

APOSTILA



FISIOLOGIA DO TRABALHO

Autor: Eduardo Concepción Batiz
Doutor em Ciências Técnicas, Engenheiro Industrial
Prof. de Ergonomia, Segurança e Higiene Ocupacional, Biossegurança.

2003

SUMARIO

Capítulo I. Visão.

- Fisiologia do olho humano;
- Sensibilidade do olho humano;
- Visão de cores;
- Defeitos na percepção de cores;
- Movimentos dos olhos;
- Persistência de imagens e fusão de imagens intermitentes;
- Anormalidades do sistema de lentes;
- Fatores que relacionam a visão e a iluminação.

Capítulo II. Audição.

- Fisiologia do ouvido humano;
- Percepção do som;
- Características do som;
- Curvas isossônicas ou isoaudíveis;
- Mascaramento;
- Localização do som;
- Percepção de posição;
- Transtornos da audição;
- Mecanismos de produção da surdez;
- Testes para medir a audição.

Capítulo III. Sistema circulatório e cardiovascular.

- Fisiologia do sistema circulatório;
- Sistema de batimentos e condução do coração;
- Condução do impulso através do sistema de Purkinje;
- Movimentos de contração e dilatação do coração;
- Débito cardíaco;
- Pressão sangüínea;
- Variações do fluxo sangüíneo em repouso;
- Pressão arterial em exercício em ritmo estável;
- Pressão estável e exercício progressivo;
- Ritmo cardíaco;
- Mecanismos fisiológicos do balance térmico. Mecanismo de termorregulação. Necessidade de manutenção da temperatura interna.

Capítulo IV. Sistema respiratório.

- Vias respiratórias;
- Os pulmões;
- Respiração;
- Modificações do volume pulmonar durante a respiração;
- Ventilação pulmonar total por minuto;
- Intercâmbio gasoso.

Capítulo V. Trabalho físico.

- Efeitos do trabalho físico;
- Capacidade de trabalho físico;
- Métodos para determinar a capacidade de trabalho físico;
- Importância do gasto energético;
- Métodos para a avaliação do gasto energético;
- Estimação do gasto energético por descomposição de atividades;
- Limites ao gasto energético;

CAPÍTULO I. VISÃO

Fisiologia do olho humano

Acompanhando a evolução dos organismos vivos e da matéria orgânica, como resposta a luz surgem os olhos que a detectam e tornam possível a interação entre a matéria altamente desenvolvida e seu contorno.

A figura 1 mostra a estrutura geral do olho, a qual assemelha-se a uma câmara fotográfica, onde a lente da câmara seria o cristalino do olho, as pálpebras funcionariam como o dispositivo de abertura e fechadura da lente, o diafragma seria o íris e a retina seria a película fotográfica ou filme (figura 2). Neste conjunto é que as imagens luminosas são convertidas em impulsos nervosos que serão enviados ao cérebro.

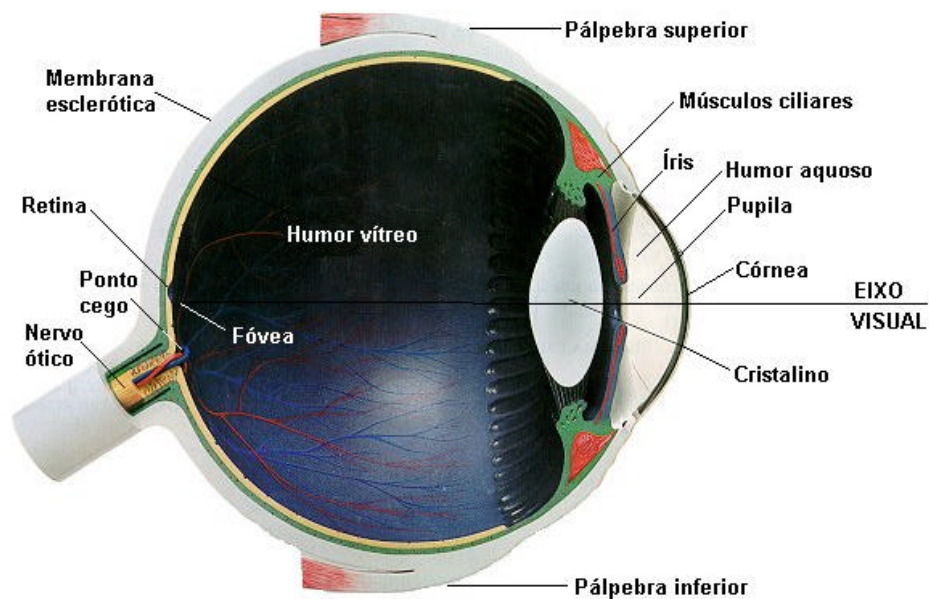


Figura 1. Estrutura geral do olho humano.

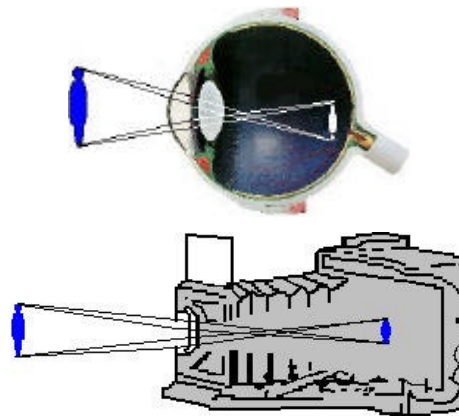


Figura 2. Comportamento do olho como uma câmara fotográfica.

Assim como acontece na câmara fotográfica, a abertura da pupila (íris) pode variar automaticamente com o objetivo de controlar a quantidade de luz que entra no olho. Esta abertura aumenta na penumbra aproximadamente até 8 mm de diâmetro e reduz-se com a presença da luz intensa aproximadamente até 2 mm. Por outra parte, a coroides é uma membrana que encarrega-se de absorver os raios dispersos para obter uma imagem mais nítida.

