

Fisiologia do exercício

Autores

Felipe Natali Almeida

Graduado em Educação Física pela UEM

Mestre em Ciências Biológicas pela UEM

Doutor em Fisiologia Humana pela USP

O autor é graduado em Educação Física, porém sempre teve um direcionamento para as ciências básicas, levando-o a sua busca por conhecimentos adicionais na área da Ciências Biológicas e da Fisiologia Humana. Teve como linha de estudo a fisiologia do exercício, o metabolismo humano em diversas situações, incluindo o exercício físico, a obesidade e suas formas de desenvolvimento e suas repercussões clínicas e a fisiologia endócrina.

Ana Amélia Anzolin

Graduada em Educação Física pela UEM

Especialista em Morfofisiologia Aplicada ao Exercício pela UEM

Mestre em Educação Física pela UEM

A autora possui graduação em Educação Física pela Universidade Estadual de Maringá, especialização em Morfofisiologia aplicada ao Exercício pela Universidade Estadual de Maringá e mestrado em Trabalho e Formação em Educação Física pela Universidade Estadual de Maringá. Atualmente é professora de educação física escolar e professora assistente no Ensino Superior. Tem experiência na área de Supervisão de Estágio, Educação Física Escolar, Pedagogia do Esporte, Fundamentos da Ginástica em Geral, Organização e Administração em Educação Física e Esportes, Fundamentos em Lutas e Prevenção e Emergência em Educação Física Escolar. Desenvolve na IES projeto de evento de extensão Escola de Natação e Hidroginástica e projeto de evento de extensão Oficina de Ginástica Geral.

INTRODUÇÃO

Olá aluno(a), sou o professor Felipe, responsável por acompanhar você no módulo de Fisiologia do Exercício. Módulo este de grande importância, visto que o mesmo é a base para auxiliar e até mesmo, facilitar a compreensão de todas as demais disciplinas mais associadas ao exercício físico.

Nosso livro iniciará abordando as formas de obtenção de energia pelo corpo humano para que o mesmo possa realizar suas diversas formas de trabalho, incluindo aqui, o movimento humano. Para tanto, discutiremos na primeira unidade as vias bioenergéticas principais, assim como seu uso nas variadas fases metabólicas atreladas ao movimento/tipos de exercício físico.

Dando continuidade, nossa segunda unidade englobará os sistemas captadores e distribuidores de oxigênio pelo corpo humano, assim como as adaptações sofridas para aumentar a eficácia deste processo durante a realização do exercício.

A partir do momento que entendemos como o corpo consegue obter energia, em nossa terceira unidade entraremos em contato com os mecanismos neurais produtores do movimento humano, assim como todas as bases moleculares atreladas ao processo de contração muscular.

Já na unidade quatro, finalizaremos nosso conteúdo relatando sobre as adaptações ocorridas com o organismo humano em resposta a uma rotina de treinamento, ou seja, adaptações crônicas. Neste momento, serão expostos os efeitos do treinamento de resistência e do treinamento resistido, cada qual com suas adaptações específicas.

Desta forma, espero que possa aproveitar este módulo. Boa leitura!

UNIDADE II

Fornecendo oxigênio aos tecidos ativos

Felipe Natali Almeida

Um dos principais desafios a homeostase imposto pelo exercício é o aumento da demanda muscular por oxigênio. Durante o exercício intenso, a demanda pode se tornar 15-25 vezes maior do que no repouso. O principal propósito do sistema cardiorrespiratório é distribuir quantidades adequadas de oxigênio e eliminar os resíduos formados nos tecidos corporais. Além disso, o sistema cardiovascular também atua transportando nutrientes e ajuda a regular a temperatura e o sistema respiratório atua como auxiliar no equilíbrio de ácidos e bases do corpo. É importante lembrar que o sistema respiratório e cardiovascular atuam como uma “unidade conjunta”, visto que o sistema respiratório adiciona oxigênio e remove dióxido de carbono no sangue, enquanto o sistema cardiovascular é responsável pela distribuição do sangue oxigenado e dos nutrientes aos tecidos, de acordo com suas necessidades. Em resumo, estes dois sistemas atuam de forma coordenada para manter a homeostasia do oxigênio e do dióxido de carbono nos tecidos corporais.

SISTEMA CARDIOVASCULAR E EXERCÍCIO

Organização do sistema cardiovascular

O sistema cardiovascular consiste em um sistema fechado por meio do qual o sangue circula por todos os tecidos corporais. A circulação sanguínea requer a ação de uma bomba muscular, o **coração**, que cria a força propulsora necessária para movimentar o sangue ao longo do sistema de vasos. O sangue viaja pelo corpo saindo do coração pelas **artérias** e retornando pelas **veias**. Este sistema é considerado fechado porque as artérias e veias permanecem em continuidade entre si através de vasos menores. As **artérias** ramificam-se extensivamente para formar uma rede de vasos menores denominados **arteríolas**, que continuam se ramificando em vasos menores denominados de **capilares**. Estes são os menores e mais numerosos vasos sanguíneos do corpo. A partir deste ponto, o sangue passa a retornar em sentido ao coração por meio do reagrupamento dos vasos capilares em **vênulas**. Conforme as vênulas seguem de volta ao coração, aumentam de tamanho e transformam-se em **veias**. As veias principais esvaziam-se no coração.

Coração

O coração está dividido em quatro câmaras e, frequentemente, é descrito como sendo duas bombas em uma. O átrio e ventrículo direitos formam a bomba direita, enquanto o átrio e ventrículo esquerdos constituem a bomba esquerda. Estes lados são separados por uma parede muscular denominada septo interventricular, evitando que o sangue presente em cada um dos lados se misture. No coração, o sangue move-se dos átrios para os ventrículos e a partir daí, para

dentro das artérias. Para prevenir o movimento retrógrado do sangue, o coração conta com quatro valvas, as atrioventriculares (que impedem o movimento retrógrado do sangue do ventrículo de volta para os átrios), a valva semilunar aórtica (que impede o retorno do sangue da aorta para o ventrículo esquerdo) e a valva semilunar pulmonar (que impede o retorno de sangue das artérias pulmonares para o ventrículo direito) (Figura 2.1).

