pelas células e que afetam células e regiões vizinhas.

- **Substâncias autócrinas** são substâncias secretadas pelas células regulando suas próprias funções por ligarem com seus receptores.
- **Citocinas** são peptídeos secretados pelas próprias células para realizar funções autócrinas, parácrinas e endócrinas.

As glândulas são classificadas como **endócrinas** (sem ductos e secretam substâncias e moléculas que são lançadas no meio extracelular, transportadas pelo sangue até seus receptores específicos) e **exócrinas** (com ductos que liberam suas substâncias em uma área específica ou na superfície, controladas pelo sistema nervoso, como as glândulas sudoríparas) (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE; KACTH & KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014). Os órgãos endócrinos ou glândulas do corpo humano é representada na Figura 3.15.

Figura 3.15 | Principais glândulas endócrinas e órgãos que sintetizam hormônios



Fonte: Kraemer, Fleck e Dechenes (2016, p. 216).

Os hormônios e substâncias endócrinas podem afetar células distintas que se liguem aos seus receptores. As funções corporais influenciadas pelos hormônios são mais comuns de serem observadas no metabolismo, como nos processos sexuais e de reprodução, no crescimento físico e tecidual, a regulação dos fluídos, na produção e degradação de proteínas e até mesmo em

comportamentos, por exemplo no estado de humor (McARDLE; KACTH & KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013). Eles são classificados em três tipos ou classes, sendo:

- **Peptídeos**, que são secretados pela hipófise anterior e posterior, hipotálamo, pâncreas (ex: insulina e glucagon) e glândula paratireoide (ex: paratormônio).
- **Esteroides** são hormônios que, a partir do colesterol são secretados pelo córtex adrenal (cortisol e aldosterona), ovários (estrogênio e progesterona), testículos (testosterona) e placenta (estrogênio e progesterona) e são lipossolúveis e se ligam a receptores presentes no citoplasma ou núcleo das células alvo.
- **Derivados do aminoácido tirosina ou grupo aminas**, que são secretados pela tireoide (ex: tiroxina-T4 e triiodotironina T3) e pela medula adrenal (epinefrina e norepinefrina).

A síntese dos hormônios proteicos/peptídicos (solúveis em água) ocorre no retículo endoplasmático rugoso. Depois disso, a molécula hormonal vai para o complexo de Golgi, sendo empacotada em grânulos como pró-hormônio, podendo conter enzimas para modificação adicional do hormônio. Posteriormente, a célula endócrina, quando estimulada, secreta os grânulos para o meio extracelular por exocitose, com uma meia vida curta (cerca de minutos).

A síntese dos hormônios esteroides (pouco solúveis no plasma), por sua vez, ocorre a partir do colesterol (parte estocada na circulação ou formado pelo acetato), sem que haja armazenamento no citosol das células endócrinas. Na circulação, os hormônios esteroides, são transportados por proteínas específicas transportadoras ou com a albumina. As respostas na célula alvo são mediadas por ação de mensageiros intracelulares, como o papel de um hormônio que reage com a enzima adenilato ciclase na membrana plasmática formando o composto 3'5'-adenosina monofosfato cíclico (AMP cíclico). Um exemplo disso é a influência da insulina alterando a função celular e da membrana plasmática facilitando a captação de glicose. O AMP cíclico, como mensageiro intracelular induz a uma modificação de funções intracelular. Um outro exemplo, no sistema ósseo e muscular, é que o AMP cíclico pela ligação do hormônio do crescimento sinaliza funções anabólicas para produção de proteínas (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE; KACTH & KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014).

Algumas doenças são caracterizadas por deficiência hormonal e tratadas por procedimentos cirúrgicos, com extratos glandulares ou com o uso de hormônios sintéticos, como: a diabetes *melitus* (deficiência de insulina), o hipotireoidismo e doença de Addison (deficiência adrenocortical) entre outras (McARDLE, KACTH, KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013).

Respostas hormonais e crescimento físico

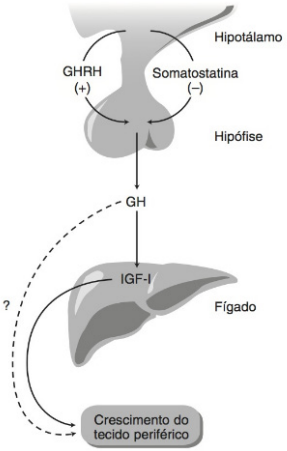
O hormônio do crescimento (GH, do inglês *Growth Hormone*) ou somatotrofina, durante o repouso é sintetizado na hipófise anterior, pela influência da secreção de hormônio liberador do hormônio do crescimento (GHRH) pelo hipotálamo, promovendo a função anabólica no organismo. Porém, a secreção do GH pode ser controlada e inibida com a liberação de somatostatina (McARDLE; KACTH & KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS; HOWLEY, 2014).

As funções no organismo da liberação de GH são:

- Promover o crescimento linear estimulando as cartilagens das epífises ósseas nos ossos longos, além de promover a liberação de proteínas nos tecidos.
- Promover a captação de aminoácidos e a síntese de proteínas novas.
- Promover a depleção de gordura (efeito lipolítico) como substrato energética por maior mobilização de ácidos graxos dos adipócitos.
- Promover o aumento da massa muscular.
- Promover a redução da captação da pelas células do tecido adiposo.
- Redução na captação e a utilização de glicose sensíveis à insulina (ex: músculo esquelético e tecido adiposo).
- Promover aumento da concentração plasmática de glicose, secreção e resistência de insulina.
- Desencadear fatores de crescimento, semelhantes à insulina (IGF), liberados pelo fígado.

A influência do eixo GH/IGF-1 sobre o processo de crescimento físico pode ser exemplificado na Figura 3.16.

Figura 3.16 | Figura ilustrativa do eixo GH/IGF-1



Fonte: Rowland (2008, p. 23).

As concentrações de GH se mostram mais elevadas no período de sono do que em vigília. Outro fator importante é que em crianças pré-púberes as concentrações de GH são menores do que crianças púberes (KAEMER, FLECK, DESCHENES, 2016; McARDLE, KACTH, KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS, HOWLEY, 2014; ROWLAND, 2008).

Secreção hormonal em repouso e induzidas pelo exercício

A secreção hormonal ocorre nas glândulas e nos órgãos, que podem ser estimulados ou inibidos de forma aguda durante a realização de exercícios físicos. Na Tabela 3.2 podemos observar uma relação geral quanto a localização, o hormônio, a célula alvo e seu efeito principal. Acesse Tabela 3.2 clicando no link a seguir: <https://bit.ly/2JODKJ8>.

Assimile

A testosterona é um hormônio anabólico, androgênio, de grande importância para o corpo humano, principalmente para homens (ex: puberdade). A testosterona no sangue na sua maioria se liga com a globulina ligada a hormônios sexuais (SHBG). Na sua forma livre, a testosterona se liga com receptores das células-alvo (ex: músculo esquelético e vários neurônios). A função da testosterona nos homens é provocar espermatogênese; nas mulheres, em quantidades menores (cerca de 10 a 40 vezes menor do que

os homens), a testosterona é produzida nos ovários e córtex da suprarrenal, mas se mostram mais sensíveis às quantidades menores produzidas. A testosterona pode exercer papel importante para adaptações musculares com o treinamento, mas a concentração de testosterona no sangue irá depender da ligação ao receptor que determina a capacidade do hormônio na célula alvo. Existem várias funções adicionais da testosterona, como: tensão, energia, aglutinação de plaquetas, excitação sexual, função do ciclo menstrual e seu papel na clássica resposta adrenérgica de 'luta ou fuga' (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Diabetes e Síndrome Metabólica

A diabetes pode ser classificada como tipo 1 (insuficiência absoluta de insulina presentes no início da vida) e tipo 2 (diabetes *melitus*: resistência ou deficiência insulínica adquirida ao longo da vida por influência da obesidade, dieta e estilo de vida sedentário). A diabetes do tipo 1, é mais difícil de ser observada, mas seus pacientes são tratados com insulina. O diabetes tipo 2, em geral, é tratado com mudanças no padrão alimentar, exercício físico e medicamentos nos casos mais severos. Os sintomas e manifestações da diabetes podem ser observador por: glicose na urina (glicosúria), micção frequente (poliúria), sede excessiva (polidipsia), fome extrema (polifagia), perda de peso inexplicável, aumento da fadiga, irritabilidade, visão borrada, dormência ou formigamento nas extremidades (mãos, pés), feridas ou úlceras de cicatrização lenta, frequência anormalmente alta de infecções (KAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE; KACTH & KACTH, 2016).

Reflita

Essas são formas de reduzir as chances de desenvolver o Diabetes Melitus: perder o excesso de peso especialmente indivíduos com gordura abdominal; exercitar-se regularmente; eliminar gorduras trans e aumentar a ingestão de gorduras poli-insaturadas e de ácidos graxos ômega-3; reduzir carga glicêmica; reduzir a ingestão de carboidratos refinados e refrigerantes, bem como aumentar a ingestão de pães, cereais e grãos integrais ricos em fibra; aumentar a ingestão de verduras e frutos inteiros; restringir a ingestão de alimentos ricos em ferro (p. ex., carnes vermelhas e processadas) e substituí-los por alimentos sem ferro, como plantas e hortaliças; manter consumo moderado de café e bebidas alcoólicas (MCARDLE, KACTH, KACTH; 2016).

A Síndrome Metabólica é uma doença dos tempos modernos que tem alta relação com fatores de risco, como: baixos níveis de atividade física, excesso de peso/obesidade e acúmulo de gordura abdominal, pressão arterial elevada, estresse, etc. O diagnóstico se dá por três ou mais dos cinco fatores listados a seguir: 1) Glicose sanguínea elevada (glicose em jejum ≥ 110 mg/dl); 2) Sobrepeso com circunferência grande da cintura: homens> 102 cm; mulheres > 88 cm); 3) Nível alto de triacilglicerol (≥ 150 mg/dl); 4) Níveis baixos de HDL-colesterol (homens < 40 mg/dl; mulheres < 50 mg/dl); 5) Hipertensão arterial (> 130/> 85 mmHg).

A Síndrome Metabólica provoca maior risco de doenças cardiovasculares, diabetes tipo 2, doença de Alzheimer e mortalidade devida a todas as causas. Além disso, a presença e o desenvolvimento da síndrome metabólica estão relacionados com fatores genéticos, hormonais, obesidade, sedentarismo e excesso de nutrientes, incluindo altas ingestões de ácidos graxos saturados e gorduras trans (McARDLE; KACTH & KACTH, 2016).

Exemplificando

Classificação para a glicose sanguínea em jejum, importantes para avaliação da resistência insulínica, diabetes e Síndrome Metabólica.

Normal: < 110 mg/dl;

Variação alterada: 110 a 125 mg/dl;

Suspeita de diabetes: > 125 mg/dl.

(MCARDLE; KACTH & KACTH, 2016).

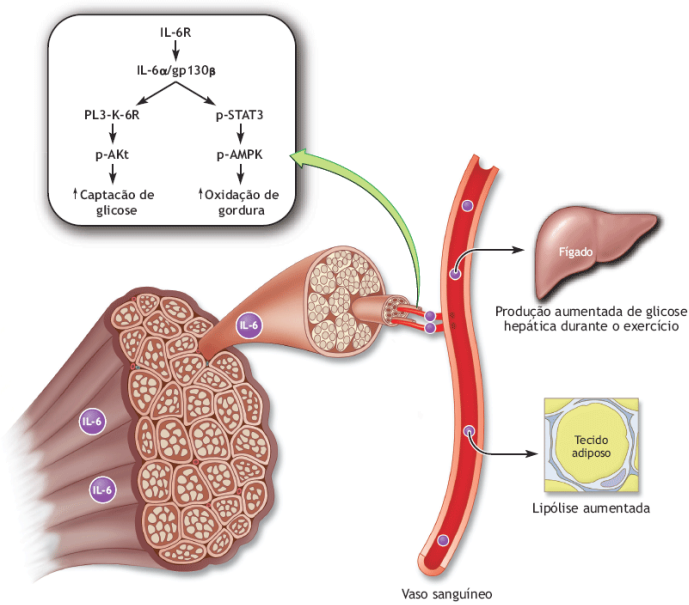
Respostas hormonais ao treinamento físico

O exercício físico promove a elevação acentuada de GH, o que beneficia o crescimento dos músculos, dos ossos e dos tecidos conjuntivos. No fígado, O GH estimula os fatores do crescimento semelhantes à insulina (IGF-1 e IGF-2), que apresentam uma semelhança estrutural com a insulina. Isso resulta no aumento na síntese de proteínas, levando uma resposta de aumento de força e de hipertrofia muscular pelas vias anabólicas no músculo. Os fatores que exercem influência no transporte dos IGF são proteínas fixadoras

nos músculos, o estado nutricional e os níveis de insulina plasmática (KRAEMER, FLECK, DESCHENES, 2016; McARDLE, KACTH, KACTH, 2016; PITHON-CURI, 2013; POWERS, HOWLEY, 2014).

O músculo esquelético, também age como órgão endócrino durante a realização de exercícios físicos que induzem respostas fisiológicas e metabólicas elevadas (ex: concentrações de lactato e íons de hidrogênio), o músculo sinaliza um fator humoral por liberar citocinas. Essa resposta estimula o metabolismo de outros tecidos e órgãos. As citocinas secretadas pelos músculos, são conhecidas como miosinas e têm efeitos autócrinos (quando as células secretam seus hormônios para si mesmo), parácrinos (quando a célula secreta hormônios para as células vizinhas) e endócrinos (quando células ou glândulas secretam seus hormônios na corrente sanguínea). Um exemplo importante é a citosina interleucina 6 (IL-6), que é imediatamente aumentada na contração muscular, facilitando o fornecimento e utilização de glicose e taxa de lipólise para o exercício físico, como ilustrado na Figura 3.17 (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE; KACTH & KACTH, 2016).

Figura 3.17 | Representação ilustrativa sobre a influência da secreção da interleucina 6 (IL-6) pelo músculo esquelético para captação e na taxa de lipólise

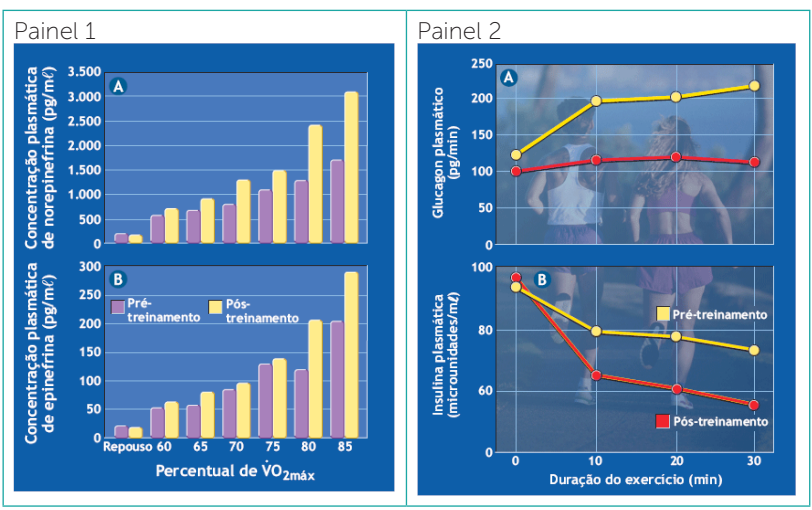


Fonte: McArdle, Katch e Kacth, (2016, p. 445).