O sistema de lente do olho está formado pela córnea e pelo cristalino. Os músculos ciliares e os ligamentos, que mantêm ao cristalino relativamente plano, regulam a forma do cristalino de acordo com a distância a que se encontram os objetos, com o objetivo de garantir um correto enfoque da imagem na retina. É esta elasticidade do cristalino a que permite enfocar na retina a melhor imagem dos objetos, independentemente da distância a que estes se encontram do olho. É a este mecanismo que se denomina acomodação o qual vai-se perdendo com a idade, devido ao endurecimento progressivo do cristalino (Viña, S. e E. Gregory, 1987).

Aos 16 anos, a pessoa é capaz de acomodar até 8 cm de distância, mas aos 45 anos essa distância cresce para 25 cm e aos 60 anos chega a 100 cm. Nesse caso, há necessidade de um óculos de lentes de convergência para corrigir essa deficiência (Lida, I., 1990).

A convergência é a capacidade dos dois olhos se moverem coordenadamente, para focalizar o mesmo objeto. A menor distância para a convergência situa-se em torno de 10 cm e não é muito afetada pela idade. A acomodação e convergência são processos simultâneos, que dependem da musculatura dos olhos e têm a função de manter a imagem “única” no foco (Lida, I., 1990).

A adaptação é a faculdade do olho para ajustar-se automaticamente a mudanças nos níveis de iluminação, deve-se a capacidade que tem o íris para regular a abertura da pupila e as mudanças fotoquímicas na retina. Na medida em que passa o tempo, o olho humano adapta-se cada vez mais a situação existente.

Normalmente o olho consegue adaptar-se muito mais rápido quando a pessoa passa de um ambiente escuro para um que esteja iluminado. Este processo pode ser observado quando uma pessoa, por exemplo, abandona um cinema depois de assistir a um filme. Isto se deve a que quando os raios luminosos atingem a retina, produz-se um processo de descomposição da rodopsina, que é a substância fotossensível que se encontra na membrana que cobre o segmento externo dos bastonetes, em outras duas substâncias (retineno e escotopsina) e o período de ressíntese demora um determinado tempo.

O contrario é diferente, a adaptação do olho quando passa de um ambiente iluminado para escuro, o processo acontece muito mais lento e passado um tempo, que pode ser aproximadamente de um minuto, a pessoa começa a enxergar com maior facilidade e passado um tempo maior, consegue perceber, com mais detalhes os objetos. Da mesma forma, e continuando com o mesmo exemplo, a pessoa ao entrar no cinema no consegue visualizar praticamente nenhum objeto e normalmente, de não existir uma pessoa que o guie, permanece por um tempo parado aguardando conseguir enxergar onde se encontram as cadeiras. Ao transcorrer um tempo, sua visão melhora consideravelmente. Este processo pode explicar-se porque logo ao início da entrada ao cinema, os níveis de rodopsina e das substâncias cromossensíveis dos cones diminuem notavelmente. Por outra parte, como nos ambientes escuros existe muita pouca quantidade de energia luminosa a descomposição da rodopsina é muito pequena. Desta forma a concentração de rodopsina aumenta gradualmente, conseguindo a estimulação dos bastonetes com pequenas quantidades de luz, pelo que as pessoas começam a enxergar melhor nas condições de escuro.

Sensibilidade do olho humano

Os processos de acomodação, adaptação, convergência, junto a acuidade visual e a percepção das cores, constituem as características fundamentais da visão humana.

Acuidade visual. É a capacidade visual para discriminar pequenos detalhes e depende de vários fatores sendo os mais importantes a iluminação e o tempo de exposição.

Percepção de cores. A luz pode ser percebida como uma energia física que propaga-se através de ondas eletromagnéticas. O olho tem dois tipos de células fotossensíveis ou fotorreceptores sensíveis a luz que são os cones e os bastonetes, que são chamados assim pela forma deles.

Em cada olho existem aproximadamente 7 milhões de cones e 123 milhões de bastonetes, outros autores (Guyton, A.C., 1988) mostram que existem aproximadamente 125 milhões de cones e bastonetes e que só apenas, um milhão de fibras parte do olho para o cérebro. Outra referência ((Lida, I., 1990) coloca que existem em cada olho cerca de 6 a 7 milhões de cones e 130 milhões de bastonetes. Os cones e os bastonetes tem características completamente diferentes entre si.

A maior quantidade de cones encontram-se na fóvea que é uma zona localizada no fundo da retina, já que na parte periférica da retina só existem bastonetes.

Os cones são mais sensíveis as luzes mais fortes, são encarregadas da visão das cores e os bastonetes são acromáticos, ou seja, não distinguem cores, só vêm imagens em branco e preto, mais apenas formas, e são mais sensíveis a baixos níveis de energia da luz e estão mais dispersos na retina.

O olho humano é sensível a radiações eletromagnéticas de luz visível entre valores que oscilam entre os 400 e os 750 nm, tendo um máximo de longitude de onda de 555 nm, valor que corresponde com a cor verde-amarela para onde exista condições de luz e esteja adaptado o olho e existe um valor de longitude de onda de 480-510 nm para baixos níveis de iluminação que corresponde com uma cor azul-verde. A figura 3 mostra a curva de sensibilidade relativa do olho humano e a parte visível do espectro electromagnético.

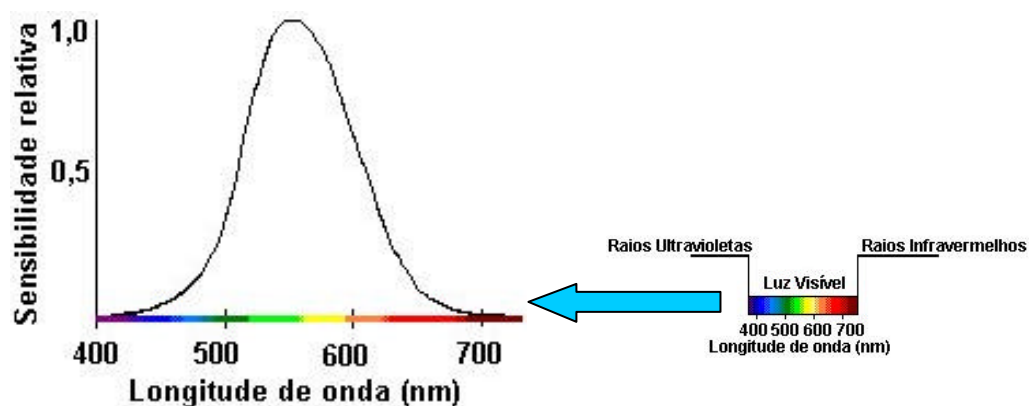


Figura 3. Curva de sensibilidade relativa.