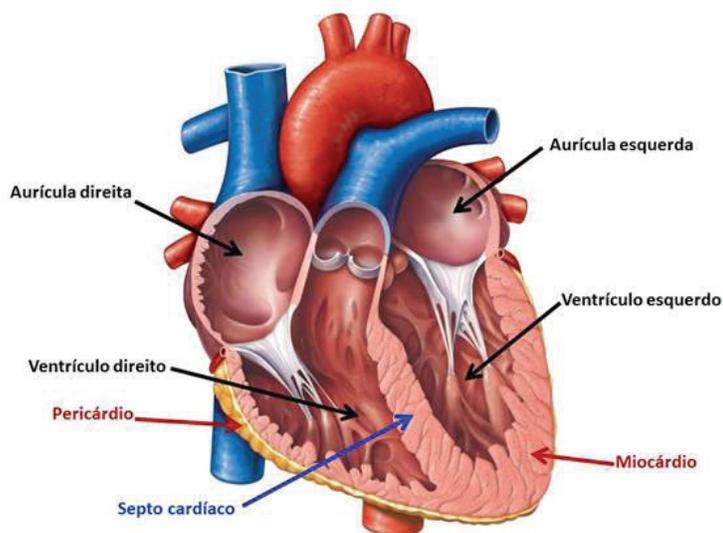


Figura 2.1: Visão simplificada do coração: observe aqui a localização das valvas entre os átrios e ventrículos e entre os ventrículos e os grandes vasos

Fonte: Powers e Howley (2012)

Outra particularidade do tecido que compõe o coração é sua parede, subdividida em três camadas, sendo, de dentro para fora, denominadas de endocárdio, miocárdio e epicárdio (para uma noção geral das três camadas: Figura 2.2). O **endocárdio** é a camada interna composta por células endoteliais que atuam como uma barreira entre o sangue presente dentro das câmaras cardíacas e a parede cardíaca. O **miocárdio** é a camada intermediária, formada por células musculares, sendo responsável pela contratilidade do coração e capaz de se adaptar às exigências impostas a ele hipertrofiando (para uma comparação entre as

musculaturas cardíacas, esqueléticas e lisas: Tabela 2.1). Já o **epicárdio**, a camada mais externa, funciona como uma capa protetora e que também minimiza o atrito do coração como estruturas externas a ele.

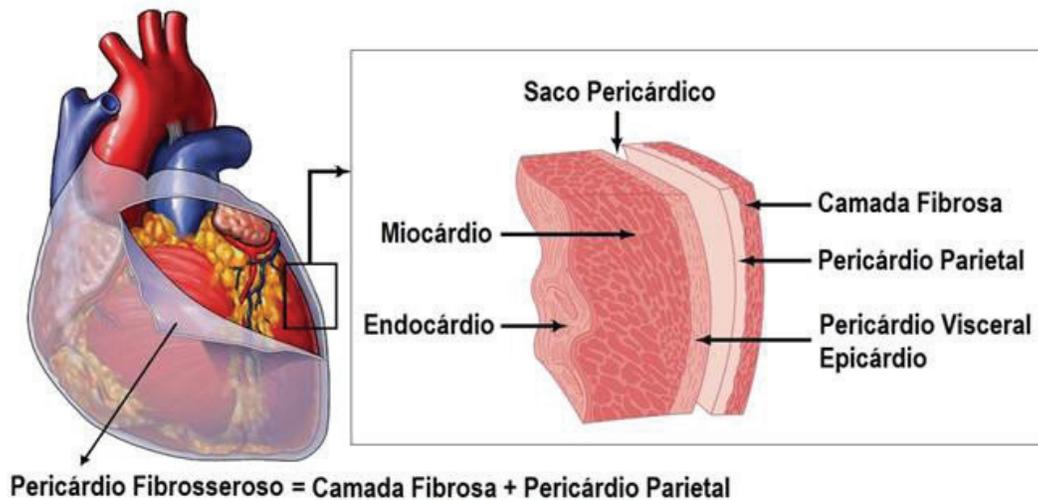


Figura 2.2: A parede do coração e suas três camadas

Fonte: Powers e Howley (2012)

Circulação pulmonar e sistêmica

Também conhecidas como pequena e grande circulação, a circulação pulmonar e sistêmica (respectivamente) tem características distintivas entre elas. A circulação pulmonar é restrita ao coração e pulmão e tem por finalidade a oxigenação do sangue e a remoção do dióxido de carbono presente na mesma. O sangue que retorna ao átrio direito por meio das grandes veias, passa para o ventrículo direito e é ejetado para as artérias pulmonares, que o direciona ao pulmão para realização das trocas gasosas. Após esta etapa, o sangue oxigenado retorna ao átrio esquerdo pelas veias pulmonares. Note que nesta circulação temos sangue desoxigenado circulando por artérias e sangue oxigenado circulando por veias. Já a circulação sistêmica ocorre entre o coração e os demais tecidos do organismo. Inicia-se com o sangue oxigenado fluindo do átrio esquerdo para o ventrículo

esquerdo que ejeta este sangue para a aorta que irá distribuí-lo a todos os tecidos do corpo (Figura 2.3).

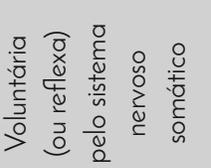
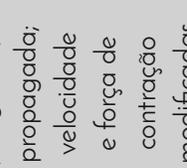
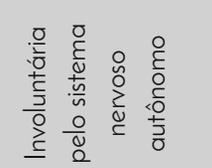
Tipo de músculo	Localização	Aspecto	Tipo de atividade	Estimulação
<p>Músculo esquelético</p> 	<p>Músculo designado (p. ex, bíceps do braço) aderido ao esqueleto e a fascia dos membros, parede corporal e cabeça/pescoço</p>	<p>Fibras cilíndricas grandes e longas, sem ramificações, com estrias transversas (listras) organizadas em feixes paralelos; múltiplos núcleos de localização periférica</p>	<p>Contração intermitente vigorosa e rápida acima do tônus basal; atua principalmente para produzir movimento ou resistir à gravidade</p>	<p>Voluntária (ou reflexa) pelo sistema nervoso somático</p>
<p>Músculo cardíaco</p> 	<p>Músculo do coração (miocárdio) e porções adjacentes dos grandes vasos (aorta, veia cava)</p>	<p>Fibras mais curtas com ramificações e anastomoses, com estrias transversas orientadas paralelamente, com conexões término-terminais por junções complexas (discos intercalados); um único disco central</p>	<p>Contração rítmica contínua, rápida e vigorosa; bombeia o sangue a partir do coração</p>	<p>Involuntária; estimulação intrínseca (miogênica) e propagada; velocidade e força de contração modificadas pelo sistema nervoso autônomo</p>
<p>Músculo liso ("não-estriado" ou "involuntário")</p> 	<p>Paredes das vísceras ocas e dos vasos sanguíneos, e corpo ciliar do olho; aderido aos folículos pilosos da pele (músculo eretor dos pelos)</p>	<p>Fibras únicas ou pequenas e aglomeradas, sem estrias; um único núcleo central</p>	<p>Contração tônica fraca, lenta, rítmica ou contínua; atua principalmente para impulsionar substâncias e restringir o fluxo (vasoconstrição e atividade esfinteriana)</p>	<p>Involuntária pelo sistema nervoso autônomo</p>

Tabela 2.1: Comparação entre os três tipos de músculos presentes no corpo humano

Fonte: McArdle, Katch e Katch (2008)

Ciclo cardíaco

O ciclo cardíaco refere-se ao padrão repetitivo de contração e relaxamento do coração. A fase de contração é denominada sístole, e o período de relaxamento é chamado de diástole. Em repouso, a contração ventricular durante a sístole ejeta cerca de $\frac{2}{3}$ do sangue contido nos ventrículos, deixando cerca de $\frac{1}{3}$ ainda nos ventrículos. Esses, então, enchem-se de sangue durante a diástole seguinte. Para termos uma noção do tempo necessário para realização de cada ciclo, se apresentarmos uma frequência cardíaca de 75 batimentos por minuto, isso significa que o ciclo cardíaco total terá uma duração de 0,8 segundos (60s dividido por 75 batimentos), sendo que 0,5 segundos corresponderá a diástole e 0,3 segundos a sístole. Se os batimentos por minuto aumentarem (por exemplo, para cerca de 180 batimentos por minuto), observa-se uma redução no tempo total de cada ciclo cardíaco, que em especial, sofrerá diminuição no tempo de diástole (a diminuição no tempo da sístole é menor) (Figura 2.4).