A secreção da IL-6 pode influenciar em outros efeitos, associados ao treinamento, como no treinamento de força/resistido muscular. Uma elevação da IL-6 relacionada à contração muscular, parece ter duas importantes funções: estimular a resposta hipertrófica pela mobilização de células satélites e de fatores miogênicos no músculo (SERRANO et al.; 2008), além de inibir as vias de sinalização pró-inflamatórias (CALLE, FERNANDEZ; 2010).

O treinamento físico (treinamento de resistência aeróbia), pode promover maiores adaptações quanto a secreção de hormônios durante o exercício, do que em repouso. Um exemplo é ilustrado na Figura 3.18 com relação aos hormônios que estimulam a via adrenérgica pela influência do SNA simpático sobre a glândula suprarrenal, que resultam em maior trabalho cardíaco, ativa o metabolismo e depleção de glicogênio e gorduras (McARDLE; KACTH & KACTH, 2016).

Figura 3.18 | Concentrações de norepinefrina (Painel 1-A) e epinefrina (Painel 1-B) plasmáticas em repouso e em exercício (15 minutos) com a mesma intensidade relativa (%VO_2máx) antes e depois de 10 semanas de treinamento aeróbio. Efeitos do treinamento nas respostas do glucagon (Painel 2-A) e da insulina (Painel 1-B) plasmáticos ao exercício antes e após 20 semanas de treinamento aeróbico



Fonte: McArdle, Katch & Kacth (2016, p. 449).

Outros hormônios sensíveis e/ou importantes no treinamento físico de forma aguda são: cortisol e aldosterona. O cortisol (hormônio do estresse) apresenta uma variação por influência do ciclo circadiano em

humanos, quando há um pico de cortisol após o despertar da manhã (próximo das 8h da manhã) e diminuindo logo em seguida ao longo do dia. Porém o cortisol aumenta menos em sujeitos que são treinados do que em sedentários, durante o exercício. O cortisol exerce influência nas adaptações de hipertrofia e da hiperplasia celular observadas com treinamento intenso. A liberação do cortisol na glândula suprarrenal ocorre pelo eixo hipotálamo-hipófise-adrenal, por influência da secreção de hormônio adrenocorticotrófico (ACTH). Já a aldosterona, está relacionada com o mecanismo do sistema renina-angiotensina-aldosterona que controla volumes dos líquidos corporais, dos eletrólitos e da pressão arterial de forma aguda e crônica, mas sem grandes mudanças nos níveis de repouso com o treinamento (KRAEMER, FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE; KACTH & KACTH, 2016).

Pesquise mais

Saiba mais sobre regulação do sistema endócrino e sua relação com o exercício acessando aos vídeos abaixo:

<https://youtu.be/m6ZMPeHGPwY>.

<https://youtu.be/gfj-UUw6mYI>.

<https://youtu.be/-W3jZHDaNTo>.

<https://youtu.be/FWTWNJFljU0>.

<https://youtu.be/o303pDCe74E>.

<https://youtu.be/S7iAOViYMy8>.

<https://youtu.be/bfYTfHmPDFU>.

Acesso em: 14 ago. 2018.

Sem medo de errar

Durante o ano letivo em que realizou seu estágio na escola juntamente com a professora Helena, Joana percebeu que o desempenho, e desenvolvimento físico e motor entre os alunos de de 12 a 15 anos apresentavam mais diferenças individuais. A professora Helena explicou que isso era esperado por questões de

maturidade sexual e por questões hormonais, mas não explicou o motivo dessas diferenças. Desta forma, como podemos ajudar Joana que ficou curiosa em saber, como os fatores fisiológicos hormonais exercem tanta influência nas questões no desempenho físico e motor dos alunos em questão?

Em crianças, o processo de crescimento irá ocorrer de forma individualizada. Alguns entrarão na puberdade de forma mais precoce que outros. Mas já àqueles adolescentes que estão na fase de puberdade, o desempenho físico e motor tenderá ser maior, devido a maior secreção de hormônios relacionados com o processo de crescimento, como o eixo GH/IGF-1 e de hormônios de características sexuais, principalmente a testosterona nos meninos.

Avançando na prática

Evitando a diabetes tipo 2

Descrição da situação-problema

Descrever quais são as ações que estão relacionadas à promoção de uma ação protetiva que os indivíduos reduzam as chances de desenvolverem diabetes tipo 2.

Resolução da situação-problema

Essas são formas de reduzir as chances de desenvolver o diabetes *melitus* e o de tipo 2: perder o excesso de peso especialmente indivíduos com gordura abdominal, exercitar-se regularmente, eliminar gorduras trans e aumentar a ingestão de gorduras poli-insaturadas e de ácidos graxos ômega-3, reduzir carga glicêmica, reduzir a ingestão de carboidratos refinados e refrigerantes, bem como aumentar a ingestão de pães, cereais e grãos integrais ricos em fibra. Além de aumentar a ingestão de verduras e frutos inteiros, restringir a ingestão de alimentos ricos em ferro (carnes vermelhas e processadas) e substituí-los por alimentos sem ferro, como plantas e hortaliças, e manter o consumo moderado de café e bebidas alcoólicas.

Faça valer a pena

1. Os hormônios são substâncias endócrinas e podem afetar células distintas que se ligam aos seus receptores, sendo classificados de três diferentes tipos.

Assinale a alternativa correta sobre a classificação dos tipos de hormônios.

a) Proteolíticos, esteroides e derivados do carboidrato tirosina ou grupo aminas.
b) Peptídeos, esteroides e derivados do aminoácido tirosina ou grupo aminas.
c) Peptídeos, esteroides e derivados do carboidrato tirosina ou grupo ácido graxo.
d) Protéicos, estiloides e derivados do aminoácido tirosina ou grupo aminas.
e) Proteolíticos, esteroides e derivados do aminoácido tirosina ou grupo ácido graxo.

2. O hormônio do crescimento (GH, do inglês *Growth Hormone*), ou somatotrofina, é sintetizado na hipófise anterior, em repouso pela influência da secreção de hormônio liberador do hormônio do crescimento (GHRH) pelo hipotálamo, promovendo a função anabólica no organismo. Porém, a secreção do GH pode ser controlada e inibida com a liberação de somatostatina. Assim, analise as seguintes assertivas.

I) Promover o crescimento linear estimulando as cartilagens das epífises ósseas nos ossos longos, promover a liberação de proteínas nos tecidos.
II) Promover o aumento da massa muscular.
III) Desencadear fatores de crescimento, como os fatores de crescimento semelhantes à insulina (IGF), liberados pelo fígado.

Assinale a alternativa correta ao analisar as assertivas.

a) As assertivas I, II e III estão corretas.
b) Somente a assertiva I está correta.
c) Somente a assertiva II está correta.
d) Somente a assertiva III está correta.
e) Somente as assertivas I e II estão corretas.

3. A diabetes pode ser classificada como do tipo 1(insuficiência absoluta de insulina presentes no início da vida) e tipo 2 (diabetes *melitus*: resistência ou deficiência insulínica adquirida ao longo da vida por influência da obesidade, dieta e estilo de vida sedentário). Quais são os sintomas e manifestações da diabetes sobre um indivíduo?

Assinale a alternativa correta.

a) Feridas ou úlceras de cicatrização lenta, frequência anormalmente alta de infecções, glicose no sangue em baixas concentrações (glicosúria), micção tardia (poliúria), dificuldade de sentir sede (polidipsia), ausência de forme (polifagia), ganho de peso inexplicável, resistente a fadiga, irritabilidade.
b) Glicose no sangue em baixas concentrações (glicosúria), micção tardia (poliúria), sede excessiva (polidipsia), ausência de fome (polifagia), ganho de peso inexplicável, aumento da fadiga, irritabilidade, visão borrada, dormência ou formigamento nas extremidades (mãos, pés).
c) Sonolência e respiração lenta, proteínas na urina (glicosúria), dificuldade de urinar (poliúria), falta de sede (polidipsia), sem fome (polifagia), ganho de peso inexplicável, resistência a fadiga, visão borrada, vermelhidão nas extremidades (mãos, pés), feridas ou úlceras de cicatrização rápida, frequência cardíaca alta.
d) Glicose na urina (glicosúria), micção frequente (poliúria), sede excessiva (polidipsia), fome extrema (polifagia), perda de peso inexplicável, aumento da fadiga, irritabilidade, visão borrada, dormência ou formigamento nas extremidades (mãos, pés), feridas ou úlceras de cicatrização lenta, frequência anormalmente alta de infecções.
e) Nenhuma das anteriores.

Referências

ALBERT, A. E.; SEPS, B.; BECKERS, F. Heart Rate Variability in Athlete. **Sports Medicine**, v. 33, n. 12, p. 889-919, 2003.

BORG, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine Science and Sports and Exercise**, v. 14, n. 5, p. 377-381, 1982.

CALLE, M. C.; FERNANDEZ, M. L. Effects of resistance training on the inflammatory response. **Nutr Res Pract**, v. 4, n. 4, p. 259-69, 2010.

DENADAI, B. S. Limiar anaeróbio: considerações fisiológicas e metodológicas. **Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde**, v. 1, n. 2, p. 74-88, 1995.

FARRELL, P. A. et al. Plasma lactate accumulation and distance running performance. **Medicine and Science in Sports**, v. 11, n. 4, p. 338-344, 1979.

HECK, H. et al. Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 6, n. 3, p. 117-130, 1985.

GAESSER, G. A.; POOLE, D. C. Lactate and ventilatory thresholds: disparity in time course of adaptations to training. **Journal of Applied Physiology**, v. 61, n. 3, p. 999-1004, 1986.

GAESSER, G. A.; POOLE, D. C. The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v. 24, n. 1, p. 35-70, 1996.

KINDERMANN, W.; SIMON, G.; KEUL, J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 42, n. 1, p. 25-34, 1979.

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; DESCHENES. M. R. **Fisiologia do exercício**: teoria e prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

LUCAS, R. D. D. et al. Comparação das intensidades correspondentes ao lactato mínimo, limiar de lactato e limiar anaeróbio durante o ciclismo em atletas de endurance. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, p. 172-179, 2000.

LUCÍA, A. et al. Physiological differences between professional and elite road cyclists. **International Journal of Sports Medicine**, v. 19, n. 5, p. 342-348, 1998.

McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício**: nutrição, energia e desempenho humano. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

MCLELLAN, T. M. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods. **International Journal of Sports Medicine,** v. 6, n. 1, p. 30-35, 1985.

NAKAMURA, F. Y. et al. O limiar de esforço percebido (LEP) corresponde à potência crítica e a um indicador de máximo estado estável de consumo de oxigênio. **Revista Brasileira de Medicina Do Esporte**, p. 197-202, 2005.

PITHON-CURI. T. C. **Fisiologia do exercício**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício**: teoria e aplicação ao

condicionamento e ao desempenho. 8. ed. Barueri: Manole, 2014.

ROWLAND, T. W. **Fisiologia do exercício na criança**. 2. ed. Barueri: Manole, 2008.

SERRANO, A. L. et al. Interleukin-6 is an essential regulator of satellite cell-mediated skeletal muscle hypertrophy. **Cell Metabolism**, v. 7, n. 1, p. 33-44, 2008.

SJÖDIN, B.; JACOBS, I. Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. **International Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 1, p. 23-26, 1981.

STEGMANN, H.; KINDERMANN, W.; SCHNABEL, A. Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. **International Journal of Sports Medicine**, v. 2, n. 3, p. 160-165, 1981.

TASK FORCE OF THE EUROPEAN SOCIETY OF CARDIOLOGY et al. Heart rate variability, standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. **Circulation**, v. 93, p. 1043-1065, 1996.

TEGTBUR, U. W. E.; BUSSE, Martin W.; BRAUMANN, K. M. Estimation of an individual equilibrium between lactate production and catabolism during exercise. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 25, n. 5, p. 620-627, 1993.

URHAUSEN, A.; WEILER, B.; COEN, B.; KINDERMANN, W. Plasma catecholamines during endurance exercise of different intensities as related to the individual anaerobic threshold. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 69, n. 1, p. 16-20, 1994.

VILLARES, S. M. F. et al. **Obesidade infantil e exercício físico**. In: NEGRÂO, C. E.; BARRETO, A. C. P. (editores). 3. Ed., p. 429-449. 2010.

WASSERMAN, Karlman et al. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 35, n. 2, p. 236-243, 1973.

WILLIAMS, Joanne R.; ARMSTRONG, Neil. Relationship of maximal lactate steady state to performance at fixed blood lactate reference values in children. **Pediatric Exercise Science**, v. 3, n. 4, p. 333-341, 1991.

Adaptações fisiológicas para saúde e desempenho

Convite ao estudo

Caro aluno, nesta unidade estudaremos as adaptações fisiológicas para saúde e desempenho, aprofundando os assuntos que serão abordados nas seções, relacionados a: exercício físico e estresse ambiental; considerações aplicadas e testes de esforço para saúde e desempenho; e exercício físico em populações especiais.

Neste caso, será apresentada a seguinte situação geradora de aprendizagem, contextualizando um sujeito que é um atleta corredor amador de meia idade.

Antônio é um corredor amador que tem 55 anos. Já há algum tempo ele vem se preparando fisicamente para competir uma prova de maratona na cidade de Manaus. O professor Marcelo, que é o preparador físico de Antônio e o acompanha nas sessões de treinamento e condicionamento de força e resistência aeróbia, lembra a ele que é importante manter-se bem alimentado antes da prova, além de se hidratar durante a corrida, pois a cidade de Manaus é um lugar onde faz muito calor e também de muita umidade relativa do ar. Neste sentido, vamos ajudar o professor Marcelo a orientar seu aluno Antônio sobre os fatores fisiológicos que explicam por que é necessário ter maior atenção ao realizar a corrida em ambiente quente e úmido, além de se preocupar com a questão da idade?