Na qualidade da visão, assim como na fotografia, a luz tem uma importância fundamental. Em condições de boa iluminação, como acontece geralmente de dia, a visão é nítida e as cores são distinguidas com facilidade, a

este tipo de visão conhece-se com o nome de fotópica ou visão diurna, já que para níveis de iluminação inferiores a $0,25 \text{ cd/m}^2$ a visão de cor tende a desaparecer e a visão é mais sensível aos tons azuis, conhecida como visão escotópica.

Em locais em penumbra com uma iluminação intermedia, a capacidade do olho para distinguir as cores diminui na medida em que diminui a intensidade da luz. Assim são definidas as curvas de sensibilidade do olho a luz, com um máximo nos 5500 \AA , que coincide, como foi dito anteriormente, com a cor verde-amarela que corresponderia a visão fotópica, já para os baixos níveis a curva vai-se deslocando para a cor azul, na medida em que diminui a luz, alcançando um máximo nos 5100 \AA , que igualmente como foi dito, coincide com uma cor azul-verde, coincidindo com a visão escotópica. A este deslocamento do máximo da curva ao diminuir a quantidade de luz que o olho recebe, chama-se Efeito Purkinje (figura 4).

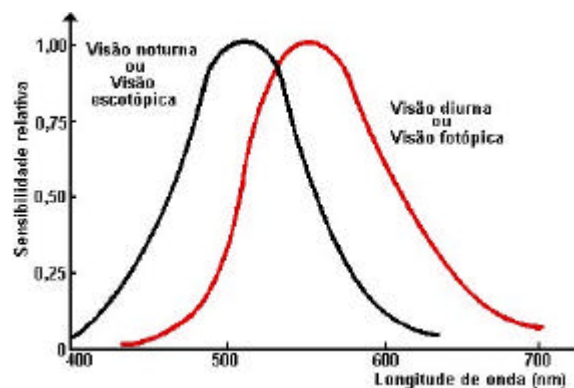


Figura 4. Curvas de sensibilidade do olho humano.

O conforto e desconforto dos trabalhadores, assim como seu rendimento enquanto a produtividade estão intimamente ligados com os níveis de iluminação, tendo em conta que a maior parte da informação que o trabalhador necessita, a obtém através da visão, desta maneira pode-se dizer que a iluminação definitivamente é um fator importante e determinante nos resultados produtivos, diminuição de incidentes e acidentes, grau de satisfação ou insatisfação, etc. Por isto é que se disse que a iluminação adequada é um fator de elevado nível econômico.

Visão de cores

Sabe-se que os genes para as cores estão ligados ao sexo e acontecem no cromossoma feminino (X); como as mulheres possuem dois desses cromossomas (XX), é difícil que apresentem a deficiência do gene para as cores; como os homens só apresentam um cromossoma X, um ou mais dos genes para as cores podem faltar em cerca de 8 % dos homens.

Na retina situam-se as células fotossensíveis, que são os cones e os bastonetes. Estas células transformam a energia luminosa em sinais neuronais que são transmitidas até o encéfalo. A camada pigmentar da retina contém grande quantidade de melanina cuja função é a de absorver os raios luminosos que chegam a retina e, portanto impedir a reflexão da luz de volta para o olho.

As pessoas albinas, incapazes de produzir melanina em qualquer parte de seu corpo, apresentam falta total de pigmentos nessa camada da retina, o que traz como resultado que todos os raios luminosos que atravessam a retina são refletidos em todas as direções, pois não são "absorvidos". A visão geral do albino é três vezes menor que a de uma pessoa normal e fica tão ofuscado

pela luz solar de um dia claro, que necessita usar óculos escuros para poder ver algo.

Os cones são seletivamente estimulados por as diferentes cores. Dentro dos cones existem três tipos básicos de receptores cromáticos: vermelho, verde e azul e as cores intermedias entre essas três áreas são conseguidos por meio de uma combinação de cores. O maior número de receptores de luz corresponde aos bastonetes que são estimulados pela luz de todas as cores, assim os cones são responsáveis pela visão das cores e os bastonetes responsáveis pela visão em branco e preto ou claro e escuro.

Defeitos na percepção de cores

1. Acromatopsia: a visão só produz-se com o funcionamento dos bastonetes, ao não funcionar os cones. A eficiência luminosa corresponde a visão escotópica;
2. Discromatopsia o Daltonismo: Os daltônicos são pessoas que apresentam deficiência nos cones, quando alguns de seus três pigmentos não funcionam. Sua incidência é maior nos homens que nas mulheres, aproximadamente em proporção de 3,5 % por 2,0 %. Em dependência do pigmento que esteja faltando o daltonismo pode ser:
 - Protanopia: ausência do vermelho;
 - Denteranopia: ausência do verde;
 - Tritanopia: ausência do azul.

O tipo mais comum de daltônico é aquele que não consegue distinguir o vermelho e depois seguem aqueles que não conseguem distinguir o amarelo do azul.

3. Trocomatopsia: consiste em o defeito da percepção da cor que para obter branco a partir de três luzes monocromáticas (vermelho-verde-azul) necessita-se uma proporção distinta da normal.

Movimento dos olhos

Os olhos se movimentam para o objeto de atenção através de três pares de músculos oculares os quais estão ligados a cada globo ocular. É importante lembrar que estes músculos são externos ao globo ocular e não deve confundir-se com os músculos ciliares que se situam no interior do globo ocular e que são os responsáveis junto aos ligamentos, pela focalização do cristalino.