Durante o ciclo cardíaco também ocorre alteração de pressão dentro das câmaras. Quando os átrios estão relaxados, a pressão em seu interior é baixa, o que possibilita a entrada de sangue a partir do sistema venoso. Conforme o mesmo vai enchendo, sua pressão aumenta e torna-se superior a pressão nos ventrículos, momento que o sangue direciona-se para esta câmara. Conforme o sangue vai se direcionando para os ventrículos, a pressão ali vai aumentando também, o que direcionará o sangue para as artérias.

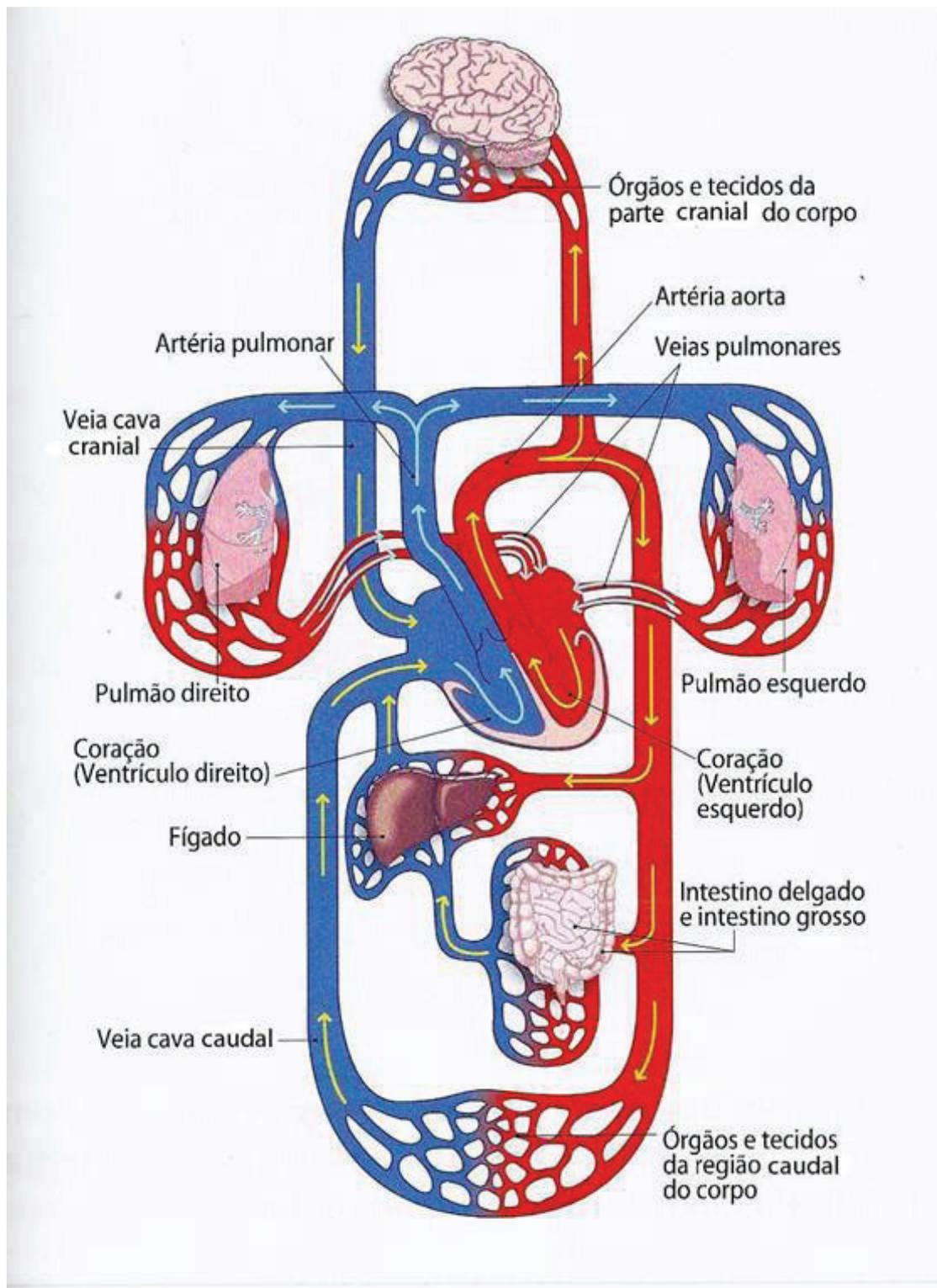


Figura 2.3: Visão geral da circulação pulmonar e sistêmica, associado a uma visão geral dos ramos da aorta, responsáveis por distribuir sangue para os demais tecidos que não o pulmão

Fonte: McArdle, Katch e Katch (2008)



Figura 2.4: Tempo do ciclo cardíaco: observe a redução no tempo total do ciclo conforme aumenta-se a frequência cardíaca (no exemplo, de 75 para 180 batimentos), assim como a redução proporcional mais significativa no tempo da diástole do que no tempo da sístole

Fonte: Powers e Howley (2012)

Pressão arterial

A pressão arterial consiste na força exercida pelo sangue contra a parede das artérias e a mesma é influenciada pelos seguintes fatores: a) Volume sanguíneo; b) Frequência cardíaca; c) Volume de ejeção; d) Resistência vascular periférica; e) Viscosidade sanguínea. Todos os fatores são diretamente proporcionais aos valores da pressão arterial, ou seja, um aumento em qualquer um destes levará a um aumento na pressão arterial e uma redução em qualquer um destes levará a uma queda na pressão arterial.

Atividade elétrica do coração

No coração normal, a atividade elétrica espontânea limita-se a uma região específica localizada no átrio direito chamada de **nodo sinoatrial (nodo SA)**, que atua como um marcapasso cardíaco. A atividade elétrica espontânea no nodo SA ocorre em função de uma queda do potencial de repouso de membrana. Quando o nodo SA atinge o limiar de despolarização e dispara a onda de despolarização, dissemina-se ao longo dos átrios e resulta na contração atrial. A onda de despolarização atrial não pode atravessar diretamente para dentro dos ventrículos,

mas deve ser transportado por meio de um condutor especializado. Este tecido condutor irradia a partir de uma pequena massa de células denominada de nodo atrioventricular (nodo AV). Esse nodo distribui esta informação aos ventrículos por um par de vias condutoras denominadas de feixes direito e esquerdo. Ao chegarem nos ventrículos estas vias condutoras se ramificam em fibras menores denominadas de fibras de Purkinje, que espalham a onda de despolarização por todo o ventrículo levando a completa contração do coração (Figura 2.5).