Seção 4.1

Exercício físico e estresse ambiental

Diálogo aberto

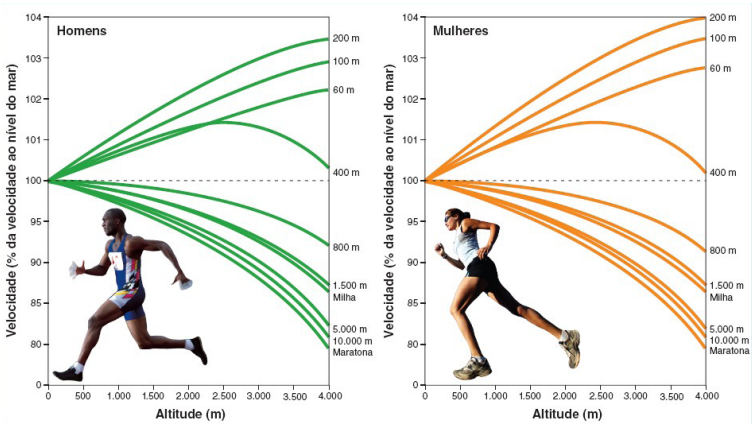
Em uma corrida de maratona a ser realizada por Antônio na cidade de Manaus, que é um lugar de muito calor e umidade, o professor Marcelo sabe que o organismo do corredor irá se ajustar fisiologicamente ao ambiente de estresse térmico. Sendo assim, como podemos ajudá-lo a orientar as estratégias nutricionais básicas durante a corrida de maratona que façam com que Antônio suporte o estresse térmico e tenha um bom desempenho e saúde durante a prova?

Não pode faltar

Desafios ambientais ao treinamento físico

Na fisiologia do exercício, as condições ambientais influenciam diversas respostas e adaptações fisiológicas agudas e crônicas importantes, sejam na atividade física habitual ou em uma sessão de treinamento físico ou competição, exercícios físicos de características anaeróbias ou aeróbias. Neste caso, destacamos as influências das condições ambientais sobre o exercício físico realizado com estresse térmico (frio e calor) – que será aprofundado nos tópicos a seguir – na altitude, como exemplificado na Figura 4.1, em mergulho de profundidade e microgravidade (McARDLE; KACTH; KACTH, 2016). Por uma questão de prioridade e importância ao profissional de Educação Física, vamos enfatizar nesta unidade os aspectos relacionados aos mecanismos fisiológicos acionados no exercício físico sob influência do estresse térmico, seja no ambiente frio ou no quente.

Figura 4.1 | Influência da altitude no desempenho de prova do atletismo de características anaeróbias e aeróbias em atletas homens e mulheres

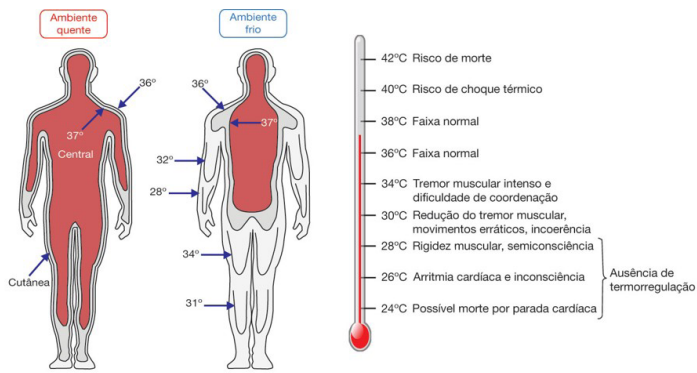


Fonte: Kraemer; Fleck; Deschenes (2016, p. 325).

Equilíbrio térmico durante o exercício físico em ambientes hostis

O corpo humano apresenta mecanismos fisiológicos de produção e perda de calor que são sempre acionados para manutenção da temperatura corporal em repouso próximo a 37 ºC, suportando uma maior variação de perda de calor (~10 ºC) em regiões mais periféricas, com impacto maior do que a tolerância à elevação de temperatura (~5 ºC). Assim, atingir a temperatura corporal próxima ou acima de 42 ºC poderá levar o indivíduo a óbito (McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Figura 4.2 | Variações de temperatura corporal nos ambientes quente e frio (A); efeitos da variação da temperatura e da faixa de segurança fisiológica no corpo (B)



Fonte: Pithon-Curi (2013, p. 202).

O calor no corpo humano é transportado pelo sangue via sistema vascular. Nas situações de calor, o sangue é direcionado para as regiões periféricas para liberar o calor para o ambiente. Quando na situação de frio, o sistema vascular concentra o sangue na região dos órgãos para manter a temperatura interna próximo a 37 ºC (ver Figura 4.2). Segundo os autores McArdle, Katch e Kacth (2016, p. 631), sobre a temperatura e a importância de conhecer os fatores que podem contribuir para o acúmulo de calor no corpo com a prática de esportes:

> **O calor no corpo humano é transportado pelo sangue via sistema vascular. Nas situações de calor, o sangue é direcionado para as regiões periféricas para liberar o calor para o ambiente. Quando na situação de frio, o sistema vascular concentra o sangue na região dos órgãos para manter a temperatura interna próximo a 37 ºC (ver Figura 4.2). Segundo os autores McArdle, Katch e Kacth (2016, p. 631), sobre a temperatura e a importância de conhecer os fatores que podem contribuir para o acúmulo de calor no corpo com a prática de esportes:**

Pesquise mais

Para compreender melhor sobre os riscos associados à prática de exercícios físicos no calor, leia o artigo *Hipertermia durante a prática de exercícios físicos: riscos, sintomas e tratamento.* Disponível em: <https://bit.ly/2KFsRsJ>. Acesso em: 17 set. 2016.

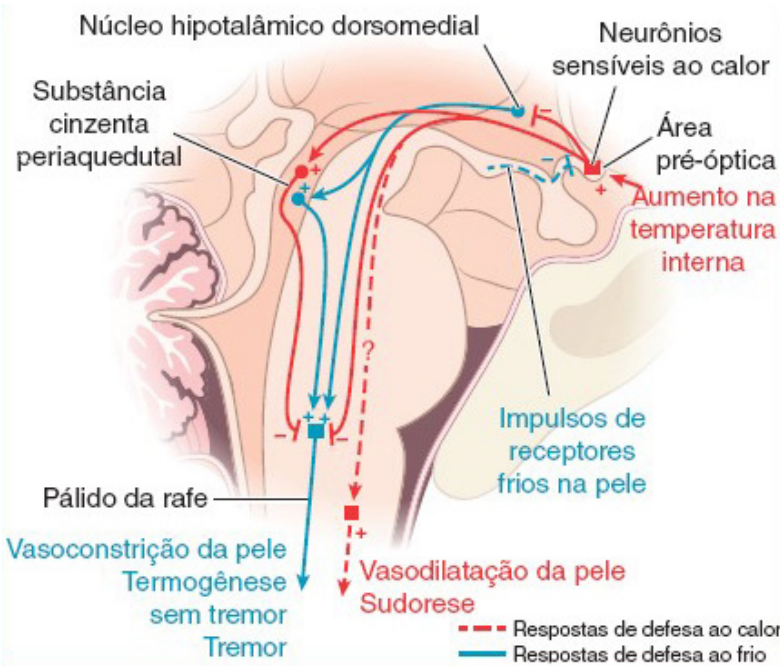
Durante o exercício físico, ocorre uma maior taxa de contração do músculo esquelético e, consequentemente, a quebra da molécula de ATP e de reações exergônicas que geram calor. Isso faz com que o corpo humano aumente a sua temperatura interna, obrigando o funcionamento de vários mecanismos de resfriamento e perda de calor. Os ambientes hostis, por exemplo excesso de temperatura e grande umidade relativa do ar, fazem com que os mecanismos de perda de calor não ocorram como deveriam, sobretudo se o indivíduo não utiliza roupas adequadas para o exercício físico. Neste caso, obrigatoriamente o indivíduo se sentirá forçado a reduzir a intensidade de exercício e aumentar a ingestão de líquidos, para

evitar o risco de intermação, que pode levar à morte (POWERS; HOWLEY, 2014; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016).

Regulação hipotalâmica no controle da temperatura

O controle da temperatura corporal ocorre no hipotálamo, que atua como um termostato. Desta forma, o hipotálamo realiza ajustes em respostas que são direcionadas para proteger o corpo humano do acúmulo ou da perda de calor, ativados por receptores térmicos cutâneos (na pele) e da cavidade peritoneal (abdominal), que enviam informações para a área de controle central. Essas respostas podem refletir no aumento da taxa de funcionamento cardiovascular, como elevação da frequência cardíaca e débito cardíaco, aliado a um aumento da vasodilatação e de estímulos de aumento da sudorese, para promover a perda de calor. Para resfriar o corpo, respostas de termogênese e vasoconstrição serão observadas e controladas pelo hipotálamo (ver Figura 4.3).

Figura 4.3 | Regulação da temperatura no hipotálamo por mecanismos de feedback



Fonte: Kraemer; Fleck; Deschenes (2016, p. 333).

Assimile

Para assimilar os mecanismos de controle da temperatura no corpo, assista ao vídeo sobre termorregulação. Disponível em: <https://youtu.be/13CiKXYqSZI>. Acesso em: 26 jun. 2016.

Termorregulação no frio: mecanismos de conservação de calor

A transferência de calor do corpo para o ambiente em geral ocorrer de forma natural e sem grandes demandas fisiológicas. Porém, em ambientes de frio extremo, o corpo pode perder muito calor. Assim, nesta situação o nosso corpo lança mão de mecanismos fisiológicos para aumentar a retenção e a produção de calor pelo corpo. Esse aumento da retenção e produção de calor poderá ocorrer por termogênese sem ou com tremores.

As respostas de **termogênese sem tremor** ocorrem por ajustes vasculares, promovendo vasoconstrição para reduzir o fluxo de sangue nas regiões periféricas, mantendo a circulação sanguínea na região central. Além disso, na termogênese sem tremor poderá ocorrer um aumento de produção de hormônios calorigênicos (epinefrina e norepinefrina), que elevam a produção de calor na exposição ao frio, e, em exposição ao frio prolongado, também haverá uma maior liberação de tiroxina (hormônio tireoideo), que acelera o metabolismo em repouso.

A **termogênese com tremor** é observada com o aumento da atividade simpática, resultando em contração muscular de forma involuntária, os famosos "calafrios", que aumentam a produção de calor pelo corpo e o metabolismo de repouso. Assim, com um aumento da contração muscular, há também a ereção dos pelos do corpo (piloereção) para reduzir a perda de calor para o ambiente. Além disso, há uma mudança comportamental na busca de reduzir a área de superfície corporal em exposição ao ambiente e de locais mais quentes.

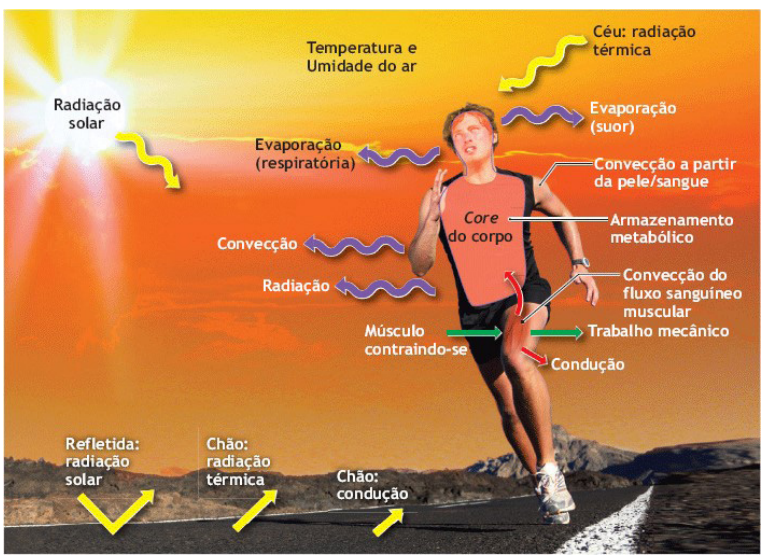
A perda de calor da temperatura corporal central (TcC) abaixo de 36 °C, quando em exposição ao frio, impacta negativamente em várias respostas fisiológicas (de forma leve, entre 36 °C e ~33,5 °C; moderada, entre 33 °C e ~27 °C; e grave, entre 27 °C e 9° C), causando a hipotermia, que poderá levar à morte. Quanto ao desempenho nas situações de exercício físico, o uso

de roupas e vestimentas por parte dos praticantes faz com que a T_cC se mantenha normal, permitindo a manutenção das funções fisiológicas e do desempenho físico. Entretanto, se houver queda da T_cC, o desempenho cardiovascular e de resistência aeróbia sofre prejuízos, e uma estratégia para melhorar a tolerância aos exercícios físicos realizados no frio tem sido a aclimatação por meio de treinamento com exposição a baixas temperaturas (POWERS; HOWLEY, 2014; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016; KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Termorregulação no calor: mecanismos de perda de calor

Para se proteger do excesso de temperatura pelo corpo, os mecanismos de perda de calor serão acionados com diferentes graus de importância, a depender das situações, se: em repouso, em exercício e pela umidade relativa do ar. Os mecanismos de perda de calor farão o papel de dissipar o calor para o meio ambiente por: radiação, condução, convecção e evaporação (POWERS; HOWLEY, 2014; McARDLE; KATCH; KATCH, 2016) (ver Figura 4.4).

Figura 4.4 | Mecanismos de produção de calor durante o exercício físico em condições ambientais apropriadas



Fonte: Mcardle; Katch; Katch (2016, p. 635).

A perda de calor por **radiação** ocorre mediante a emissão de ondas térmicas contínuas eletromagnéticas. Logo, não há contato físico ou de moléculas.

A perda de calor por **condução** é a transferência direta de calor de uma molécula para outra em diferentes meios, como no meio líquido, sólido e gasoso. Assim, os tecidos e o corpo poderão perder calor para superfícies mais frias. Esse mecanismo não é o principal, observado durante o exercício, e depende de dois fatores: 1) da relação do gradiente de temperatura da pele e das superfícies próximas; e 2) das qualidades térmicas das superfícies. Um exemplo seria a perda de calor na água fria. A perda ou troca de calor por **condução** é mais efetiva do que por outros mecanismos.

A perda de calor por **convecção** ocorre mediante o movimento do ar próximo da pele, através da troca de calor do movimento do ar frio, que irá absorver o calor em volta do corpo e se deslocará para longe dele. Neste caso, durante o exercício físico de corrida na esteira ou pedalando na bicicleta ergométrica, a perda de calor por convecção poderá ocorrer quando o indivíduo estiver recebendo vento produzido por um ventilador, por exemplo. Mas deve-se considerar a velocidade do vento.

A perda de calor por **evaporação** se mostra um dos principais mecanismos de resfriamento durante a realização do exercício físico. Isso acontece durante a respiração e pela superfície da pele por evaporação de água para o ambiente. A razão de transferência de calor é de 580 kcal por litro de água evaporada. Assim a taxa de sudorese, ou o suor na pele, é aumentada principalmente durante o exercício e irá acontecer por milhares de glândulas sudoríparas, que são acionadas por fibras nervosas simpáticas em situações de estresse térmico. A evaporação pela sudorese resfria a pele, que também irá resfriar o sangue que retornará para os tecidos e regiões internas do copo. Esse é o principal mecanismo observado nas situações em que a temperatura ambiente excede a temperatura corporal e pode ser negativamente influenciado com o aumento da umidade relativa do ar.