Estes três pares de músculos externos que controlam os movimentos:

1. Um par de músculos que se encontram na parte superior e inferior do globo ocular e que tem a função de possibilitar que os olhos mexam-se para cima e para baixo;
2. Um par de músculos que se encontram inseridos de forma horizontal nos dois lados do globo ocular e que permitem o movimento lateral e medial dos olhos;
3. Um par de músculos que se encontram em torno do globo ocular e que permitem os movimentos de rotação dos olhos.

Os centros neuroniais existentes na base do cérebro são os que controlam todas as funções musculares do olho.

Os olhos se movimentam coordenadamente e de forma simultânea para garantir a convergência dos eixos visuais sobre o objeto fixado, desta maneira isto pode provocar operações complicadas como seria o caso da mudança de fixação de um ponto distante para outro ponto mais perto; isto leva a uma complicada operação de contrações musculares que provocam contrações da pupila, acomodação do cristalino e a convergência binocular.

Quando fixa-se a vista em um objeto acontecem movimentos voluntário e involuntários. Os movimentos involuntários são comandados pelo cérebro e permitem que o objeto fixado seja visto com nitidez, já que o movimento voluntário depende, como o nome indica, da vontade da pessoa em direção do objeto que ela deseja fixar.

Movimento Sacádico: para compreender melhor este tipo de movimento pode-se tomar, por exemplo, a leitura ou o próprio exame detalhado de um objeto, em qualquer dessas circunstâncias, o olho não se mexe continuamente, senão em forma de “pulos” em diversas fixações sucessivas. Esse movimento é conhecido como sacádico, no qual, primeiro acontece uma aceleração na direção desejada, seguido de uma desaceleração e ao ficar mais perto ao ponto desejado, começam a acontecer pequenas oscilações para conseguir um bom ajuste. Estes movimentos sacádicos posicionam as diferentes partes da imagem na fóvea, sendo esta a de maior concentração de cones.

Persistência de imagens e fusão de imagens intermitentes

Depois de um relâmpago luminoso que dure aproximadamente um milionésimo de segundo, o olho vê uma imagem de luz que dura aproximadamente um décimo de segundo, assim a duração da imagem é o intervalo de tempo em que a retina permanece estimulada depois do relâmpago. Essa persistência da imagem na retina permite a fusão de imagens intermitentes, conhecido como efeito Flicker (Guyton, A.C., 1988).

Para melhor compreensão deste fenômeno pode-se citar o exemplo de uma película (filme) que é projetada na frequência de 16-30 imagens por segundo e a televisão na frequência de 60 imagens por segundo; a imagem persiste na retina durante um intervalo de tempo compreendido entre duas imagens sucessivas, o que dá a impressão de estar observando algo contínuo. O tempo mínimo entre uma fixação e outra, varia entre 200-300 ms, pelo que pode-se dizer que apenas realizam-se 4 fixações por segundo, portanto, quando realizam-se tarefas como inspeção nas empresas, indústrias, etc. e outras tarefas visuais, estas efetuam-se por fixações discretas dos olhos, em sucessivos movimentos sacádicos, de forma tal que se essas tarefas precisam inspecionar mais de 4 pontos, existirá uma tendência a aumentar os erros.

Anormalidades do sistema de lentes

Em condições normais, o olho focaliza os raios luminosos paralelos exatamente sobre a retina e essa focalização normal é conhecida como emetropia. De forma esquemática, mostra-se estas condições normais na figura 5.

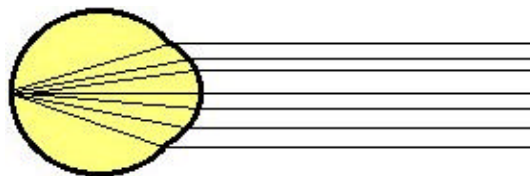


Figura 5. Emetropia.

As normalidades que impedem a focalização dos raios luminosos sobre a retina são:

1. Hipermetropia;
2. Miopia;
3. Astigmatismo.

Na hipermetropia, que pode ser conhecida como vista cansada ou visão de longe, produz-se pela incapacidade do cristalino de desviar os raios

luminosos de maneira suficiente para atingir o ponto focal da retina. Nesta patologia, as pessoas vêem os objetos distantes com maior nitidez que os objetos que estão mais próximos. Uma causa freqüente desta patologia é o fato de que o globo ocular seja demasiado curto. Uma forma esquemática de representar esta patologia mostra-se na figura 6.

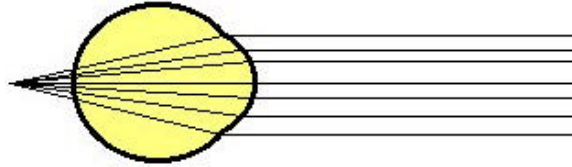


Figura 6. Hipermetropia.

A miopia, que pode ser conhecida como visão de perto, é causada por um sistema de lentes muito fortes para a distância da retina atrás do cristalino. Este processo acontece porque o globo ocular é excessivamente cumprido, todo o contrario da hipermetropia. Os raios luminosos são focalizados antes de atingir a retina e no momento em que atingem a esta, estão novamente dispersados. A pessoa míope pode ver os objetos de perto de forma mais nítida que os objetos que se encontram a uma distância maior. A figura 7 mostra o processo da miopia.

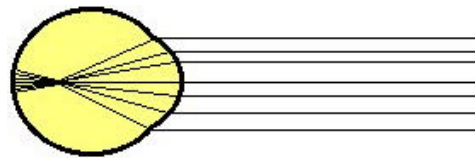


Figura 7. Miopia.

O astigmatismo acontece quando o sistema de lentes é ou fica ovóide em vez de esférico, pelo que a pessoa com olhos astigmáticos é incapaz de focalizar qualquer objeto com nitidez independentemente da distância a que encontram-se do olho, porque quando os raios luminosos da visão de perto estão focalizados, os da visão de longe não estão e vice-versa.

Fatores que relacionam a visão e a iluminação

Em qualquer estudo de iluminação é importante conhecer os fatores que relacionam a visão e a iluminação. Normalmente se fala só do nível de iluminação como o fator mais importante a considerar em um análise das condições de iluminação em uma área de trabalho, o qual é um equívoco.