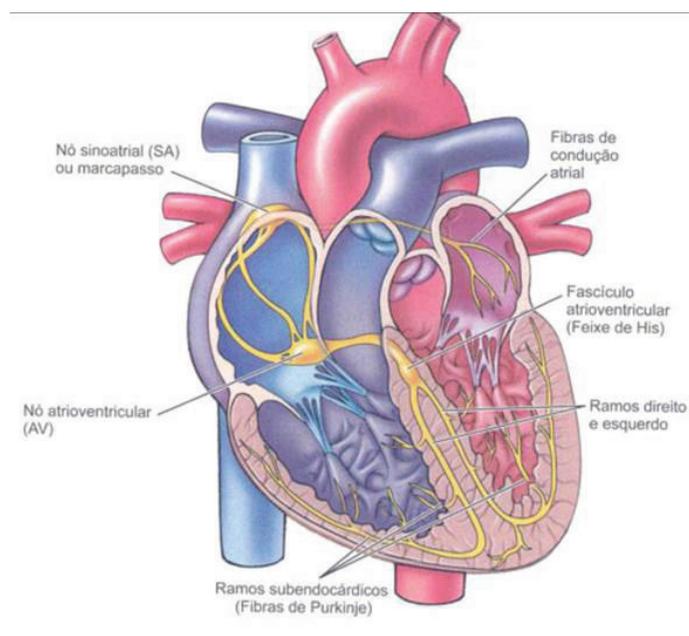


Figura 2.5: Sistema de condução elétrico do coração

Fonte: Powers e Howley [2012]

Débito cardíaco

O débito cardíaco é o produto da frequência cardíaca (FC) pelo volume sistólico (VS- quantidade de sangue bombeada por batimento cardíaco). Desta forma, o débito cardíaco pode aumentar em decorrência da elevação da frequência cardíaca ou do volume sistólico. A Tabela 2.2 apresenta valores de débito cardíaco em repouso e exercício de pessoas sedentárias e treinadas.

Indivíduo	FC (batimentos/min)		VS (ml/batimentos)		Q (l/min)
Repouso					
Homem não treinado	72	X	70	=	5,00
Mulher não treinada	75	X	60	=	4,50
Homem treinado	50	X	100	=	5,00
Mulher treinada	55	X	80	=	4,50
Exercício máximo					
Homem não treinado	200	X	110	=	22,0
Mulher não treinada	200	X	90	=	18,0
Homem treinado	190	X	180	=	34,2
Mulher treinada	190	X	125	=	23,9

Tabela 2.2: Débito cardíaco: observe os valores de débito cardíaco entre indivíduos sedentários e treinados nas condições repouso e exercício e identifique as variações na FC e VS entre eles

Fonte: Powers e Howley (2012)

Funcionamento do sistema cardiovascular em exercício

Alterações do débito cardíaco em exercício

O débito cardíaco aumenta durante o exercício de forma diretamente proporcional à taxa metabólica necessária à realização do exercício. De acordo com a Figura 2.6, podemos observar que a relação existente entre o débito cardíaco e

o percentual de consumo máximo de oxigênio (representado pela diferença de oxigênio arteriovenosa) é essencialmente linear. O aumento do débito cardíaco que ocorre durante o exercício realizado em posição vertical é mediado por um aumento do volume sistólico e da frequência cardíaca. Entretanto, em indivíduos sem treinamento ou moderadamente treinados, o volume sistólico não aumenta além de uma carga de trabalho de 40-60% do $\text{VO}_2\text{máx}$. Portanto, em taxas de trabalho maiores de 40-60% do $\text{VO}_2\text{máx}$, a elevação do débito cardíaco destes indivíduos se dá por meio de elevações apenas da frequência cardíaca. Porém, é importante salientar que em indivíduos treinados não ocorre este platô.

O débito cardíaco máximo tende a diminuir de modo linear tanto em homens quanto em mulheres após os 30 anos de idade, e isto se deve principalmente a uma diminuição da frequência cardíaca máxima que ocorre com o avanço da idade (representado pela fórmula de Karvonen = $220 - \text{idade}$).

Alterações no conteúdo arteriovenoso misto de oxigênio durante o exercício

A diferença arteriovenosa de oxigênio representa a quantidade de oxigênio captada de 100 ml de sangue pelos tecidos durante uma viagem pelo circuito sistêmico. Um aumento desta diferença durante o exercício decorre de um aumento da quantidade de oxigênio captado e usado pela produção oxidativa de ATP pelo músculo esquelético. A relação existente entre o débito cardíaco (Q) e a diferença arteriovenosa $(a-v)\text{O}_2$ e o consumo de oxigênio é dado pela equação de Fick ($\text{VO}_2 = Q \times (a-v)\text{O}_2$), que relata, de forma simplificada, que o VO_2 é igual ao produto do débito cardíaco pela diferença arteriovenosa, significando que um aumento de qualquer um dos dois levará a um aumento do VO_2 .

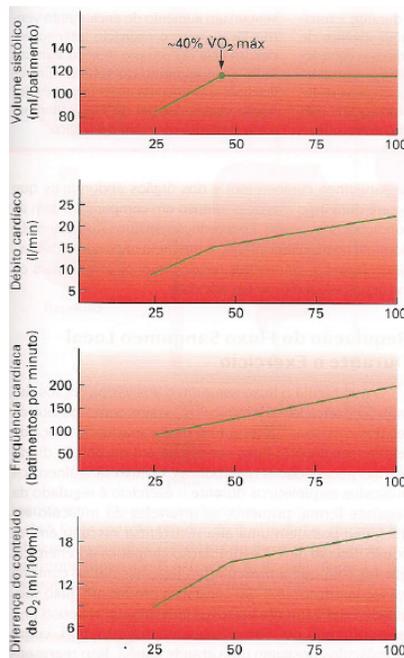


Figura 2.6: Relação entre frequência cardíaca, volume sistólico, débito cardíaco e diferença arteriovenosa de oxigênio

Fonte: Powers e Howley (2012)

Redistribuição do fluxo sanguíneo no exercício

Para atender a demanda aumentada por oxigênio dos músculos esqueléticos durante o exercício, é necessário aumentar o fluxo sanguíneo para o músculo e, ao mesmo tempo, reduzir o fluxo sanguíneo para os órgãos menos ativos, como fígado, rins e trato gastrointestinal. Durante um exercício máximo, 80-85% do débito cardíaco total é destinado ao músculo esquelético, sendo que em repouso fica em torno de 15-20%.

Fique por dentro

Óxido nítrico e sua ação vasodilatadora

O óxido nítrico é produzido no endotélio das arteríolas e promove o relaxamento da musculatura

lisa arteriolar, resultando em vasodilatação, com conseqüente aumento do fluxo sanguíneo. Evidências sugerem que o óxido nítrico atue em paralelo com outros fatores locais na autorregulação do fluxo sanguíneo e não como agente único, especialmente durante a realização do exercício físico.