Exemplificando

A perda de calor por evaporação será mais difícil em ambientes que apresentem elevada umidade relativa do ar. Logo, fazer exercício físico no calor extremo e no ambiente úmido dificultará a perda de calor e aumentará consideravelmente a demanda dos sistemas fisiológicos em atender a intensidade imposta pelo exercício físico. Neste caso, haverá um estímulo maior de sobrecarga interna e fisiológica, podendo causar complicações e redução da taxa de recrutamento neuromotor.

Uma das formas de observar o impacto do exercício físico no calor é avaliar o grau de desidratação pela perda de líquido no suor. Um exemplo é da perda de 0,5 a 1 litro de suor em um exercício com duração de 1 hora, e a recomendação seria a reposição de água ou bebidas isotônicas na mesma quantidade de perda durante o exercício. Para avaliar o grau de desidratação, pode-se utilizar uma equação simples, assumindo a variação do peso corporal pré e pós-sessão de exercício.

% Desidratação = [(p*eso inicial-peso final*) x 100]/*peso inicial*

Neste caso, quanto maior a desidratação induzida pelo exercício, pior será o funcionamento das funções fisiológicas e dos mecanismos de termorregulação. A faixa de segurança quanto ao percentual de desidratação não deve ser maior do que 2% do peso corporal. Estima-se que, a cada litro perdido no suor, haverá um aumento de 8 bpm da frequência cardíaca no exercício, porém com uma redução de ~1 litro/min no débito cardíaco (PITHON-CURI, 2013). Desta forma, a realização de exercício físico no calor dever ser acompanhado com maior atenção, pois se a T_cC atingir valores acima de 40 °C, sintomas relacionados a hipertermia, distúrbios induzidos pelo calor e choque térmico poderão ser observados. Assim, podem ocorrer respostas como cãibras, fadiga central e periférica, colapso, resposta motora lenta, fala desarticulada e aspectos anormais no comportamento, além da perda de consciência. Neste sentido, observar as condições ambientais como temperatura e umidade relativa do ar é importante para uma prática segura do exercício físico, aliadas à disponibilização de ingestão de líquidos durante o exercício e ao tempo de recuperação e espaços ou estruturas para resfriamento, a fim de evitar problemas de saúde sérios (por

exemplo, banheiras para imersão em água fria para tratamento de intermação). Logo, é necessário seguir algumas orientações quanto à ingestão de líquidos nas situações antes, durante e após o exercício físico realizado em ambientes quentes (ACSM, 2007; RIEBE, 2018) (ver Tabela 4.1).

Tabela 4.1 | Recomendações para a reposição e ingestão de líquidos antes, durante e após a prática de exercícios físicos segundo o ACSM (2007)

Recomendações	Líquido	Comentários
Antes do exercício	Beber de 5 a 7 ml/Kg pelo menos 4 h antes do exercício (355 a 502 ml para um indivíduo de 70 Kg).	Se não houver produção de urina ou se esta tiver coloração muito escura, beber 2 horas antes do exercício mais 3 a 5 ml/Kg. Bebidas que contenham sódio ou pequenas refeições com sal ajudam a reter líquidos.
Durante o exercício	Monitorar as mudanças no peso individual durante o exercício para estimar a perda de suor. A composição dos líquidos deve incluir 20 a 30 mEq/l de sódio, 2 a 5 mEq/l de potássio e 5 a 10% de carboidratos.	Evitar perda > 2% no peso corporal. A quantidade e a taxa de reposição de líquidos dependem da taxa individual de transpiração, do ambiente e da duração do exercício.
Após o exercício	O consumo de refeições e bebidas normais restaura a hidratação. Se recuperação rápida for necessária, beber 1,5 l/Kg do peso corporal perdido.	O objetivo é restaurar o déficit de líquidos e de eletrólitos. O consumo de sódio ajuda na recuperação, estimulando a sede e a retenção de líquidos.

Fonte: Riebe (2018, p. 223).

Reflita

Respostas fisiológicas do exercício físico nas condições de calor e frio ao longo de uma atividade aeróbia prolongada.

Figura 4.5 | Respostas fisiológicas no calor e frio quanto ao consumo de oxigênio (VO_2), frequência cardíaca, lactato sanguíneo, glicogênio muscular

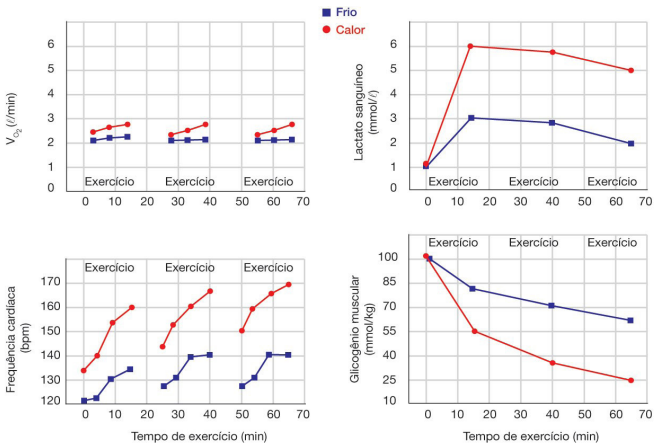


Figura 16.16 Exercício físico realizado em ambiente quente ou frio. Observa-se que o exercício físico realizado em ambiente quente, em geral, exige maiores gasto energético e esforço cardiovascular.

Copyright © Editora Guanabara Koogan. Todos os direitos reservados
GUANABARA KOOGAN

Fonte: Pithon-Curi (2013, p. 211).

Sem medo de errar

Em uma corrida de maratona a ser realizada por Antônio na cidade de Manaus, que é um lugar de muito calor e umidade, o professor Marcelo sabe que o organismo do corredor irá se ajustar fisiologicamente ao ambiente de estresse térmico. Sendo assim, como podemos ajudá-lo a orientar as estratégias nutricionais básicas durante a corrida de maratona que façam com que Antônio suporte o estresse térmico e tenha um bom desempenho e saúde durante a prova?

Considerando a situação de Antônio em sua corrida de maratona, o seu professor deve orientar cuidados quanto a ingestão de água, bebidas isotônicas e com carboidratos nos momentos antes, durante e após a corrida, monitorando a coloração de urina e variações do peso corporal, conforme demonstrado na Tabela 4.1

Avançando na prática

Avaliando a desidratação com o exercício

Descrição da situação-problema

O professor de Educação Física Raymundo organizou e planejou uma aula de basquetebol na quadra da escola no início do ano letivo (mês de fevereiro, em pleno verão). A turma estuda no período da tarde, e a quadra da escola não é coberta, expondo tanto o professor quanto seus alunos a uma condição de maior estresse ambiental e a raios solares. Com o objetivo de verificar possíveis influências ambientais na desidratação, ele levou a balança antropométrica da escola na quadra, a fim de medir as variações de peso de seus alunos antes, durante e após sua aula. Como podemos ajudá-lo com relação à informação de variação do peso corporal como indicador de desidratação em sua aula de basquetebol?

Resolução da situação-problema

O professor Raymundo deverá utilizar a seguinte equação:

% Desidratação = [(*peso inicial-peso final*) x 100]/*peso inicial*

Ele deve ter atenção para que o percentual de variação não seja maior do que 2%, como indicador de segurança, e orientar seus alunos a ingerirem quantidades de água que equivalham à mesma quantidade perdida de suor durante a aula. Além disso, o professor poderá se organizar para permitir a seus alunos um tempo para reposição de líquidos durante e após a aula.

Faça valer a pena

1. Analise as assertivas a seguir com relação às influências da altitude no percentual de desempenho físico em atividades de características anaeróbias e aeróbias em homens e mulheres em provas do atletismo.

I. As corridas de características anaeróbias (como as provas de 60 m, 100 m e 200 m) sofrem benefício quando realizadas na altitude, principalmente acima de 2.000 m de altitude.
II. As corridas de características e predominância aeróbias (como 800 m a maratona) sofrem prejuízo quando realizadas na altitude, principalmente acima de 2.000 m de altitude.

III. A corrida de 400 m no atletismo sofre benefício quando realizada na altitude, principalmente acima de 2.500 m de altitude.

Assinale a alternativa correta.

a) Somente a assertiva I está correta.
b) Somente as assertivas I e II estão corretas.
c) Somente as assertivas II e III estão corretas.
d) Somente as assertivas I e III estão corretas.
e) Todas as assertivas estão corretas.

2. O corpo humano apresenta mecanismos fisiológicos de produção e perda de calor que são sempre acionados para manutenção da temperatura corporal em repouso próximo a 37 °C, suportando uma maior variação de perda de calor (~10 °C) em regiões mais periféricas, com impacto maior do que a tolerância à elevação de temperatura (~5 °C). Neste caso, qual é o efeito esperado se o indivíduo atingir a temperatura de 42 °C em exercício físico?

Assinale a alternativa correta:

a) Atingir a temperatura corporal próximo ou acima de 42 °C não causará qualquer risco de intermação ao indivíduo.
b) Atingir a temperatura corporal próximo ou acima de 42 °C poderá aumentar o desempenho físico anaeróbio.
c) Atingir a temperatura corporal próximo ou acima de 42 °C poderá aumentar o desempenho físico aeróbio.
d) Atingir a temperatura corporal próximo ou acima de 42 °C poderá facilitar a atividade das enzimas do metabolismo energético.
e) Atingir a temperatura corporal próximo ou acima de 42 °C poderá levar o indivíduo à óbito por intermação.

3. Para se proteger do excesso de temperatura pelo corpo, os mecanismos de perda de calor serão acionados com diferentes graus de importância, a depender das situações: em repouso, em exercício e pela umidade relativa do ar, por radiação, condução, convecção e evaporação. Desta forma, analise as informações para associação de coluna.

1. Radiação	a) Perda de calor mediante o movimento do ar próximo da pele, através da troca de calor do movimento do ar frio, que irá absorver o calor em volta do corpo e se deslocará para longe do corpo.
2. Condução.	b) Perda de calor por transferência direta de calor de uma molécula para outra em diferentes meios, como no meio líquido, sólido e gasoso.
3. Convecção.	c) Perda de calor por emissão de ondas térmicas contínuas eletromagnéticas. Logo, não há contato físico ou de moléculas.
4. Evaporação.	d) Perda de calor que acontece durante a respiração e pela superfície da pele por evaporação de água para o ambiente através da sudorese.

Assinale a alternativa com a sequência correta de associação de colunas.

a) 1-c, 2-a, 3-d, 4-b.
b) 1-a, 2-c, 3-b, 4-d.
c) 1-c, 2-a, 3-b, 4-d.
d) 1-c, 2-b, 3-a, 4-d.
e) 1-b, 2-d, 3-c, 4-a.

Seção 4.2

Considerações aplicadas e testes de esforço para saúde e desempenho

Diálogo aberto

A prática e o uso de suplementos nutricionais têm crescido muito entre praticantes de academias de ginástica para fins estéticos, saúde e desempenho. Entretanto, nem todos os suplementos apresentam forte evidência científica de seus efeitos. Sendo assim, Marcelo, professor e treinador, além de praticante assíduo de treinamento de força/resistido e de corridas de montanha, tem investigado quais são as estratégias nutricionais no treinamento comprovadas através de pesquisas científicas para a melhora do desempenho tanto no ganho de massa muscular quanto da aptidão aeróbia. Assim, como podemos ajudar Marcelo a determinar quais são as estratégias nutricionais com comprovação cientifica para a melhora do desempenho no treinamento para ganho de massa muscular e da aptidão aeróbia?

Não pode faltar

A utilização de recursos ergogênicos é muito comum entre praticantes de exercícios físicos e principalmente entre atletas que visam melhorar o seu desempenho. O significado da palavra ergogênico vem do grego: ergo, que significa trabalho, e gênico, que significa criação/produção. Desta forma, segundo McArdle, Katch e Katch (2016), o termo ergogênico refere-se ao uso de um artifício, que pode ser nutricional, psicológico, farmacológico, físico ou mecânico, para aumentar a capacidade de realização de um trabalho físico ou de se obter um melhor desempenho atlético. Assim serão apresentados aspectos relacionados a alguns recursos ergogênicos mais frequentemente utilizados e, consequentemente, que são estudados.

Recursos ergogênicos: riscos e uso de fármacos para melhora do desempenho

A utilização de fármacos e/ou drogas como forma de melhorar o desempenho é uma prática ilícita no esporte. Embora essa prática possa trazer aumento de desempenho entre os usuários e atletas durante o período de treinamento ou nas fases competitivas, o uso de fármacos e drogas ilícitas pode oferecer vários riscos à saúde destes indivíduos, apresentando-se com sintomas e efeitos como *"náuseas, queda de pelos (cabelo), prurido e irritabilidade nervosa até consequências graves, como esterilidade, doença hepática, dependência química e, até mesmo, a morte causada por câncer do fígado e do sangue"* (McARDLE; KACTH; KACTH, 2016, p. 558).

As substâncias e categorias consideradas como doping são: a) esteroides androgênicos anabólicos; b) hormônios e substâncias correlatas; c) agonistas beta-2; d) antagonistas e moduladores dos hormônios; e) diuréticos ou agentes que mascarem os resultados dos exames; f) estimulantes (em doses excessivas); g) narcóticos; h) canabinoides; i) glicocorticoides; j) álcool etílico (em determinados esportes); k) betabloqueadores (em determinados esportes), *segundo a World Anti-Doping Agency* (McARDLE; KACTH; KACTH, 2016; KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Exemplificando

Para saber com mais detalhes quais são as substâncias ergogênicas que são proibidas, acesse a página da Autoridade Brasileira Controle de Dopagem. Disponível em: <https://bit.ly/2Nla189>. Acesso em: 9 jul. 2018.

Recursos ergogênicos: bases fisiológicas para a suplementação nutricional

Além da utilização dos melhores métodos de treinamento para otimizar o desempenho, vários atletas fazem uso de dietas adequadas e controladas, além do uso de suplementos nutricionais. As Agências de Controle Antidoping não recomendam o uso de suplementos nutricionais devido à falta de controle e regulamentação quanto à produção dos suplementos pelas empresas fabricantes. Com isso,

os suplementos podem oferecer substâncias proibidas e diferentes das apresentadas no rótulo. Assim, cabe ao atleta que queira utilizar um suplemento adquiri-lo de empresa com boa reputação.