Existe um grupo de fatores determinantes da visibilidade, os quais devem ser motivo de estudo, de conhecimento e de domínio dos especialistas que se encontram ou que desejam realizar um estudo de iluminação, para que o mesmo seja realizado de forma correta. Tendo em conta que a visão é o resultado da interação entre a luz e o aparelho visual, tomam-se como fatores dessa interação:

1. Tamanho
2. Ângulo de visão;
3. Agudeza visual;
4. Brilho;
5. Contraste;
6. Deslumbramento ou ofuscamento;
7. Distribuição do brilho;
8. Difusão;
9. Cor.

Vejam brevemente o conteúdo de cada um destes fatores.

Tamanho do objeto: Quanto maior tamanho do objeto a uma mesma distância de visão, maior será o ângulo visual e mais rapidamente será observado o objeto.

Ângulo de visão: Quanto maior o ângulo visual, maior será o tamanho da imagem na retina. Um objeto observado a diferentes distâncias, tenderá diferentes ângulos de visão. A natural tendência de acercar aos olhos os objetos pequenos para visualiza-lo melhor tem seu fundamento nesta relação, ao acercar o objeto aos olhos não se faz mais que aumentar o ângulo de visão com o qual o objeto se faz maior.

Acuidade visual: É a capacidade para distinguir os objetos em seus mínimos detalhes. É uma medida do detalhe menor que pode ser visto. A agudeza visual de uma pessoa expressa-se como o ângulo mínimo que devem formar dois pontos luminosos e o olho humano para que este possa percebê-lo como dois pontos separados. A agudeza visual está muito estreitamente relacionada com o contraste e o brilho, pois os trabalhos realizam-se geralmente com objetos não luminosos, ou seja, iluminados por reflexão. A agudeza visual decresce muito cedo. Pode-se constatar que a agudeza visual de uma pessoa é diretamente proporcional à iluminação. Para evitar a fadiga existem normas que recomendam o nível de iluminação mínimo que se precisa para um número de tarefas.

A fadiga visual é provocada principalmente pelo esgotamento dos pequenos músculos ligados ao globo ocular, responsável pela movimentação, fixação e focalização dos olhos (Lida, L., 1995).

Brilho: O brilho de uma superfície é a intensidade luminosa que este emite (se é luminoso) ou reflete (se é iluminado) em direção normal a linha de visão por unidade de área. O brilho depende da intensidade de luz que incide sobre a superfície e do coeficiente de reflexão desta. O mesmo objeto tenderia mais brilho se ilumina mais intensamente e uma superfície branca tendera muito mais brilho que uma superfície negra, já que a primeira tem um coeficiente de reflexão muito maior.

Contraste: O contraste é o brilho relativo entre o objeto e seu fundo. Um alto contraste facilita a rápida visão e identificação de um objeto, agora um baixo contraste pode chegar a torna-lo invisível.

Distribuição do brilho no campo visual: A distribuição do brilho no campo visual do posto de trabalho e ao seu redor é um dos aspectos mais importantes, pois um constante ajuste visual cansa a vista. Os excessivos desníveis entre os brilhos da zona do posto de trabalho e ao seu redor são prejudiciais para o homem, pois o trabalhador está obrigado a realizar um constante ajuste visual dilatando e contraindo a íris segundo a zona que se observe. Muitos autores consideram aceitável uma relação de lâmpadas: lugar da tarefa - fundo e aos redores imediatos - restante do campo visual (10:3:1) (Sanders, M.S. e E. J. McCormick, 1993) e como máximo admissível entre o lugar do trabalho e qualquer parte do restante do campo visual de 40:1. Não deve-se confundir a distribuição homogênea do brilho nas grandes zonas do campo visual com a indesejável ausência de contraste entre o objeto e seu fundo. Para conseguir relações de brilhos adequados deve-se ter em conta não somente as fontes de luz, senão também os coeficientes de reflexão do teto, paredes, chão, móveis, roupas, equipamentos, etc., pois todos eles contribuem a iluminação do posto de trabalho.

Deslumbramento: As grandes diferenças de brilhos no campo visual provocam o deslumbramento. Isto se deve que em uma pequena superfície da retina incide uma quantidade de luz relativamente grande a sensibilidade daquela se reduz em conjunto e em conseqüência diminui a acuidade visual. Tal é o caso que pode apresentar-se em um posto de trabalho onde se produzem reflexos intensos em vidros, peças metálicas ou superfícies muito polidas ou esmaltadas ou incluso lâmpadas mal situadas dentro do campo visual do trabalhador.

Difusão da luz: A difusão da luz geralmente oferece vantagens, pois se evitam reflexões espetaculares e sombras fortes. A difusão se consegue com luminárias de baixo brilho e de grande superfície, fontes luminosas radiantes indireta ou semi-diretas, etc. e paredes e superfícies polidas. Porém deve-se ter em conta as tarefas que necessitam apreciar detalhes e, nestes casos, a luz difusa o impede.

Cor: A cor é a sensação visual produzida pela luz no sentido da visão que permite ao homem diferenciar os diferentes comprimentos de onda que a compõem. O olho não é igualmente sensível a todas os comprimentos da onda que compõem a banda visível do espectro electromagnético.

CAPÍTULO II. AUDIÇÃO

Fisiologia do ouvido humano

A função do ouvido é a de converter o som em impulsos nervosos, o que é o mesmo, em sinais elétricas, que são transmitidas ao cérebro para produzir as sensações sonoras.

Da mesma forma que muitos autores assemelham o funcionamento do olho humano com uma câmara fotográfica, outros que comparam o ouvido com o microfone.

O som é originado por uma série de ondas de compressão repetidas, que transitam pelo ar em forma de ondas a uma velocidade aproximada de 321,8 m/s e ao atingir o ouvido, produzem as sensações sonoras.

Segundo Guyton o mais baixo murmúrio que podemos ouvir possui apenas cerca de um milionésimo de energia sonora de voz falada normal, o que demonstra a extrema sensibilidade do ouvido para a detecção do som (Guyton, A.C., 1988).