Fases do exercício e a resposta cardiovascular

As alterações nas variáveis cardiovasculares que ocorrem durante o exercício refletem o tipo e a intensidade de exercício realizado, a duração e as condições ambientais na qual o exercício está sendo realizado.

Influência emocional

O exercício submáximo realizado em uma atmosfera emocionalmente carregada resulta em frequências cardíacas e pressões arteriais mais altas, em comparação ao observado quando o mesmo trabalho é realizado em um ambiente emocionalmente neutro. Esta elevação se dá ao incremento na atividade simpática ocorrido.

Transição do repouso para o exercício

No início do exercício, há um rápido aumento da frequência cardíaca, volume sistólico e débito cardíaco. Se a taxa de trabalho for constante e estiver abaixo do limiar do lactato, um platô de estado estável em termos de frequência cardíaca, volume sistólico e débito cardíaco é alcançada dentro de 2-3 minutos. Essa resposta é similar à observada no consumo de oxigênio no início do exercício.

Recuperação do exercício

A recuperação do exercício de baixa intensidade e curta duração geralmente é rápida, com todas as variáveis cardiovasculares voltando rapidamente aos níveis de repouso após este tipo de exercício. Porém, esta velocidade é variável de um indivíduo para outro, com potências de recuperação melhores em indivíduos mais bem treinados em comparação àqueles sem treinamento. Já a recuperação do exercício prolongado é bem mais lenta, sendo particularmente válido quando o exercício é realizado sob condições de calor e umidade, pois a temperatura corporal elevada retarda a queda da frequência cardíaca durante a recuperação do exercício.

Exercício incremental

As respostas cardiovasculares ao exercício incremental dinâmico envolvem incrementos em frequência cardíaca e débito cardíaco em proporção direta ao aumento no consumo de oxigênio pelos tecidos, assim como o aumento no fluxo sanguíneo sendo direcionado para o tecido. Isso garante que, conforme a necessidade de sintetizar ATP aumente, o suprimento de oxigênio que chega ao músculo também aumente. Entretanto, tanto o débito cardíaco quanto a frequência cardíaca atingem um platô em 100% do $\text{VO}_2\text{máx}$, representando o teto máximo de oxigênio capaz de ser disponibilizado para a musculatura.

Exercício intermitente

Quando o exercício é descontínuo (ex.: treinos intervalados), a extensão da recuperação da frequência cardíaca e da pressão arterial entre cada série de exercícios depende do nível de condicionamento do indivíduo, das condições ambientais e da duração e intensidade do exercício. Com a realização de um esforço relativamente leve em um ambiente frio, em geral, há recuperação completa

entre as séries de exercício em poucos minutos. Contudo, se o exercício for intenso ou o trabalho for realizado em um ambiente quente/úmido, há um aumento cumulativo da frequência cardíaca entre os esforços.

Exercício prolongado

Durante um exercício prolongado observa-se a manutenção do débito cardíaco em um nível constante ao longo de toda a duração do exercício. Entretanto, conforme a duração do exercício aumenta, o volume sistólico declina e a frequência cardíaca aumenta. Isto ocorre, geralmente, pela diminuição do volume plasmático durante o exercício prolongado, que levará a uma redução do volume sistólico e conseqüente compensação pelo aumento da frequência cardíaca.

Refleta

O exame médico e a morte súbita

A morte súbita é definida como uma morte inesperada, natural e não violenta que ocorre nas primeiras seis horas após o aparecimento dos sintomas. As causas de morte súbita cardíaca são diversas e variam com a idade, podendo ser por arritmias letais por alterações genéticas em crianças e adolescentes ou por cardiopatia coronariana em adultos. Porém, sabe-se que a combinação de uma história médica adequada com um exame médico completo realizado por um médico qualificado pode, geralmente, identificar indivíduos com cardiopatia não detectada ou defeitos genéticos que os colocariam em risco de terem morte súbita durante a prática de exercícios. Desta forma, reflita sobre o papel da avaliação médica aos praticantes de atividade física regular e/ou em novos ingressantes.

Sistema respiratório e exercício

Estrutura do sistema respiratório

O principal propósito do sistema respiratório é fornecer um meio de trocas gasosas entre o ambiente externo e o corpo. Ou seja, o sistema respiratório fornece ao indivíduo um meio de repor oxigênio e de eliminar dióxido de carbono.

Para realização de tal função, o sistema respiratório humano é composto por um grupo de passagens que filtram e transportam o ar até os pulmões, onde ocorrem as trocas gasosas no interior de microscópicos sacos aéreos chamados **alvéolos** (para uma revisão das estruturas que compõem o sistema respiratório: Figura 2.7).

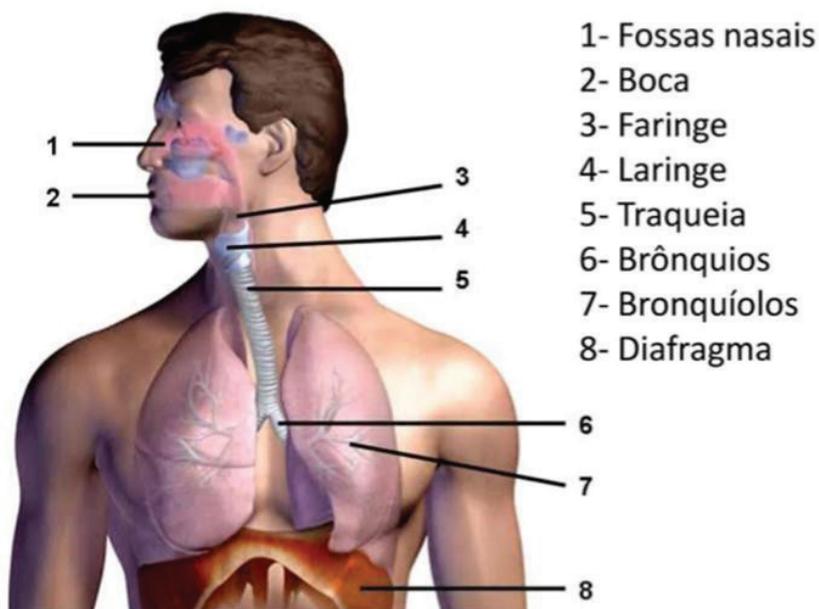


Figura 2.7: Visão geral das vias aéreas

Fonte: Powers e Howley (2012)

A passagem do ar ao longo do sistema respiratório está dividida em duas

zonas funcionais (Figura 2.8): a) zona condutora, pela qual o ar apenas passa (incluem traqueia, árvore brônquica e bronquíolos); b) zona respiratória, local onde ocorrem as trocas gasosas (incluem os bronquíolos respiratórios e os sacos alveolares).