Existem inúmeros tipos de suplementos nutricionais utilizados para diversos objetivos. Os principais resultados esperados pela utilização de suplementos nutricionais entre praticantes de programas de exercício físico ou atletas de modalidades esportivas são: aumento e crescimento de massa muscular, redução da gordura corporal, maior tolerância ao exercício e redução da fadiga, melhora na função imunológica, melhora na ressíntese de glicogênio muscular, aumento da capacidade aeróbia, aumento das reservas e capacidade anaeróbia, melhora das funções metabólicas ao exercício físico e estimulação do sistema nervoso central. Mas os suplementos de carboidratos e de proteínas são muito utilizados, seja em praticantes de exercícios ou esportes de características anaeróbias ou aeróbias. Para relembrar sobre a estrutura básica dos carboidratos e proteínas, volte à Seção 1.2 deste livro didático.

Durante uma sessão de treinamento aeróbio de baixa intensidade e tempo prolongado, tanto carboidratos quanto gorduras são substratos energéticos muito utilizados, o que resulta em uma alta taxa de depleção de glicogênio muscular. Assim, ingerir suplementos de carboidratos é uma das estratégias nutricionais utilizada, pois é importante para promover melhor síntese, preservação e reposição dos estoques do que o glicogênio muscular e hepático. A ingestão de suplementos de carboidratos pode acontecer antes, durante e depois da sessão de exercício físico, de forma isolada ou como adjuvante à ingestão de suplementos proteicos que visam promover maior síntese de proteínas musculares, maior desenvolvimento de massa muscular e maior velocidade de recuperação após sessões de treinamento intenso. As recomendações quanto à dosagem de suplementos nutricionais de carboidratos e proteínas irá depender do grau de condicionamento físico, do sexo, da idade, da massa corporal, do tipo de esporte, do momento (antes, durante ou após exercício), da concentração do suplemento e do objetivo, entre outras variáveis, as quais serão melhor avaliadas por um profissional de nutrição para melhor orientação quanto à prescrição de suplementos nutricionais.

Existem outros suplementos nutricionais que são muito utilizados por parte de praticantes de exercício físico e atletas para melhora do desempenho físico. Na Tabela 4.2 são apresentados alguns dos suplementos nutricionais comuns e seus efeitos esperados.

Tabela 4.2 | Suplementos nutricionais e seus efeitos esperados apresentados por parte dos estudos

Suplemento	Descrição	Efeitos esperados
Beta-hidroxi-betametil-butirato (HMB)	Metabólito do aminoácido leucina.	Diminuição da degradação proteica e aumento da massa magra e da força.
Bicarbonato de sódio	Composto que atua no tamponamento do sangue.	Tamponamento do ácido lático; aumento do desempenho em exercício de alta intensidade.
Cafeína	Substância derivada da xantina; apresenta ação estimulante; encontrada, por exemplo, no café, no chocolate, na semente de guaraná, no chá verde e no chá preto.	Aumento do desempenho.
Coenzima Q10	Componente da cadeia de transporte de elétrons mitocondriais.	Melhora do VO_2máx e desempenho e redução da fadiga.
Colina	Precursor do neurotransmissor acetilcolina.	Melhora do desempenho e redução da fadiga.
Creatina	Carreador de grupamentos fosfato.	Aumento da força; redução da fadiga; aumento da síntese proteica.
Glutamina	Aminoácido condicionalmente indispensável.	Melhora da função imunológica; ressíntese de glicogênio muscular; aumento do desempenho físico.
Picolinato de cromo	Mineral-traço essencial.	Redução de massa corporal e aumento da massa muscular.

Fonte: adaptada de Rogero (2013, p. 316).

Outros suplementos nutricionais recentemente estudados e que poderiam promover efeito ergogênico são a beta-alanina (aminoácido não essencial que pode auxiliar no desempenho, sobretudo em esforços de alta intensidade e que induzem acidose metabólica), a leucina isolada ou não (aminoácido essencial que pode auxiliar na sinalização anabólica muscular e previne a degradação de proteínas), os aminoácidos de cadeia ramificada (visam a reduzir o dano estrutural causado pelo exercício físico e a fadiga do sistema nervoso central por competirem com a captação de triptofano em nível cerebral) e a carnitina ou L-carnitina (visa a aumentar a oxidação de ácidos graxos por ser um transportador deste elemento na mitocôndria, podendo auxiliar na redução de peso corporal e na melhora do VO_2max).

Reflita

É importante ressaltar que grande parte dos suplementos nutricionais citados anteriormente não apresentam um elevado grau de evidências. Além disso, esses suplementos nutricionais, muitas vezes, podem não promover os ganhos esperados, como já apontado por várias pesquisas, embora sejam muito utilizados entre atletas e praticantes de programas de exercícios físicos.

Em grande parte, os efeitos ergogênicos das estratégias nutricionais e não nutricionais dos esportes de resistência aeróbia são comprovados mediantes testes laboratoriais, ou na própria atividade esportiva praticada. Assim, serão apresentados a seguir alguns aspectos importantes dos testes para avaliação do consumo máximo de oxigênio (VO_2max).

Avaliação do consumo máximo de oxigênio: testes laboratoriais

O consumo máximo de oxigênio (VO_2max) é definido como a maior taxa de captação, transporte e utilização de oxigênio fornecido por gás atmosférico em situações de esforço máximo e exaustivo (HERDY; CAIXETA, 2016; KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; McARDLE; KATCH; KACTH, 2016; BERTUZZI; LIMA-SILVA, 2017). Existem testes diretos e indiretos para a obtenção da medida de VO_2max. Os testes diretos necessitam de instrumentos

e equipamentos, como os analisadores de gases laboratoriais ou portáteis, capazes de medir a troca de gases de oxigênio (O_2) e de dióxido de carbono ($CO_{2)}$ e de volumes pulmonares em conjunto com ergômetros (ex.: cicloergômetro, esteira ergométrica, banco ergômetro, remo ergômetro, etc.). O consumo de oxigênio (VO_2) é obtido a cada respiração, utilizando a seguinte equação:

VO_2 (*L/min*) = *volume de* O_2 *inspirado-volume de* O_2 *expirado*

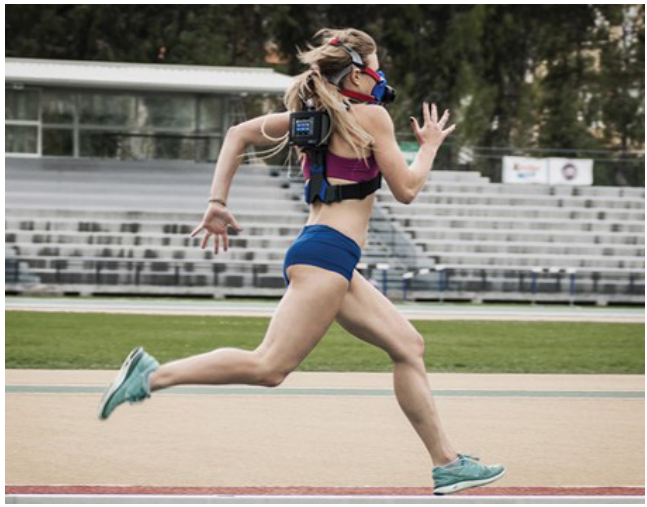
A medida do VO_2max é importante por este ser um bom indicativo do desempenho aeróbio para atletas, mas também oferece bons parâmetros do estado de saúde como um preditor de mortalidade em indivíduos saudáveis e doentes (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016). Por exemplo, um valor mínimo de VO_2max de 13 mL/kg/min seria o necessário para manter a sobrevida de forma independente. Entre atletas de elite de esportes de resistência, valores acima de 80 mL/kg/min já foram relatados pela literatura (McARDLE; KATCH; KACTH, 2016; BERTUZZI; LIMA-SILVA, 2017). A Figura 4.6 apresenta um exemplo de equipamentos utilizados para medir o VO_2max de forma direta associado a uma esteira ergométrica ou em equipamentos portáteis utilizado em teste de campo de corrida.

Figura 4.6 | Exemplos de equipamentos para medir o VO_2max utilizados em testes de laboratórios (A), em testes de campo (B); exemplos do comportamento do consumo de O_2 em testes progressivos máximos para medir o VO_2max com (C) ou sem platô (D)

A

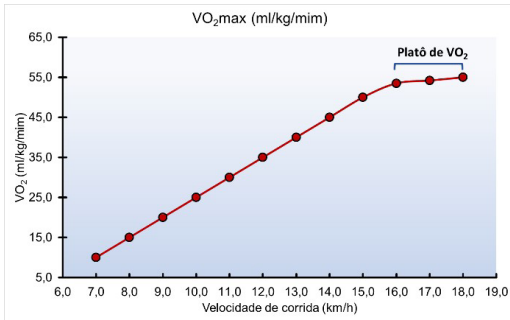
Fonte:<http://cpxinternational.com/wp-content/uploads/2014/03/laufband-metamax_mit_arzt-1024x679.jpg>. Acesso em: 17 set. 2018.

B



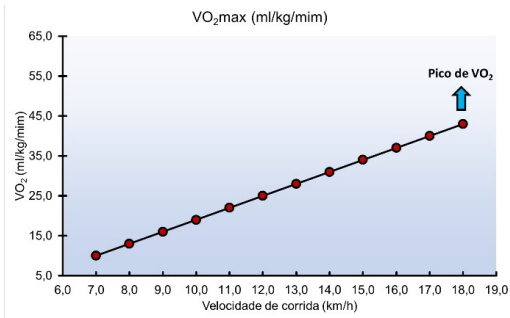
Fonte:<https://www.labiopro.com/en/products/medical-equipment/pulmonology/cardiopulmonary-exercise-testing/tr/>. Acesso em: 17 set. 2018.
*Acesse o link <https://youtu.be/YcLemQmlO78> (acesso em: 17 set. 2018) para mais detalhes.

C



Fonte: elaborada pelo autor.

D



Fonte: elaborada pelo autor.

A utilização de protocolos de testes incrementais ou de cargas progressivas serve para medir e avaliar o VO_2max. Os testes progressivos são classificados como: a) testes incrementais com estágios; e/ou b) testes incrementais do tipo rampa. Ambos os protocolos são capazes de levar o avaliado a atingir o VO_2max, sendo este observado por um platô (ver a Figura 4.6 (C)). O indicador primário da ocorrência do platô de VO_2max é o aumento menor de 2,1 mL/kg/min no consumo de oxigênio com o avançar do estágio do teste progressivo. Porém, em indivíduos com baixo nível de condicionamento aeróbio, o platô do VO_2max é mais difícil de ser observado, e neste caso a medida de VO_2max será assumida como o valor pico atingido (ver a Figura 4.6 (D)). Porém existem vários critérios para assumir como válida a medida de VO_2max com ou sem platô. Neste caso, são assumidos critérios que indiquem que os avaliados apresentam indicadores fisiológicos de esforço máximo, como: razão de troca respiratória $\geq$1,15; frequência cardíaca durante o último estágio do esforço situada $\pm$ 10 bpm dentro da frequência cardíaca máxima prevista para o indivíduo; exaustão voluntária; concentração de lactato sanguíneo > 8 mmol/L; ou um platô no VO_2max diante de aumento na taxa de trabalho (POWERS; HOULEY, 2014; KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016).

Assimile

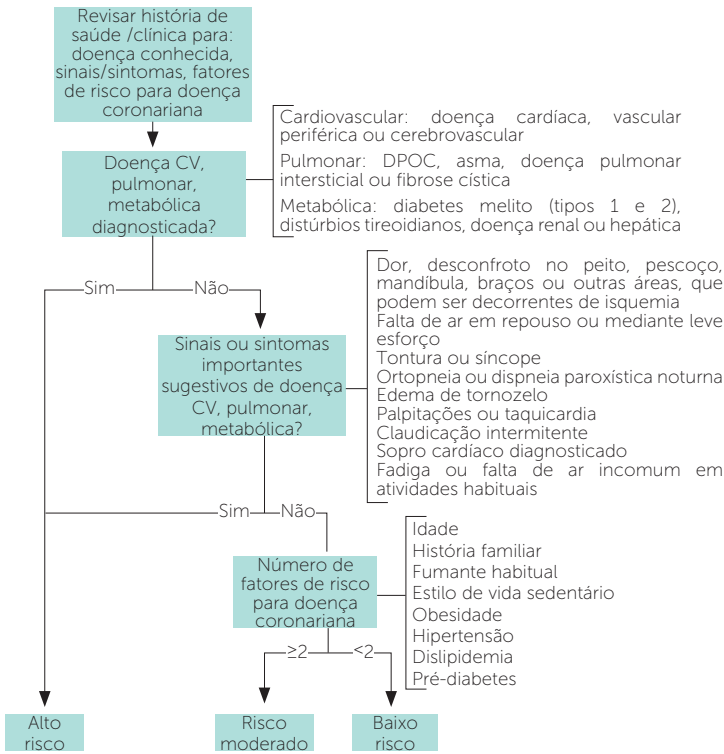
A medida de VO_2max é oferecida em unidades absolutas [litros ou mililitros por minutos (L/min ou mL/min)] ou em unidades relativas ao peso corporal [mililitros por quilograma de peso corporal a cada minuto (mL/kg/min)].

A avaliação da aptidão cardiorrespiratória pela medida de VO_2max se baseia em tabelas de classificação elaboradas por estudos científicos em uma grande quantidade e variedade de sujeitos de ambos os sexos e idades. Assim, sugerimos a utilização da tabela de classificação, com base na população brasileira proposta por Herdy e Caixeta (2016), disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/abc/v106n5/pt_0066-782X-abc-106-05-0389.pdf> (acesso em: 17 set. 2018).

É importante considerar que a realização de testes progressivos máximos para obtenção do VO_2max para avaliação da aptidão

cardiorrespiratória, utilizada para prescrição e orientação de programas de exercícios físicos, pode oferecer algum risco associado ao exercício. Assim, é importante realizar uma análise preliminar de cada sujeito antes da realização dos testes. De forma geral, indivíduos em idades mais avançadas e de estilo de vida sedentário oferecem mais riscos, sendo importante o acompanhamento e a supervisão médica, caso seja necessária a realização dos testes de esforço máximo. Uma forma de avaliar o risco prévio à realização de testes de esforço máximo é a utilização da árvore de decisão na avaliação do condicionamento cardiorrespiratório, proposto pelo *American College os Sports Medicine* (ACSM) (ver Figura 4.7).

Figura 4.7 | Árvore de decisão na avaliação do condicionamento cardiorrespiratório



Fonte: Powers; Houley (2014, p. 330).

Desta forma, Powers e Houley (2014) sugerem que a decisão para cada classificação de risco seja:

> a) Baixo risco: não há necessidade de exame clínico nem de teste de esforço antes do início de um programa de exercício, tampouco há necessidade de supervisão médica durante o teste de esforço; b) Risco moderado: são recomendáveis exames clínicos e um teste de esforço antes do início de um programa de exercício com intensidade vigorosa, mas não antes do início de um programa de exercícios com intensidade moderada. Há necessidade de supervisão médica durante um teste de esforço máximo, mas não durante um teste de esforço submáximo; c) Alto risco: são recomendáveis exames clínicos e um teste de esforço, antes da prática de qualquer tipo de exercício, além de supervisão médica durante teste de esforço submáximos ou máximos. (POWERS; HOULEY, 2014, p. 329)

A utilização de medidas diretas para avaliação do VO_2max é interessante, porém requer um alto custo de pessoal treinado e de equipamentos para análises de gases durante o exercício físico. Mas existem várias outras possibilidades para estimar o VO_2max de forma válida, porém utilizando testes indiretos, como os testes de campo.