O ouvido humano é capaz de perceber sons em um intervalo muito amplo de pressão sonora, de tal forma que o som mais fraco que pode ouvir pessoas jovens normais tem uma pressão sonora de $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ e sons com uma pressão sonora de $2 \times 10^4 \text{ Pa}$ são suportáveis por curtos períodos de tempo.

A estrutura anatômica do ouvido humano (figura 8) divide a este em três partes:

- Ouvido externo;
- Ouvido médio;
- Ouvido interno

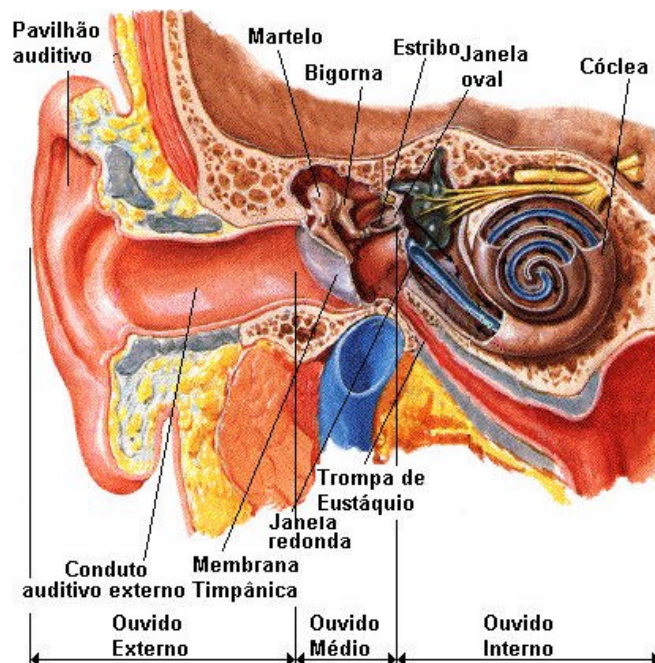


Figura 8. Estrutura do ouvido humano.

Ouvido externo: Está constituído pelo pavilhão auditivo (orelha) e pelo conduto auditivo externo que finaliza na membrana timpânica. A principal função do ouvido externo é a de captar o som, transmitindo-o para o ouvido médio.

Ouvido médio: As ondas sonoras captadas pelo ouvido externo chegam ao ouvido médio e fazem vibrar a membrana timpânica, cuja pressão é mantida pelo tubo ou trompa de Eustáquio, que é a estrutura que une o ouvido médio com as vias respiratórias, especialmente com a garganta. Em casos onde acontecem aumentos súbitos de pressão, como nas explosões, deve-se ter a boca aberta para manter o equilíbrio de pressão na membrana timpânica, já que sem esse equilíbrio, a membrana timpânica pode-se estourar.

As vibrações do tímpano são captadas por três ossículos chamados de martelo, bigorna e estribo, os quais estão articulados entre si formando um sistema de alavanca e são chamados assim porque suas formas lembram estes objetos. Esses ossículos podem amplificar as vibrações em até 22 vezes. Depois dessas vibrações serem captadas por estes ossículos, são transmitidas por eles a outra membrana fina que se encontra na janela oval que separa o ouvido médio do interno.

Ouvido interno: É aqui onde o som é convertido em sinais neurais por uma estrutura chamada cóclea o qual tem forma de caracol.

A cóclea esta formada por três túbulos situados um do lado do outro (figura 9) que são:

1. Rampa vestibular;
2. Rampa timpânica;
3. Rampa média.

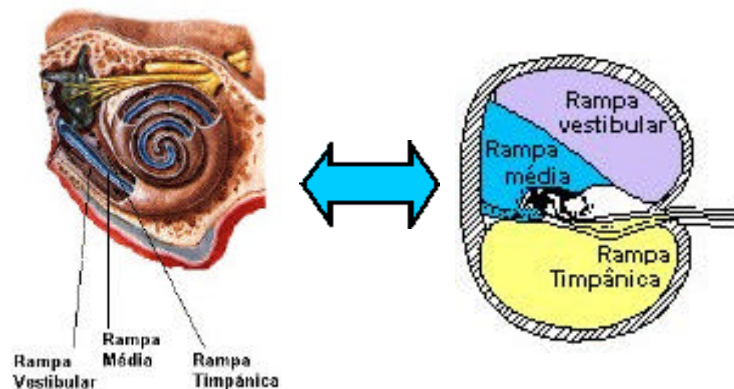


Figura 9. Túbulos da cóclea.

Os três tubos estão cheios de líquido coclear e são separados entre si por membranas. A membrana que separa a rampa vestibular da rampa média é tão fina que não dificulta o passo das ondas sonoras; sua função principal é a de separar o líquido da rampa média do líquido da rampa vestibular, os quais têm origens diferentes e suas diferenças químicas são importantes para o funcionamento correto das células receptoras do som.

A membrana que separa a rampa média da rampa timpânica é muito mais resistente e denomina-se membrana basilar e esta produz realmente um bloqueio das ondas sonoras. Localizado sobre a superfície desta membrana e imerso em um líquido chamado de Endolinfa, situa-se o Órgão de Corty que é a parte da cóclea que recebe o som através das células ciliares, aproximadamente entre 20 000 e 30 000 (células ciliares externas e internas) que convertem as vibrações sonoras em sinais neurais.

As sinais auditivas chegam ao cérebro pelo componente coclear do oitavo par craneal, (nervo vestibulococlear), o qual termina nos núcleos cocleares do tronco cerebral. Os centros auditivos do tronco cerebral tem a

importante função de determinar de onde vem o som e ao mesmo tempo, no direcionamento da cabeça e dos olhos na mesma direção.

Percepção do som

Qualquer emissor de som, desde a voz humana, o alto-falante, a rádio ou qualquer coisa que emita som, é produzido pelo mecanismo de comprimir o ar e seguidamente relaxar essa compressão em seqüência alternativa.

Uma corda de violino, por exemplo, ao vibrar, cria o som por seu movimento de vaivém, de forma tal que quando a corda mexe-se para frente, comprime o ar e quando mexe-se para atrás, reduz o grau de compressão até um valor abaixo do normal. Essa compressão e relaxamento alternados do ar, é o que produz o som.