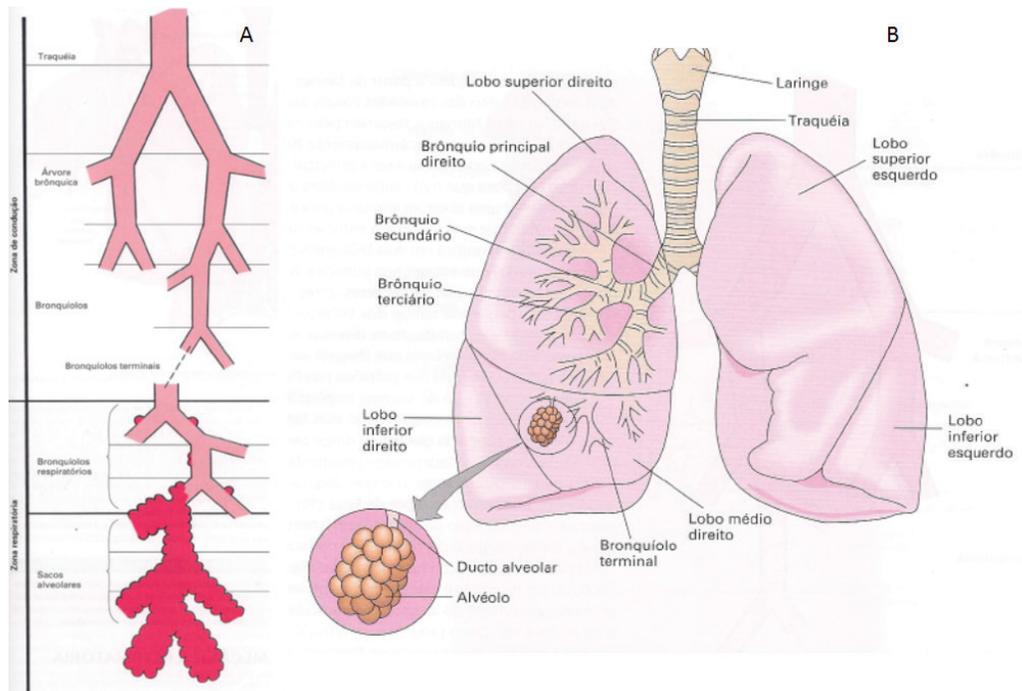


Figura 2.8: Subdivisão das vias aéreas em zona condutora e zona respiratória. Em A), visão geral e B), visão anatômica das estruturas envolvidas

Fonte: Powers e Howley (2012)

Funcionamento do sistema respiratório

Ventilação pulmonar

A ventilação pulmonar envolve o movimento do ar para dentro e para fora dos pulmões por meio de um gradiente de pressão existente entre o interior dos pulmões e a atmosfera. Logo, quando a pressão é maior no interior dos pulmões em relação à atmosfera, o ar sai (expiração) e quando a pressão na atmosfera é

maior do que a pressão no interior dos pulmões, o ar entre (inspiração).

Durante a inspiração, alguns músculos estão envolvidos na diminuição da pressão pulmonar por provocarem a expansão da caixa torácica. Estes músculos, ditos músculos inspiratórios envolvem o diafragma (principal músculo inspiratório), os músculos intercostais externos e, durante o exercício ainda são solicitados músculos inspiratórios adicionais, como o músculo peitoral, esternocleidomastoideo, levantador da escápula, escalenos, entre outros, que aumentam ainda mais a expansibilidade torácica.

Já a expiração, durante o repouso é um processo passivo, ou seja, sem a necessidade de contração de nenhuma musculatura, ocorrendo apenas pelo relaxamento das musculaturas inspiratórias. Porém, durante situações forçadas, tal qual durante o exercício, observamos a contração de musculaturas auxiliares, incluindo os músculos reto abdominal, músculos oblíquos interno e externo e músculo transverso abdominal.

Difusão dos gases

Além do processo de entrada e saída de ar dos pulmões, estes precisam adentrar na circulação sanguínea para poderem ser disponibilizados a todos os demais tecidos corporais. Para que esta troca ocorra, os gases são trocados por um processo denominado de difusão.

A difusão é um processo de troca de compostos (no caso em questão, gases) através de uma membrana permeável a eles sem a necessidade de um transportador, a favor do gradiente de concentração (ou seja, do local mais concentrado para o menos concentrado) e sem gasto de energia.

Dois são os locais no organismo onde ocorre esta troca: a) na zona respiratória pulmonar; b) nos demais tecidos que requerem oxigênio. Na zona respiratória, o sangue que entra em contato com esta região apresenta-se ricamente concentrado

em CO_2 e com uma baixa concentração de O_2 . Em contrapartida, o ar que foi inspirado e que se encontra no interior desta estrutura apresenta-se rico em O_2 e com uma baixa quantidade de CO_2 . Desta forma, durante o processo de difusão e troca, o O_2 , mais concentrado na zona respiratória, passa para a circulação sanguínea e será direcionado aos demais tecidos, e o CO_2 , mais concentrado no sangue que chegou naquela região, passa para o interior da zona respiratória e será exalado durante a expiração. Já nos tecidos, o sangue que chega até eles é rico em O_2 e pobre em CO_2 , enquanto que os tecidos apresentam-se com uma baixa quantidade de O_2 (usado para produção de ATP) e uma alta quantidade de CO_2 (produto do metabolismo oxidativo). Desta forma, a difusão e troca nesta região ocorre com a entrada de O_2 do sangue para os tecidos e a saída de CO_2 dos tecidos para o sangue (Figura 2.9).

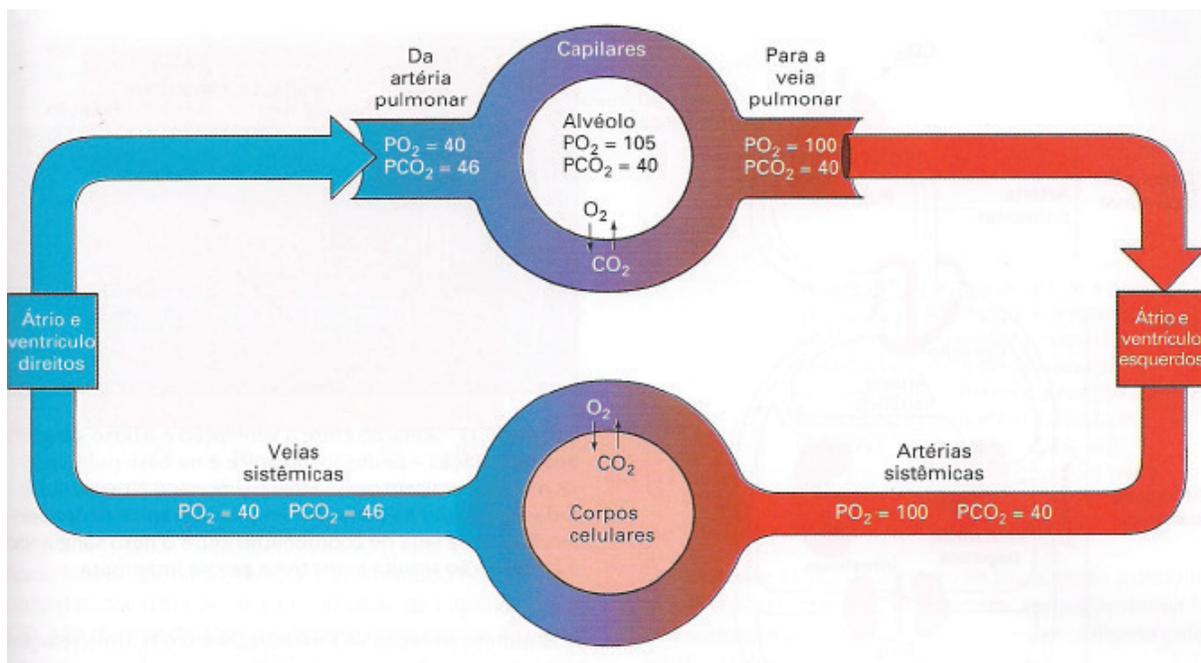


Figura 2.9: Trocas gasosas existentes entre o sangue e os alvéolos pulmonares e entre o sangue e os tecidos corporais