Avaliação do consumo máximo de oxigênio: testes de campo

Testes de campo são alternativas mais acessíveis para avaliação da aptidão cardiorrespiratória através da medida de VO_2max. Para isso podem ser aplicados inúmeros testes de campo, máximos ou submáximos em diferentes modalidades de exercícios físicos, como corrida e/ou caminhada em esteira ergométrica ou em pista de atletismo, pedalar em cicloergômetro, subir e descer em banco/step, etc. Para que seja possível aprofundar com detalhes as orientações de alguns testes de campo, sugerimos a leitura dos seguintes autores: Powers e Houley (2014, p. 332-345) e Kraemer, Fleck e Deschenes (2016, p. 437-441).

Pesquise mais

Aprofunde mais sobre o significado fisiológico do consumo máximo de oxigênio em uma leitura no seguinte artigo científico:

DENADAI, B. Consumo máximo de oxigênio: fatores determinantes e limitantes. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, v. 1, n. 1,

p. 85-94, 1995. Disponível em: <http://rbafs.org.br/RBAFS/article/view/454/498>. Acesso em: 17 set. 2018.

Adaptações fisiológicas ao treinamento intervalado de alta intensidade

O treinamento intervalado de alta intensidade (TIAI) ou treinamento aeróbio intervalado – termo traduzido do inglês, *high intensity intreval trainig* (HIIT) – foi popularizado na década de 1950 (~1950) pelo corredor checo Emil Zatopek.

Exemplificando

O corredor checo Emil Zatopek foi o único campeão olímpico a vencer as provas de 5.000 m, 10.000 m e a maratona (42,195 m) em uma olimpíada (Helsinki 1952).

O TIAI pode ser definido e caracterizado "por repetidas séries (curtas ou longas) de exercícios de alta intensidade, intercaladas por períodos de recuperação, que envolvem exercícios leves ou descanso passivo" (DA SILVA, 2017, p. 287). Os principais efeitos fisiológicos associados ao desempenho observados com o TIAI são a economia de corrida, velocidade pico em esteira rolante, intensidade associada ao OBLA (ver a Seção 3.2 deste livro didático), a melhora no VO_2max, na intensidade associada ao VO_2max (vVO_2max), em relação ao treinamento aeróbio contínuo de intensidade moderada (DA SILVA, 2017). O TIAI pode ser considerado de: a) **curta duração**, com estímulos até 1 minuto em 100% a 110% do VO_2max e com o objetivo de prevenir a depleção de glicogênio muscular, em relação ao treinamento aeróbio contínuo, além de oferecer maior ativação de todos os tipos de fibras musculares; b) **média duração** com tempo variando de 1 a 8 minutos nas intensidades de 90% a 100% da vVO_2max, ou utilizando as intensidades do OBLA e/ou limiares de transição dos domínios de esforço intenso-severo (ver Seção 3.2 deste livro didático), com melhora mais efetiva no VO_2max; e c) **longa duração**, com tempos de exercício acima de 8 minutos e entre as intensidades associadas ao OBLA e a VO_2max, com o objetivo de manter o VO_2max em exercício o maior tempo possível (DA SILVA, 2017).

É importante lembrar que os componentes do TIAI envolvem a manipulação da intensidade (referente a estímulo do exercício, tendo a velocidade de corrida como estímulo mais comum, e/ou recuperação ativa), densidade (razão de estímulo-pausa), amplitude (diferença entre o estímulo do exercício e recuperação) e duração (distâncias ou tempo percorrido das fases de estímulos e recuperação) (DA SILVA, 2017).

Embora a aplicação do TIAI seja mais comum em atletas, sua aplicação em indivíduos com sobrepeso/obesos, ou em pacientes, também tem sido estudada. Entretanto, as mudanças sobre a perda de gordura (principal efeito esperado) não têm sido mais significativas ao comparar o uso do TIAI com o treinamento aeróbio contínuo tradicional, tanto em crianças/adolescentes (THIVEL et al., 2018), quanto em adultos (WEWEGE et al., 2017). Contudo, tanto TIAI quanto o treinamento aeróbio contínuo são suficientes para promover melhoras nos indicadores cardiovasculares e metabólicos e na redução da gordura corporal na população de modo geral (DA SILVA, 2017; WEWEGE et al., 2017; THIVEL et al., 2018).

Sem medo de errar

A prática e o uso de suplementos nutricionais têm crescido muito entre praticantes de academias de ginástica para fins estéticos, saúde e desempenho. Entretanto, nem todos os suplementos apresentam forte evidência científica de seus efeitos. Sendo assim, Marcelo, professor e treinador, além de praticante assíduo de treinamento de força/resistido e de corridas de montanha, tem investigado quais são as estratégias nutricionais no treinamento cientificamente comprovadas para a melhora do desempenho tanto no ganho de massa muscular quanto da aptidão aeróbia. Assim, como podemos ajudá-lo a determinar quais são as estratégias nutricionais cientificamente comprovadas para a melhora do desempenho no treinamento para ganho de massa muscular e da aptidão aeróbia?

Para resolução desta situação, há vários tipos de suplementos nutricionais para os diferentes fins. Neste caso, podemos auxiliar o professor Marcelo com sugestões de alguns suplementos presentes na Tabela 4.2 desta unidade. Porém, para uma maior precisão e segurança, deve-se procurar um profissional da Nutrição para uma orientação profissional adequada.

Avançando na prática

Avaliação da aptidão cardiorrespiratória

Descrição da situação-problema

O professor Marcelo vai realizar um planejamento de treinamento para uma prova de corrida de montanha de 15 km dentro de um ano. Para isso, ele vai organizar as cargas e as intensidades de treinamento de acordo com o resultado de um teste progressivo máximo para a obtenção do seu VO_2max. Sendo assim, quais são as opções de testes que ele poderá utilizar em sua avaliação da aptidão cardiorrespiratória?

Resolução da situação-problema

O professor Marcelo poderá optar por realizar testes diretos para obter a medida de VO_2max através de equipamentos de análise de gases em ambiente laboratorial ou portátil. Se não houver essa possibilidade por motivos logísticos ou financeiros, o ele poderá optar por realizar testes de campo e obter a estimativa do VO_2max de forma indireta.

Faça valer a pena

1. Para resolução da questão, considere as recomendações das Agências de Controle Antidoping sobre o uso de suplementos nutricionais como recurso ergogênico para o esporte, analisando as seguintes assertivas.

I. As agências de controle antidoping não recomendam o uso de suplementos nutricionais devido à falta de controle e regulamentação quanto à produção dos suplementos pelas empresas fabricantes.
II. Com isso, os suplementos podem oferecer substâncias proibidas diferentes das apresentadas no rótulo.
III. Assim, cabe ao atleta que queira utilizar um suplemento adquiri-lo de qualquer empresa que produza suplementos nutricionais.

Assinale a alternativa correta.

a) As assertivas I, II e III estão corretas.
b) Somente a assertiva I está correta.

c) Somente as assertivas I e II estão corretas.
d) Somente as assertivas II e III estão corretas.
e) Somente as assertivas I e III estão corretas.

2. O consumo máximo de oxigênio (VO_2max) é definido como a maior taxa de captação, transporte e utilização de oxigênio fornecido por gás atmosférico em situações de esforço máximo e exaustivo. Existem testes diretos e indiretos de obtenção da medida de VO_2max. Desta forma, qual é a finalidade de utilizar o VO_2max em avaliações fisiológicas?

Assinale a alternativa correta.

a) A medida do VO_2max é importante, pois é um bom indicativo do desempenho aeróbio para atletas, mas também oferece parâmetros do estado de saúde como um preditor de mortalidade em indivíduos saudáveis e doentes.
b) O VO_2max é importante, pois é um bom indicativo do desempenho aeróbio para atletas. Porém pouco oferece como parâmetro do estado de saúde e como um preditor de mortalidade em indivíduos saudáveis e doentes.
c) A medida do VO_2max é pouco importante como indicativo do desempenho aeróbio para atletas. Contudo mostra-se um bom parâmetro do estado de saúde como um preditor de mortalidade em indivíduos saudáveis e doentes.
d) O VO_2max é um pobre indicativo do desempenho aeróbio para atletas e também não oferece parâmetro para avaliar o estado de saúde como um preditor de mortalidade em indivíduos saudáveis e doentes.
e) A medida do VO_2max é o parâmetro mais importante do desempenho aeróbio para atletas. Porém nada tem a oferecer como parâmetro do estado de saúde e como um preditor de mortalidade em indivíduos saudáveis e doentes.

3. Os testes progressivos são classificados como: a) testes incrementais com estágios; e/ou b) testes incrementais do tipo rampa. Ambos os protocolos são capazes de levar o avaliado a atingirem o VO_2max, sendo observado por um platô. De acordo com essas informações, analise as assertivas sobre os aspectos relacionados à definição do VO_2max e seus critérios de análise.

I. O indicador primário da ocorrência do platô de VO_2max é o aumento de menos de 2,1 mL/kg/min no consumo de oxigênio com o avançar do estágio do teste progressivo.
II. Para indivíduos com baixo nível de condicionamento aeróbio, o platô do VO_2max é mais difícil de ser observado, e neste caso a medida de VO_2max será assumida como o valor do pico atingido.
III. Existem vários critérios para assumir como válida a medida de VO_2max com ou sem platô. Neste caso, são assumidos critérios que apresentam indicadores fisiológicos, como: razão de troca respiratória $\geq$1,15; frequência cardíaca durante o último estágio do esforço situada $\pm$ 10 bpm dentro da frequência cardíaca máxima prevista para o indivíduo; exaustão voluntária; concentração de lactato sanguíneo > 8 mmol/L; ou um platô no VO_2max diante de aumento na taxa de trabalho.

Assinale a alternativa correta.

a) Somente a assertiva I está correta.
b) Somente a assertiva II está correta.
c) Somente as assertivas I e II estão corretas.
d) Somente as assertivas I e III estão corretas.
e) As assertivas I, II e III estão corretas.

Seção 4.3

Exercício físico em populações especiais

Diálogo aberto

O professor Marcelo atende a uma grande variedade de pessoas em programas de condicionamento físico. Nos dias atuais, vários estudos apresentam resultados positivos da atividade física na saúde de diferentes populações, principalmente daquelas com idades mais avançadas. Esses resultados vão desde a utilização da atividade física como forma de prevenção até sua atuação como terapia auxiliar no tratamento de diversas doenças. Grande parte desses benefícios são acompanhados de uma melhora de praticamente todos os sistemas corporais e do funcionamento das funções fisiológicas do ser humano. Entretanto, é difícil estabelecer qual é a melhor relação dose-resposta do exercício físico nas diferentes situações e contextos clínicos para benefício da saúde global do ser humano. Como podemos ajudar o professor Marcelo a encontrar a resposta para este problema?

Não pode faltar

Exercício físico durante a gestação

A prática regular de programas de exercícios físicos, quando bem orientados, resulta em adaptações fisiológicas positivas ao organismo humano. No caso da gestação, a prática de atividade física ou de exercícios físicos para atingir resultados importantes para a saúde da mãe e do bebê durante e após o parto deve seguir alguns cuidados. Vale ressaltar que mulheres grávidas não eram encorajadas a praticar atividade física e/ou exercícios físicos, por se acreditar que havia riscos para a mãe e para o feto, porém vários estudos têm mostrado que existem vários benefícios associados à prática de exercícios físicos na gravidez, como redução do risco de diabetes melitus gestacional, da resistência à insulina durante a gravidez, da pré-eclâmpsia (distúrbio hipertensivo associado a insuficiência hepática, insuficiência renal, coágulos sanguíneos e

hemorragia cerebral nas gestantes), de elevação da pressão arterial e de proteinúria (perda de proteínas pela urina) em mulheres durante a gravidez (KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016; BARAKAT et al., 2015; GREGG; FERGUSON, 2017).

O Colégio Americano de Ginecologia e Obstetrícia (ACOG, do inglês ***American College of Obstetricians and Gynecologists***) recomenda que as gestantes realizem 30 minutos ou mais de exercício aeróbio de intensidade moderada diariamente (ou na maioria dos dias da semana) e 15 a 30 minutos de exercício aeróbio de intensidade moderada em 3 a 4 dias por semana. Essas recomendações são as mesmas dadas pelo Colégio Americano de Medicina do Esporte (ACSM, 2014) em conjunto com os Centros de Controle e Prevenção de Doenças para os indivíduos adultos (homens e mulheres), que também se aplicam às gestantes (McARDLE; KATCH; KATCH, 2016). Além disso, as gestantes podem realizar um programa de treinamento de força/resistido envolvendo todos os grandes grupos musculares entre 12 e 15 repetições por série até a fadiga moderada, mas evitando a manobra de valsalva (uma vez que esta eleva significativamente a pressão arterial intratorácica) (ACSM, 2014). Essas recomendações são seguidas se não há fatores de risco gestacional, como contraindicações relativas, absolutas e sinais alarmantes que sugerem a interrupção da prática de atividade física e de exercícios físicos (ver Quadro 4.1) (ARTAL, O'TOOLE, 2003; ACSM, 2007).

Quadro 4.1 | Fatores de risco gestacional, como contraindicações relativas, absolutas e sinais alarmantes a exercícios físicos

Contraindicações absolutas	Contraindicações relativas
Doença cardíaca hemodinamicamente significativa. Doença pulmonar restritiva. Colo do útero / cerclagem incompetente (procedimento cirúrgico a fim de manter o colo do útero fechado até o final da gravidez).	Anemia severa. Arritmia cardíaca materna não avaliada. Bronquite crônica. Diabete tipo I mal controlada. Obesidade mórbida extrema. Peso muito baixo (IMC <12). Estilo de vida extremamente sedentário.

Gestação múltipla em risco para trabalho de parto prematuro. Sangramento persistente de segundo ou terceiro trimestre. Placenta prévia (complicação causada pelo posicionamento da placenta na parte inferior do útero) após 26 semanas de gestação. Trabalho de parto prematuro durante a gravidez atual. Membranas rompidas. Hipertensão induzida pela gravidez.	Restrição de crescimento intrauterino na gravidez atual. Hipertensão mal controlada / pré-eclâmpsia. Limitações ortopédicas. Transtorno convulsivo mal controlado. Hipertireoidismo mal controlado. Fumante severo.
Contraindicações para o encerramento do exercício durante a gravidez	
Sangramento vaginal. Dispneia antes do esforço. Tontura. Dor de cabeça. Dor no peito.	Fraqueza muscular. Dor ou tumefação ou inchaço na panturrilha (necessidade de excluir a tromboflebite). Parto prematuro. Diminuição do movimento fetal. Vazamento de líquido amniótico.