Características do som

As características do som são:

- Freqüência;
- Intensidade;
- Duração.

Freqüência: A freqüência de um som é o número de oscilações da pressão por segundo que acontecem em regiões definidas da membrana basilar e é expressa em Hertz (Hz), percebido como altura do som, teoria que se explica mais na frente.

O ouvido humano é capaz de perceber som na freqüência de 16 a 20 000 Hz. O grau de sensibilidade para cada freqüência de som varia de pessoa a pessoa e também está relacionada com parâmetros como: tempo de exposição ao ruído, sexo, as mulheres têm a agudeza auditivas superior ao homem porque têm o umbral de audição mais baixo. As mulheres mais são resistentes aos ruídos do que o homem, enfermidades concomitantes do ouvido como infeções do ouvido por vírus, bactérias, etc., e também varia com a idade como é o caso da presbiacusia que é um processo degenerativo da capacidade auditiva que se inicia, para alguns autores, aos 35 anos e para outros entre os 40 e 45 anos aproximadamente como média, o qual favorece o efeito nocivo do ruído. A presbiacusia precoce está associada a perda rapidamente progressiva da capacidade auditiva em aqueles trabalhadores que estão expostos a ruídos.

Os sons de baixa freqüência (abaixo de 1000 Hz) são chamados de graves e os que se encontram acima de 3000 Hz são chamados de agudos. Na natureza encontra-se mistura de vibrações de diferentes freqüências. Os sons, em forma quase absoluta, estão constituídos por componentes de muitas freqüências. A figura 10 mostra o padrão de amplitude das vibrações da membrana basilar produzidas por sons de diferentes freqüências (Guyton, A.C., 1988).

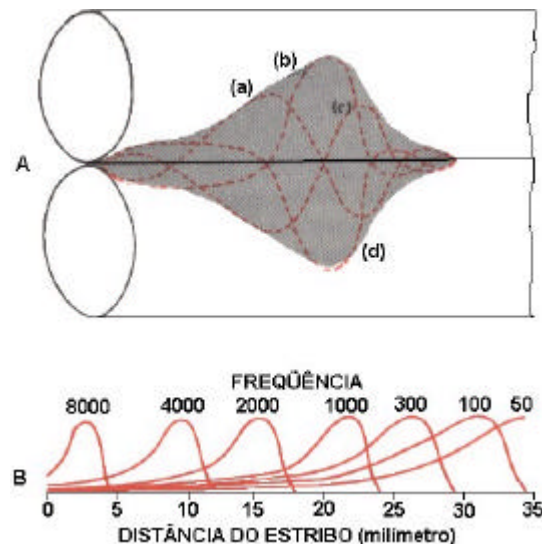


Figura 10. Padrão amplitude das vibrações da membrana basilar produzidas por sons de diferentes freqüências.

Intensidade: A intensidade do som está em dependência da energia das oscilações e define-se em termos de potência por unidade de área.

As diversidades do som que existe na natureza têm intensidades diferentes, sendo este intervalo de intensidade sonoras muito amplo, o qual constitui uma grande dificuldade para adequar a todos eles a uma escala mais eficiente, pelo qual chegou-se ao consenso de utilizar uma unidade logarítmica para medi-la, chamada decibel (dB), que é uma escala lineal usada para definir uma escala de amplitude logarítmica com o qual se reduz um amplo intervalo de valores de amplitude a um pequeno conjunto de números. Como unidade de medida o decibel (dB) é o logaritmo da razão entre uma quantidade medida e uma de referência. Aplicada a acústica, é a unidade prática que emprega-se para medir o nível de pressão sonora tomando como referência a pressão acústica más débil que pode perceber o ouvido humano médio.

O ouvido humano, como foi dito anteriormente, é capaz de perceber som que tenham uma pressão sonora que variam entre um intervalo de $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ para jovens normais até $2 \times 10^4 \text{ Pa}$ para curtos períodos de exposição. Como o intervalo é muito amplo, ao definir a escala em decibéis os valores encontram-se normalmente entre 0 à 120 -140 dB.

Os sons a que o ser humano está submetido dia a dia, em sua casa, durante o tráfego, em seu trabalho, etc. estão na faixa de 50 – 80 dB, e em muitos casos infelizmente, por cima de 80 dB, o que pode provocar afetações ao ouvido. Valores que estão por cima dos 120 dB podem provocar sensação de dor.

Duração: A duração é medida em segundos. Desta forma os sons são classificados de curta e cumprida (ampla) duração, sendo os de curta aqueles que duram menos de 0,1 s e que dificultam a percepção. Os sons de cumprida duração estão por cima de 1s.

Curvas Isossônicas ou Isoaudíveis

Os limites da audição dependem, na vida prática, da combinação da freqüência-intensidade-duração. Som de diferentes freqüências e intensidade podem ter a mesma sonoridade, é dizer, ser igualmente audíveis, então se diz que tem o mesmo fon. Isto é o que faz possível estabelecer as curvas isossônicas. A escala em fon não é proporcional, pelo que se tem desenvolvido

uma escala de sonoridade cuja unidade é o som, definido como a sonoridade de um tono puro de 1000 Hz e 40 dB (Viña, S. e E. Gregory, 1987).

A relação entre ambas escalas para as freqüências de 1000 Hz esta dada por (Hassall, J. R. e K. Zaveri, 1979):

$$S = 2\left(\frac{P - 40}{10}\right)$$

Onde:

S – Sonoridade, son

P – Nivel de sonoridade, fon

Um exemplo para poder entender como maior facilidade o explicado anteriormente, suponham um som de 60 fons para a freqüência de 1000 Hz; neste caso a intensidade será de 60 dB, mais para o mesmo valor em fons, ou seja, 60, mais para uma freqüência de 75 Hz, a intensidade será de 70 dB.

A figura 11 mostra as curvas normais de igual sonoridade para tons puros.