Fonte: Powers e Howley (2012)

Transporte de O₂ e CO₂ no sangue

Transporte de O₂

O oxigênio é transportado na circulação sanguínea de duas maneiras: a) difundido no plasma; b) ligado a hemoglobina. Cerca de 2% de todo o oxigênio circulante, na condição de repouso, encontra-se livre na circulação, enquanto 98% está ligado a hemoglobina, que acelera o processo de deslocamento do mesmo de uma região a outra no organismo. Porém, sabemos que para que a difusão ocorra, apenas o oxigênio livre no plasma tem a liberdade de realizar esta troca, necessitando que o mesmo se desligue da hemoglobina. Assim, sabe-se que alguns fatores diminuem a afinidade da hemoglobina pelo oxigênio, sendo a mesma chamada de dissociação da hemoglobina com o oxigênio.

Os fatores que influenciam esta ligação são: os níveis de oxigênio livres na circulação, os níveis de CO₂ presentes no corpo, o pH e a temperatura. Atualmente, sabemos que níveis elevados de CO₂, temperatura corporal aumentada, redução do pH e níveis baixos de oxigênio circulante diminuem a afinidade da hemoglobina pelo oxigênio, ficando mais fácil de ocorrer o desligamento destes dois componentes. O contrário é verdadeiro no que tange um aumento da afinidade da hemoglobina pelo oxigênio.

Transporte de CO₂

Assim como o oxigênio, o dióxido de carbono também encontra-se livre no plasma (cerca de 3%). Em adição, o mesmo também pode ser transportado ligado a hemoglobina (cerca de 27%), porém seu principal mecanismo de transporte é na forma de bicarbonato, por meio da reação da anidrase carbônica. Quando os níveis de CO₂ estão elevados na circulação, a anidrase carbônica catalisa a

reação de junção da H_2O com o CO_2 formando ácido carbônico, que rapidamente se dissocia em bicarbonato e H^+ (Figura 2.10).

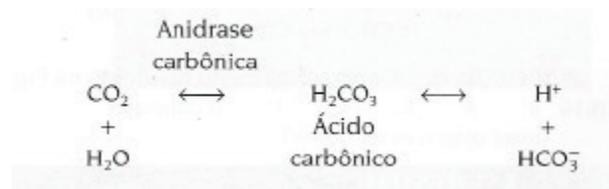


Figura 2.10: Reação da anidrase carbônica

Fonte: Powers e Howley (2012)

Quando o sangue chega nos pulmões e os níveis de CO_2 não são tão altos quanto nos tecidos, a reação ocorre na forma inversa, liberando CO_2 que será difundido para dentro dos alvéolos e será expirado.

Respostas do sistema respiratório ao exercício físico

Transição do repouso ao exercício

Durante um exercício submáximo observa-se que a ventilação expirada aumenta de forma abrupta no início do exercício e, em seguida, há uma elevação mais lenta rumo a um valor de estado estável. Em adição, nesta fase também observamos um aumento da quantidade de CO_2 no sangue arterial e uma diminuição nos níveis de O_2 , o que nos indica que o aumento na ventilação não é tão acelerado quanto necessário neste início de exercício (isto é um dos fatores que explica a necessidade da realização de ressíntese anaeróbia de ATP durante esta fase de exercício).

Exercício prolongado em ambiente quente

Trabalhos comparando o exercício em temperatura neutra e umidade relativa do ar média com exercício em elevadas temperatura e umidade demonstram que o segundo tende a apresentar um aumento na ventilação pulmonar durante o exercício prolongado, enquanto o primeiro apresenta valores estáveis de ventilação durante a realização do exercício.

Os pulmões se adaptam ao exercício?

Atualmente foi demonstrado que os pulmões de indivíduos treinados em relação a indivíduos sedentários não apresentam grandes diferenças. Isto, teoricamente, vem do fato de a função pulmonar, na maioria das pessoas, já ser superior às necessidades diárias de cada um e quando nos inserirmos em uma atividade que requeira um pouco mais do funcionamento do sistema respiratório, o mesmo já está apto para suprir esta nova demanda, não requerendo novas adaptações. Até mesmo em atletas de elite, observa-se que o sistema respiratório não seria um fator limitante de performance na maioria deles. Salvo exceção para esforços superiores a 90% do VO_2max , no qual adaptações específicas seriam necessárias e limitantes de uma boa performance, devido a ocorrência do que chamamos de fadiga muscular respiratória.

Fique por dentro

Asma induzida pelo exercício

A asma é uma doença que promove o estreitamento reversível das vias aéreas e podem resultar de broncoespasmo (contração do músculo liso das vias aéreas) ou do acúmulo de muco em uma via respiratória e provoca o aumento do trabalho respiratório, relatando falta de ar. Alguns

pacientes desenvolvem broncoespasmo durante ou logo após o exercício, sendo denominada de asma induzida pelo exercício. Quando o indivíduo sofre uma crise asmática durante o exercício, a respiração é dificultada e um som sibilante é ouvido com frequência durante a expiração. Se a crise for grave, o indivíduo fica impossibilitado de se exercitar até mesmo em intensidades baixas.

Atividades

Quais são as camadas da parede do coração?

Endotélio, Endocárdio e Epicárdio.

Incorreta: O endotélio é o tipo celular que compreende o endocárdio e não uma das paredes do coração.

Endocárdio e Miocárdio.

Incorreta: Falta o epicárdio.

Epicárdio, Miocárdio e Endocárdio.

Correta: De fora para dentro, estas são as três camadas do coração.

Nenhuma correta.

Incorreta: a alternativa "c" está correta.

Quais vasos recebem o sangue do ventrículo direito e esquerdo, respectivamente?

Veia cava superior e veia cava inferior.

Incorreta: Estes vasos levam sangue para o átrio direito.

Veias pulmonares.

Incorreta: Estes vasos levam sangue para o átrio esquerdo.

Aorta e artérias pulmonares.

Incorreta: A ordem está invertida.

Artérias pulmonares e aorta.

Correta: Estes são os vasos que, respectivamente, recebem sangue do ventrículo direito e esquerdo.