Fonte: ACSM (2007, p. 176-177).

Pesquise mais

Pesquise sobre os fatores de risco gestacional, como contraindicações absolutas, relativas e sinais alarmantes que sugerem a interrupção da prática de atividade física e de exercícios físicos. Disponível em: <https://bjsm.bmj.com/content/37/1/6>. Acesso em: 17 set. 2018

A prática de atividade física ou de programas de exercício físico na gestação não parece influenciar ou provocar antecipação do trabalho de parto. Um fator positivo entre gestantes durante o período gestacional é com relação ao modo de parto (vaginal ou

cesariano), havendo uma diminuição vigorosa de parto cesariano em mulheres fisicamente ativas (BATISTA et al., 2003; KRAEMER; FLECK; DESCHENES, 2016). De forma geral, parece não haver um total consenso quanto ao tipo de exercício físico mais indicado para gestantes, mas a prática regular de atividade física e exercícios físicos moderados e controlados resulta em efeitos benéficos sobre a saúde, tanto da gestante quanto do feto.

Pesquise mais

Aprofunde mais seus conhecimentos lendo o artigo indicado a seguir:

BATISTA, Daniele Costa et al. Atividade física e gestação: saúde da gestante não atleta e crescimento fetal. **Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil**, v. 3, n. 2, p. 151-158, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-38292003000200004&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 set. 2018.

Exercício físico e envelhecimento

O efeito do envelhecimento no organismo humano poderá ocorrer naturalmente (chamado de senescência) com redução da capacidade e função dos sistemas corporais e fisiológicos, mas sem comprometimento da autonomia e da saúde do indivíduo idoso (≥ 65 anos). Mas quando o envelhecimento é observado de forma patológica, com redução drástica das funções fisiológicas e funcional dos sistemas corporais, causando problemas à saúde e acompanhado de maus hábitos (comportamento sedentário), ele é chamado de senilidade.

Assimile

Para compreender melhor o que seria senescência e senilidade na terceira idade, leia o texto, disponível em: <https://bit.ly/2Lw2lmj>. Acesso em: 17 set. 2018.

A realização de programas de exercícios físicos parece exercer grande influência e proteção ao organismo humano, causando benefícios fisiológicos (nos sistemas cardiovascular, muscular e esquelético), psicológicos e sociais (CHODZKO-ZAJKO,

1997). Idosos fisicamente ativos apresentam maior capacidade neuromuscular para tarefas que requerem equilíbrio, estabilidade estática e dinâmica, o que resulta em menores chances de quedas.

As evidências de que a atividade física regular promove benefícios sobre a saúde do idoso, descritas nas ***Recomendações da Organização Mundial da Saúde para a Promoção da Prática de Atividades Físicas entre Pessoas Idosa***s (CHODZKO-ZAJKO, 1997), são:

- Melhora do bem-estar geral.
- Melhora da saúde geral física e psicológica.
- Favorecimento da prevenção de uma vida independente.
- Redução do risco de desenvolvimento de certas doenças não transmissíveis (Ex.: doença arterial coronariana, hipertensão, etc.).
- Auxílio no controle de condições específicas (ex.: estresse, obesidade) e doenças (ex.: diabetes e hipercolesterolemia).
- Favorecimento da minimização das consequências de certas incapacidades e ajuda na administração de condições dolorosas.
- Ajuda na modificação de perspectivas estereotipadas da velhice.

Com relação aos **benefícios fisiológicos**, podemos observar benefícios imediatos como melhora dos níveis glicêmicos, da atividade das catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) e da qualidade e quantidade de sono, além dos benefícios de longo prazo, como melhora da resistência aeróbia/cardiovascular, fortalecimento muscular, flexibilidade, equilíbrio/coordenação e melhora da velocidade de movimento. Os **benefícios psicológicos** também se apresentam de forma imediata, sendo eles o estado de relaxamento, a redução do estresse e ansiedade e a melhoria do estado de humor, além dos efeitos de longo prazo, como: o bem-estar geral, a melhoria da saúde mental, as melhoras cognitivas, o controle motor e desempenho e a aquisição de novas habilidades. Quanto ao **benefício social**, os efeitos imediatos observados são a valorização de indivíduos idosos na sociedade e a melhoria da integração social, além dos efeitos de longo prazo, como melhor integração, formação de novas amizades, ampliação das redes sociais, manutenção e aquisição de novos papéis na sociedade e melhoria de contato entre gerações (CHODZKO-ZAJKO, 1997).

Na tentativa de conter o efeito do envelhecimento sobre os sistemas muscular, neural e ósseo (sarcopenia, osteopenia, queda na força muscular e dificuldades neuromotoras), programas de

exercícios físicos, como o treinamento de força/resistido e exercícios votados para as capacidades neuromotoras são recomendados para idosos (CHODZKO-ZAJKO et al., 2009). Esses exercícios podem auxiliar as pessoas idosas a melhorar o seu equilíbrio, além de atuar como fator preventivo de quedas (CHODZKO-ZAJKO et al., 2009).

Exercício físico e doenças crônico-degenerativas

A prática regular de exercícios físicos oferece um importante fator protetor para o desenvolvimento de doenças crônico-degenerativas, principalmente associadas ao processo de envelhecimento. De forma contrária, a inatividade física e o sedentarismo contribuem para o aparecimento desse tipo de doença. A Tabela 4.3, a seguir, apresenta o papel preventivo e terapêutico do exercício físico no tratamento das doenças crônico-degenerativas. Além disso, o grau de intensidade do exercício físico parece ter um efeito inverso no risco de mortalidade e no percentual de mortes em idosos (ver Figura 4.8) (LAMBERTUCCI, 2013).

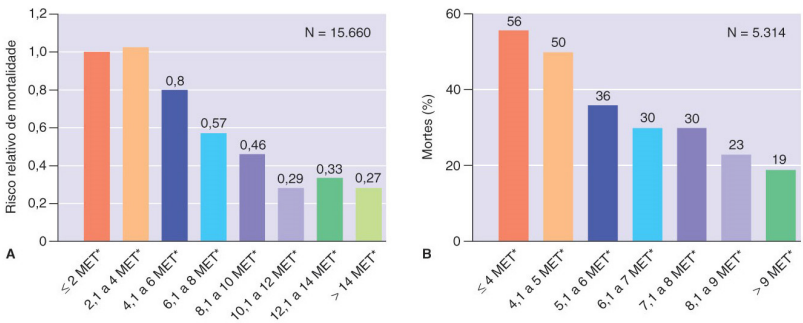
Tabela 4.3 | Exercício físico e seu papel preventivo e/ou terapêutico sobre diversas doenças crônicas em indivíduos idosos

Doença	Papel preventivo	Papel terapêutico
Artrite	Possível por prevenir obesidade (aeróbio e força)	Sim (aeróbio e força)
Câncer	Sim (exercícios aeróbio em estudos epidemiológicos)	Sim (aeróbio e força)
Deficiência cognitiva	Sim (aeróbio em estudos epidemiológicos)	Sim (aeróbio e força)
Depressão	Sim (aeróbio em estudos epidemiológicos)	Sim (aeróbio e força)
Derrame	Sim (aeróbio em estudos epidemiológicos)	Sim (aeróbio e força)
Diabetes tipo 2	Sim (aeróbio em estudos epidemiológicos e força para melhorar a tolerância à glicose)	Sim (aeróbio e força)
Doença arterial coronariana	Sim (aeróbio e força)	Sim (aeróbio e força)
Doença pulmonar obstrutiva crônica	Não	Sim (aeróbio e força)
Doença vascular periférica	Sim (aeróbio via redução de fatores de risco)	Sim (aeróbio e força)
Hipertensão	Sim (aeróbio em estudos epidemiológicos)	Sim (aeróbio e força)

Insuficiência cardíaca congestiva	Possível por prevenir doença arterial coronariana e hipertensão	Sim (aeróbio e força)
Insuficiência renal crônica	Possível por prevenir diabetes e hipertensão	Sim (aeróbio e força)
Osteoporose	Sim (aeróbio e força)	Sim (principalmente força)

Fonte: adaptado de Pithon-Curi (2013, p. 294).

Figura 4.8 | Risco de mortalidade e sua relação com o grau de exercícios físicos por equivalente metabólico (MET) (A) e porcentagem de mortes e sua relação com o grau de exercícios físicos (B)



Fonte: Pithon-Curi (2013, p. 294).

Exercício físico, doenças infecciosas, câncer e resposta imune

A realização de exercícios físicos (de moderada intensidade) de forma crônica parece diminuir o aparecimento de algumas doenças infecciosas, como as do trato respiratório das vias superiores (NIEMAN, 1994) e alguns tipos de câncer (BROWN et al. 2012). Porém quando o exercício físico apresenta uma demanda fisiológica excessiva, como em uma corrida de maratona (42 km e 195 m) ou em atletas com excesso de cargas de treinamento, há uma maior suscetibilidade ao aparecimento de doenças infecciosas, possivelmente por causar depleção do sistema imunológico (NIEMAN, 1994). Entretanto, a contaminação por algumas doenças infecciosas está mais relacionada ao modo que o indivíduo interage com o meio ambiente, através da exposição a vírus e bactérias, seja por contato com material biológico contaminado de outro indivíduo infectado por diferentes formas específicas ou pelo ar contaminado. Neste caso, ser ativo fisicamente pode não oferecer nenhuma

proteção quanto à exposição às diferenças formas de contágio das doenças infectocontagiosas.

Contudo, a prática habitual de atividade física e/ou exercícios físicos parece ser um importante fator protetor para o aparecimento de diferentes tipos de câncer (principalmente o câncer de cólon) (McARDLE; KACTH; KACTH, 2016). É importante caracterizar o câncer como uma doença relacionada ao crescimento descontrolado de células anormais e defeituosas, podendo existir mais de 100 tipos diferentes, divididos em carcinomas (desenvolvem a partir de células epiteliais), leucemias (desenvolvem a partir de células do sangue), linfomas (desenvolvem a partir de células imunes) e sarcomas (desenvolvem a partir de células do tecido conjuntivo) (McARDLE; KACTH; KACTH, 2016).

Adicionalmente, o exercício físico (antes e após o diagnóstico da doença) pode ser utilizado como forma de tratamento em indivíduos com câncer, podendo auxiliar tanto na taxa de sobrevida quanto no tempo de internação pós-cirúrgico (BANERJEE et al., 2018) ou até mesmo como meio de reverter os efeitos de fadiga, perda de força e massa muscular após tratamentos (como radioterapia ou quimioterapia), visando a reestabelecer a capacidade funcional do paciente (BROWN et al., 2012; McARDLE; KACTH; KACTH, 2016).

Exercício físico e emagrecimento

Atualmente, existe uma infinidade de receitas dietéticas e exercícios físicos que estão disponíveis na internet e que prometem resultados milagrosos. Porém grande parte dessas "receitas milagrosas" não apresentam evidências científicas e podem comprometer a saúde. Pessoas que estão com sobrepeso e obesidade são as que procuram diferentes estratégias para reduzir o peso corporal, sobretudo com o objetivo de reduzir o excesso de gordura. O excesso de peso e a obesidade representam um problema de saúde que tem crescido no mundo todo. Em crianças, o número de crianças e adolescentes obesos cresceu cerca de 10 vezes, segundo estudo liderado pela ***Imperial College London*** e pela Organização Mundial da Saúde (2017). Grande parte dos indivíduos obesos, em idade adulta, desenvolvem outras doenças, como diabetes tipo 2, doenças cardiovasculares, síndrome metabólica, etc. Além disso, inúmeros fatores fisiológicos, psicológicos e comportamentais contribuem

para um excesso da ingesta energética alimentar e níveis reduzidos de atividade física (SILVA, 2013).

Reflita

Segundo McArdle, Katch e Katch (2016, p. 818), são vários os fatores que predispõem o surgimento da obesidade e do ganho de peso na população, como:

a) Transtornos alimentares e o meio ambiente alimentar.

b) Acondicionamento dos alimentos, que promove busca espontânea por alimentos.

c) Imagem corporal distorcida (percepção distorcida da imagem corporal).

d) Taxa metabólica de repouso reduzida.

e) Termogênese induzida pela dieta (TID) reduzida.

f) Nível reduzido de termogênese por atividade física espontânea sem exercícios.

g) Temperatura corporal basal reduzida.

h) Suscetibilidade a infecções virais.

i) Trifosfato de adenosina, lipoproteína lipase e outras enzimas celulares diminuídas.

j) Níveis reduzidos de tecido adiposo marrom metabolicamente ativo.

Fatores genéticos (que representam entre 40 e 70%) são considerados importantes, pois agem no controle de peso corporal, afetando o gasto energético, o apetite e o comportamento alimentar. Outros fatores, como o ambiente (influenciado por fatores econômicos, políticos e sociocultural), podem também causar mudanças nos genes associados à obesidade, como os tipos de nutrientes ingeridos e a prática de atividade física. Os fatores fisiológicos são explicados de acordo com vários sinais (sinalizadores químicos e fisiológicos), que são de curto e longo prazo. Esses sinais são neuroendócrinos e, em geral, liberados pelos tecidos e órgãos periféricos, em especial o tecido adiposo. Segundo Silva (2013, p. 302):

> **Os sinais químicos incluem leptina, insulina, algumas citocinas, amilina e adiponectina. A produção dessas moléculas de sinalização reflete o estado metabólico do tecido adiposo e age no controle da homeostase energética. No trato gastrintestinal, são produzidos sinais que exibem ritmicidade e são sincronizados com os episódios de ingestão alimentar. (SILVA, 2013, p. 302)**

Logo, alguns desses mediadores químicos podem estar "desequilibrados" devido a um excesso de gordura corporal, como é caso da leptina (SILVA, 2013). Outros mediadores químicos são liberados no trato gastrointestinal e são mapeados pelo sistema nervoso central para controlar o estoque energético através das sensações de saciedade alimentar nos momentos prévios a após as refeições, por exemplo.

Desta forma, devido aos vários fatores que estão relacionados com a obesidade, torna-se complexa a intervenção profissional para resultar em perda de peso em indivíduos com sobrepeso e obesos. Para isso é necessário inicialmente realizar a identificação correta do sobrepeso e dos diferentes tipos de obesidade.

O excesso de peso (sobrepeso) e a obesidade são identificados e classificados pelo índice de massa corporal (IMC) e/ou o percentual de gordura (pela avaliação da composição corporal), como ferramenta de avaliação do estado nutricional e excesso de gordura no corpo, desde as idades infantis até as mais avançadas (ver Tabelas 4.4 e 4.5, respectivamente).