Marque a alternativa que melhor representa os fatores que influenciam na resposta da pressão arterial:

Débito cardíaco.

Incorreta: Afirmativa correta, mas existe uma alternativa melhor.

Resistência vascular periférica.

Incorreta: Afirmativa correta, mas existe uma alternativa melhor.

Volume sanguíneo.

Incorreta: Afirmativa correta, mas existe uma alternativa melhor.

Todas estão corretas.

Correta: Todos os fatores listados são diretamente proporcionais à pressão arterial.

Quais são as duas principais adaptações agudas sofridas pelo sistema cardiovascular em exercício?

Aumento de débito cardíaco e redistribuição de fluxo sanguíneo.

Correta: O aumento do débito cardíaco e a redistribuição do fluxo sanguíneo permite que uma maior quantidade de sangue e, conseqüentemente, oxigênio e nutrientes, cheguem até a musculatura ativa.

Aumento da resistência vascular periférica e da força de contração.

Incorreta: Não são as alterações principais do sistema cardiovascular em esforço.

Aumento do volume sanguíneo e do volume cardíaco.

Incorreta: Apesar de serem adaptações importantes, não são as fundamentais no quesito agudo.

Todas estão corretas.

Incorreta: Apenas a alternativa "a" contempla o pedido no enunciado.

Sobre as influências emocionais sobre o sistema cardiovascular em exercício, aponte a alternativa correta:

As emoções não exercem influência alguma sobre a resposta corporal cardiovascular em exercício.

Incorreta: Sabemos que as emoções são agentes que influenciam significativamente quase todos os sistemas corporais.

Observa-se uma fadiga precoce ao realizarmos exercícios em uma atmosfera carregada emocionalmente.

Incorreta: Apesar da afirmativa estar correta, existe uma alternativa mais correta.

Observa-se frequências cardíacas mais altas e pressões arteriais mais altas devido a influência emocional.

Incorreta: Apesar da afirmativa estar correta, existe uma alternativa mais correta.

Alternativas "b" e "c" estão corretas.

Correta: As duas alternativas estão corretas.

Quanto tempo demorarmos para estabilizar as variáveis cardiovasculares após o início do exercício?

2-3 minutos.

Correta: Sabemos que durante a transição, o organismo leva aproximadamente 2-3 minutos para estabilizar as funções corporais e adentrar no estado estável.

10-15 minutos.

Incorreta: Não leva todo este tempo mesmo em indivíduos sedentários.

20-30 minutos.

Incorreta: Não leva todo este tempo mesmo em indivíduos sedentários.

Nenhuma alternativa está correta.

Incorreta: A alternativa "a" está correta.

Quais estruturas estão presentes na zona de troca respiratória das vias respiratórias?

Traqueia e brônquios principais.

Incorreta: Estas duas estruturas fazem parte da zona de condução.

Traqueia e alvéolos.

Incorreta: A traqueia faz parte da zona de condução respiratória.

Bronquíolos respiratórios e alvéolos.

Correta: Estas duas estruturas compreendem as zonas de trocas respiratórias.

Nenhuma alternativa está correta.

Incorreta: A alternativa "c" está correta.

De que maneira o oxigênio pode ser transportado na circulação?

Difundido no plasma.

Incorreta: Apesar de ser um meio de transporte, não é o único.

Ligado a hemoglobina.

Incorreta: Apesar de ser um meio de transporte, não é o único.

Na forma de bicarbonato.

Incorreta: Este é o meio principal de transporte do dióxido de carbono no sangue.

Alternativas "a" e "b" estão corretas.

Correta: As duas alternativas relatam formas pela qual o oxigênio pode ser transportado na circulação.

Quais fatores influenciam na ligação da hemoglobina com o oxigênio? Assinale a melhor alternativa.

Níveis de dióxido de carbono e de oxigênio.

Incorreta: Apesar de influenciar, esta não é a melhor alternativa.

pH sanguíneo.

Incorreta: Apesar de influenciar, esta não é a melhor alternativa.

Temperatura corporal.

Incorreta: Apesar de influenciar, esta não é a melhor alternativa.

Todas estão corretas.

Correta: Todas as alternativas listam fatores que influenciam na ligação da hemoglobina com o oxigênio.

Qual a forma de transporte do dióxido de carbono na circulação sanguínea?
Assinale a melhor alternativa.

Proteínas transportadoras específicas do dióxido de carbono.

Incorreta: Não existem proteínas específicas para transporte de CO_2 .

Ligado a albumina.

Incorreta: Albumina é um transportador, mas não de CO_2 .

Livre no plasma, ligado a hemoglobina e na forma de bicarbonato.

Correta: Estes são os três mecanismos de transporte do CO_2 .

Todas estão corretas.

Incorreta: Apenas a alternativa "c" está correta.

Indicações de leitura

Nome do livro: Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho

Editora: Manole

Autores: Scott K. Powers e Edward T. Howley

ISBN: 978-85-204-3676-9

Sua oitava edição apresenta uma melhora significativa nos conteúdos e ilustrações associados aos temas abordados.

Nome do livro: Fisiologia do exercício: nutrição, energia e desempenho humano

Editora: Guanabara koogan

Autores: Willian D. McArdle, Frank I. Katch, Victor L. Katch

ISBN: 978-85-277-1816-5

Livro de fisiologia do exercício que, apesar do enfoque maior sobre a questão metabólica, apresenta um capítulo muito interessante sobre a fisiologia cardiovascular e respiratória no exercício.

Conclusão

Olá aluno(a), chegamos ao fim deste módulo. Gostaria de parabenizá-lo(a) pelo empenho apresentado para o entendimento deste conteúdo que, ao meu ver, é um dos mais abrangentes da área.

Passamos por assuntos que levantaram as formas de obtenção e produção de energia, seja na presença ou ausência de oxigênio, posteriormente, como na ausência de oxigênio temos a possibilidade de produzir ATP por um curto período de tempo, vimos como o organismo trabalha para obter e distribuir efetivamente o oxigênio. Posteriormente a obtenção de energia e oxigênio, vimos como o corpo gasta este suprimento para produzir a contração muscular e gerar o movimento. Seguido a isto, agora sabemos que o corpo humano se adapta a realização do exercício físico, de forma específica ao estímulo que foi dado, seja ele de longa duração, seja ele impondo uma resistência ao corpo humano.

Assim, aprendemos o quanto o organismo humano é uma máquina bem organizada em suas nuances para que tudo ocorra bem e que o exercício físico impõe uma carga adicional ao mesmo, fazendo o corpo se adequar às novas demandas impostas, tanto agudamente quanto cronicamente. Espero que tenha aproveitado os conteúdos abordados. Até a próxima!

.....

Referências

MACHADO, A.; HAERTEL, L. M. **Neuroanatomia funcional**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2013.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício**: nutrição, energia e desempenho humano. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício**: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho. 8. ed. Barueri: Manole, 2014.

WILMORE, J. H.; COSTILL, D. L.; KENNEDY, L. W. **Fisiologia do esporte e do exercício**. 5. ed. Barueri: Manole, 2013.