Exemplificando

Tabela 4.4 | Classificação do sobrepeso e da obesidade pelo cálculo do IMC em adultos

Categoria	IMC (kg/m2)
Baixo peso	< 18,5
Normal (eutrófico)	18,5 a 24,9
Sobrepeso	25 a 29,9
Obesidade grau I	30 a 34,9
Obesidade grau II	35 a 39,9
Obesidade grau III (mórbida)	≥ 40

Fonte: adaptada de Silva (2013, p. 304).

Tabela 4.5 | Valores de referência da porcentagem de gordura corporal

	7 a 17 anos		18 a 50 anos		>50 anos	
	M	F	M	F	M	F
Muito acima da média[1]	>25	>31	>25	>32	>30	>37
Acima da média	21 a 25	26 a 30	17 a 24	27 a 31	26 a 29	31 a 36
Média	10 a 20	15 a 25	14 16	23 a 26	20 a 25	25 a 30
Abaixo da média	6 a 10	12 a 14	6 a 12	12 a 22	-	-
Muito abaixo da média[2]	<6	<12	<5	<12	-	-

[1] Risco para doenças associadas à obesidade. [2] Risco para doenças associadas à desnutrição. M = sexo masculino; F = sexo feminino.

Fonte: adaptada de Silva (2013, p. 304).

No que diz respeito ao exercício físico, existem algumas recomendações que podem auxiliar para uma perda de peso mais eficaz. Mas para isso devem ser considerados os princípios de individualidade biológica de cada pessoa. Dessa forma, antes de iniciar um programa de emagrecimento, recomenda-se a realização de ao menos um teste de esforço, com as seguintes especificações: a) realização de teste de esforço para avaliação cardiorrespiratória, mas de baixa carga de trabalho (2 a 3 equivalentes metabólicos (MET) e incrementos pequenos a cada estágio (0,5 a 1 MET)), e prolongar o estágio inicial caso a pessoa tenha dificuldade de ajuste na realização do esforço no ergômetro ou até mesmo repetir o teste; b) ficar atento às comorbidades, limitações ortopédicas; c) utilizar ergômetros de perna ou braço; d) seguir normalmente com as medicações, sem qualquer interferência; e) aferir a pressão arterial durante o teste e ter atenção ao tamanho do manguito. A prescrição de exercício deverá seguir algumas recomendações gerais, conforme apresentadas na Tabela 4.6 (ACSM, 2007), além de buscar a realização de pelo menos 150 minutos por semana de exercícios de intensidade moderada, considerando-se a dose ótima de atividade física $\geq$ 2.000 kcal/semana, que equivale a cerca de 200 a 300 minutos por semana para a maioria das pessoas (ACSM, 2007). Assim, programas de exercícios físicos somados irão auxiliar nos programas de redução de peso corporal de forma mais efetiva. Logo, grandes mudanças comportamentais serão exigidas em um programa de emagrecimento, sendo muitas vezes necessário

um acompanhamento multidisciplinar, com auxílio do profissional da Psicologia, Medicina, Nutrição, Fisioterapia e Educação Física.

Tabela 4.6 | Recomendações resumidas da programação de exercício físico

Componentes do programa de treinamento	Frequência (sessões/ sem.)	Intensidade	Duração	Atividade
Cardiorrespiratórios	3-5 dias/sem.	40%/50%-85% da FCR ou do VO_2R 55%/65%-90% da FCmax 12-16 da escala de PSE	20-60 min.	Grandes grupos musculares. Atividade dinâmica.
Resistência	2-3 dias/sem.	Realizar RM (ex.: 19-20 PSE) ou parar com 2-3 repetições antes da RM prevista (ex.: 16 de PSE).	1 série de 3-20 repetições (ex.: 3-5, 8-10, 12-15 rep.).	8-10 exercícios e incluir todos os grandes grupamentos musculares.
Flexibilidade	Mínima de 2-3 dias/sem. Ideal 5-7 dias/ sem.	Alongar até perceber uma retração no final da amplitude de movimento, porém não até a dor.	15-30 segundos 2-4x alongamento.	Alongamento estático de todos os principais grupos musculares.

FCR = frequência cardíaca de reserva; VO_2R = consumo de reserva; RM = repetições máximas; PSE = percepção subjetiva de esforço pela escala de Borg de 15 pontos (6-20).

Fonte: adaptada de ACSM (2007, p. 157).

Contudo, a prescrição para programas de emagrecimento para obesos deve-se adequar às necessidades individuais de ajustes das intensidades de esforço, duração e os diferentes tipos de exercício físico. Além disso, ajustes individuais devem ser considerados na tentativa de promover elevação do dispêndio energético global e na necessidade de promover cuidados quanto ao risco de lesões ortopédicas e de controlar as respostas fisiológicas cardiovasculares nos esforços aeróbios e cardiorrespiratórios.

Sem medo de errar

Como vimos anteriormente, o professor Marcelo atende a uma grande variedade de pessoas em programas de condicionamento físico. Nos dias atuais, vários estudos apresentam resultados positivos da atividade física na saúde de diferentes populações, principalmente daquelas com idades mais avançadas. Esses resultados vão desde a utilização da atividade física como forma de prevenção, até sua atuação como terapia auxiliar no tratamento de diversas doenças. Grande parte desses benefícios são acompanhados de uma melhora de praticamente todos os sistemas corporais e do funcionamento das

funções fisiológicas do ser humano. Entretanto, é difícil estabelecer qual é a melhor relação dose-resposta do exercício físico nas diferentes situações e contextos clínicos para benefício da saúde global do ser humano. Como podemos ajudar o professor Marcelo a encontrar a resposta para este problema?

Neste caso, o professor Marcelo deverá se preocupar com as questões particulares de cada situação e contextos clínicos, seguir as recomendações mais adequadas para cada tipo de população e adequar as individualidades biológicas, realizando os ajustes necessários, sem fugir dos objetivos de cada programa de exercício físico.

Avançando na prática

Atenção ao exercício físico na escola com alunas gestantes

Descrição da situação-problema

O professor Marcelo atua em uma escola grande, em várias turmas do ensino médio. Neste ano letivo, ele terá três alunas gestantes, que participarão de suas aulas de Educação Física. Todas elas não apresentam contraindicações médicas para a prática de exercícios físicos, porém quais são os sinais a que o professor terá que atentar durante as suas aulas de Educação Física nas turmas das alunas grávidas?

Resolução da situação-problema

O professor Marcelo deverá ficar atento aos seguintes sinais para interrupção do exercício físico:

Sangramento vaginal.

Dispneia antes do esforço.

Tontura.

Dor de cabeça.

Dor no peito.

Fraqueza muscular.

Dor ou tumefação ou inchaço na panturrilha (necessidade de excluir a tromboflebite).

Parto prematuro.

Diminuição do movimento fetal.

Vazamento de líquido amniótico.

Faça valer a pena

1. Analise as seguintes asserções com relação ao exercício físico na gestação.

I. Na gestação, a prática de atividade física ou de exercícios físicos, para atingirem resultados importantes para a saúde da mãe, durante e após parto, e para o bebê, devem seguir alguns cuidados.

II. As mulheres grávidas sempre eram encorajadas à prática de atividade física e/ou exercícios físicos por acreditar-se em benefícios para a mãe e para o feto na gestação.

III. Assim, estudos têm mostrado que existem vários benefícios associados à prática de exercícios físicos na gravidez, como redução do risco de diabetes melitus gestacional, da resistência à insulina durante a gravidez, da pré-eclâmpsia (distúrbio hipertensivo associado a insuficiência hepática, insuficiência renal, coágulos sanguíneos e hemorragia cerebral nas gestantes), de elevação da pressão arterial e de proteinúria em algumas mulheres durante a gravidez.

Assinale a alternativa correta.

a) Somente a assertiva I está correta.
b) Somente a assertiva II está correta.
c) Somente as assertivas I e II estão corretas.
d) Somente as assertivas I e III estão corretas.
e) Todas as assertivas estão corretas.

2. A realização de programas de exercícios físicos parece exercer grande influência e proteção ao organismo humano, causando benefícios fisiológicos (nos sistemas cardiovascular, muscular e esquelético), psicológicos e sociais, até mesmo em indivíduos idosos. Identifique a seguir uma evidência de benefício fisiológico promovido pela atividade física regular à saúde do idoso.

Assinale a alternativa correta.

a) Melhora dos níveis glicêmicos, da atividade das catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) e da qualidade e quantidade de sono e melhora da resistência aeróbia/cardiovascular.
b) Melhora do estado de relaxamento, redução do estresse e ansiedade e melhoria do estado de humor.

c) Melhora da valorização de indivíduos idosos na sociedade e melhoria da integração social, além dos efeitos na manutenção e melhoria de contato entre gerações.
d) Melhora do estado de relaxamento, aumento do estresse e ansiedade e melhora do estado de humor e separação do contato entre gerações.
e) Melhora dos níveis glicêmicos, da atividade das catecolaminas (como no estado de humor), mas com redução da qualidade e quantidade de sono, e melhora da resistência aeróbia/cardiovascular.

3. Considere V para verdadeiro e F para falso, ao analisar as seguintes afirmações.

1. ( ) Grande parte de indivíduos obesos, em idade adulta, desenvolvem outras doenças, como diabetes tipo 2, doenças cardiovasculares, síndrome metabólica, etc.
2. ( ) Além disso, inúmeros fatores fisiológicos, psicológicos e comportamentais contribuem para um excesso da ingesta energética alimentar e níveis reduzidos de atividade física.
3. ( ) Fatores genéticos não são considerados importantes, pois agem unicamente no controle de peso corporal, não afetando o gasto energético, o apetite e o comportamento alimentar.
4. ( ) Os fatores fisiológicos são explicados de acordo com vários sinais (sinalizadores químicos e fisiológicos) e são classificados como de curto e longo prazo.

Assinale a alternativa a seguir com a sequência correta de verdadeiro e falso das assertivas apresentadas.

a) V – V – V – V.
b) V – V – V – F.
c) V – V – F – V.
d) F – F – V – F.
e) V – F – V – F.

Referências

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE (ACSM). **Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

_____. **ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. 9. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2014.

ARTAL, R.; O'TOOLE, M. Guidelines of the American College of Obstetricians and Gynecologists for exercise during pregnancy and the postpartum period. **British Journal of Sports Medicine**, v. 37, n. 1, p. 6-12, 2003

BANERJEE, S. et al. Vigorous intensity aerobic interval exercise in bladder cancer patients prior to radical cystectomy: a feasibility randomised controlled trial. **Supportive Care in Cancer**, v. 26, n. 5, p. 1515-1523, 2018.

BATISTA, D. C. et al. Atividade física e gestação: saúde da gestante não atleta e crescimento fetal. **Revista Brasileira de Saúde Materno Infantil**, v. 3, n. 2, p. 151-8, 2003.

BARAKAT, R. et al. Exercise during pregnancy. A narrative review asking: what do we know? **British Journal of Sports Medicine**, v. 49, n. 21, p. 1377-81, 2015.

BERTUZZI, R.; LIMA-SILVA, A. E. Consumo máximo de oxigênio. In. BERTUZZI, R.; BRUM, P. C.; ALVES, C. R. R. (Orgs.). **Aptidão aeróbia**: desempenho esportivo, saúde e nutrição. Barueri, SP: Manole, 2017. cap. 6, p. 77-86.

BROWN, J. C. et al. Cancer, physical activity, and exercise. **Comprehensive Physiology**, v. 2, n. 4, p. 2775-2809, 2012.

CHODZKO-ZAJKO, W. J. (Ed.). The World Health Organization issues guidelines for promoting physical activity among older persons. Journal of Aging and Physical Activity, v. 5, p. 1-8, 1997.

CHODZKO-ZAJKO, W. J. et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. **Medicine Science and Sports and Exercise**, Madison, v. 41, n. 7, p. 1510-30, 2009.

CIOSAK, S. I. et al. Senescência e senilidade: novo paradigma na atenção básica de saúde. **Rev. Esc. Enferm**. USP, v. 45, esp. 2, p. 1.763-8, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/2Lw2lmj>. Acesso em: 17 set. 2018.

DA SILVA, R. C. Treinamento aeróbio intervalado. In. BERTUZZI, R.; BRUM, P. C.; ALVES, C. R. R. (Orgs). **Aptidão aeróbia**: desempenho esportivo, saúde e nutrição. Barueri, SP: Manole, 2017. cap. 19, p. 286-298.

GARCIA, E. S.; RODRIGUES, L. O. C. Hipertermia durante a prática de exercícios físicos: riscos, sintomas e tratamento. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v. 19, n. 3, 1998. Disponível em: <http://rbce.cbce.org.br/index.php/RBCE/article/view/827/496>. Acesso em: 17 set. 2018.

GREGG, V. H.; FERGUSON, J. E. Exercise in pregnancy. **Clinics in sports medicine**, v. 36, n. 4, p. 741-752, 2017.

HERDY, A. H.; CAIXETA, A. Classificação nacional da aptidão cardiorrespiratória pelo consumo máximo de oxigênio. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 106, n. 5, p. 389-395, 2016.

KHAN ACADEMY EM PORTUGUÊS. Termo regulação: princípios de fisiologia. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=13CiKXYqSZI&feature=youtu.be>. Acesso em: 17 set. 2018. (Vídeo do Youtube)

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; DESCHENES, M. R. **Fisiologia do exercício**: teoria e prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

LAMBERTUCCI, R. H. Envelhecimento. In: PITHON-CURI. T. C. **Fisiologia do exercício**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

McARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício**: nutrição, energia e desempenho humano. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016.

NIEMAN, D. C. Exercise, infection, and immunity. **International Journal of Sports Medicine**, v. 15, n. 3, p. S131, 1994.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Obesidade entre crianças e adolescentes aumentou dez vezes em quatro décadas, revela novo estudo do Imperial College London e da OMS. 10 out. 2017. Disponível em: <https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5527:obesidade-entre-criancas-e-adolescentes-aumentou-dez-vezes-em-quatro-decadas-revela-novo-estudo-do-imperial-college-london-e-da-oms&Itemid=820>. Acesso em: 17 set. 2018.

PITHON-CURI. T. C. **Fisiologia do exercício.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. 8. ed. Barueri: Manole, 2014.

RIEBE, D. **Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição**. 10. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2018.

SAWKA, M. N. et al. American College of Sports Medicine position stand: exercise and fluid replacement. **Medicine Science and Sports and Exercise**, v. 39, n. 2, p. 377-390, 2007.

SILVA, C. N. B. Obesidade e exercício físico. In: PITHON-CURI, T. C. **Fisiologia do exercício**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.

THIVEL, D. et al. High-intensity interval training in overweight and obese children and adolescents: systematic review and meta-analysis. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, [Epub ahead of print], 2018.

WEWEGE, M. et al. The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. **Obesity Reviews**, v. 18, n. 6, p. 635-646, 2017.

ISBN 978-85-522-1121-1