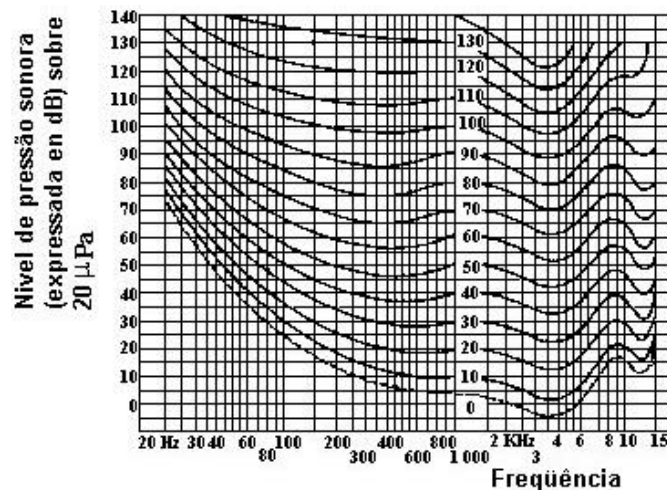


Figura 11. Curvas normais de igual sonoridade para tons puros

Mascaramento

Quando um componente do som reduz a sensibilidade do ouvido para outro componente, se diz que acontece mascaramento. Na prática corresponde a necessidade de aumentar a intensidade necessária para manter a mesma audibilidade do som em presença de outro som.

Este fenômeno acontece com freqüência nos distintos ambientes de trabalho nos quais, quase sempre, os sons de interesse para os trabalhadores estão misturados com outros que se denominam ruídos de fundo que podem produzir o chamado processo de mascaramento, cuja análise é muito complexo dado as inúmeras combinações entre os chamados sons de interesse e o ruído de fundo, assim como do nível de pressão sonora, composição espectral e duração.

Realmente pode-se dizer que nenhum som aparece só, porque sempre vai existir algum som ambiental provocando mascaramento, o qual varia de acordo com a natureza dos dois sons, sendo maior para sons que se parecem entre si.

Para entender melhor este fenômeno, vejam o seguinte exemplo que explica este fenômeno. O barulho de um aspirador de pó seja mais efetivo no mascaramento de uma campainha de telefone, do que o som de um rádio (Lida, I., 1990).

Localização do som

A espessura e rigidez da membrana basilar não são constantes. Na região mais perto da janela oval (orifício que constitui a via de entrada do som ao ouvido interno) a membrana é grossa e rígida e na medida em que fica mais perto ao vértice da cóclea, volta a ser mais fina e flexível. Os sons graves (baixa frequência) são os que estimulam em maior grau a parte da membrana, que se situa perto ao ápice da cóclea, já que os sons agudos (alta frequência) ativam a parte da membrana basilar que situa-se perto a base da cóclea. Os pontos situados entre esses dois extremos, são estimulados pelos sons de frequência intermediária.

Da mesma maneira que a membrana basilar é estimulada seletivamente em suas distintas partes de acordo a intensidade dos sons, acontece igual com a estimulação dos neurônios no tronco cerebral e dos campos receptivos auditivos no córtex cerebral, os quais são ativados por alturas definidas de sons, dessa forma fica claro que a forma utilizada pelo sistema nervoso para detectar a altura do som, esta dada pela determinação da região da membrana basilar que é mais estimulada pela altura do som; este processo conhece-se como Princípio da localização para a altura do som. A determinação da direção de onde vem o som, fica por conta dos centros auditivos inferiores.

Percepção de posição

A percepção de posição fica por conta dos receptores vestibulares situados no ouvido interno (estes receptores não têm relação com o mecanismo de audição) e estão constituídos por três canais semicirculares e duas cavidades (utrículo e sáculo) que estão cheias de líquido que em seu interior contém células nervosas que têm forma de cabelos, as quais são sensíveis as mudanças de posição. As células nervosas contidas no utrículo e no sáculo são receptores estáticos ou posicionais já que elas contêm em suas extremidades, pequenos pesos que detectam a posição da cabeça em relação à vertical.

Estas células nervosas são sensíveis a acelerações e desacelerações, é dizer, a dinâmica do corpo. Os receptores vestibulares são a estrutura que lhe permite ao homem manter sua posição ereta, mexer-se sem cair, e de sentir que seu corpo pode estar sendo acelerado o desacelerado para alguma direção sem a ajuda dos olhos.

Transtornos da audição

Os transtornos auditivos afetam aproximadamente 10% da população. Em alguns casos a perda auditiva é de causa congênita; em outros casos as pessoas adquirem perda auditiva durante sua vida devido a enfermidades, exposição a ruídos muitos fortes ou intensos, ou pelo próprio processo de envelhecimento, o qual é um fenômeno natural que afeta a todos em uma determinada etapa da vida, independentemente do fenômeno que o origina.

A hipoacusia é a perda auditiva a diferentes níveis e pode ser temporária ou permanente. As causas que produzem a hipoacusia são:

- Condução;
- Neurosensoriais (neural);
- Mistas.

Em dependência do grau de perda da audição, a hipoacusia se classifica em:

- Perda auditiva superficial;
- Perda auditiva média;

- Perda auditiva profunda;
- Anacusia ou surdez.

A surdez é a perda total da percepção auditiva que pode ser reversível (temporária) ou permanente. É reversível ou temporária quando existe a possibilidade de devolver a audição à pessoa através de algum tratamento, ou seja, a pessoa retorna ao limiar normal de audição, conhecido por deslocamento temporário do limiar de audição. É permanente quando não é possível devolver a audição à pessoa através de tratamentos.

A perda total da audição denomina-se cofósis ou anacusia; se for de um só ouvido denomina-se cofósis unilateral, se é de ambos ouvidos, denomina-se cofósis bilateral.

Mecanismos de produção da surdez

Surdez de condução: esta dada pela incapacidade das ondas serem conduzidas através do sistema ossicular desde a membrana timpânica até a cóclea. Uma causa muito freqüente de surdez de condução esta dada pelo bloqueio da trompa de Eustáquio cuja função é a de manter a pressão no interior do ouvido médio igual a pressão que existe no ambiente onde está a pessoa, mantendo assim, a pressão nas duas fases da membrana timpânica. Quando esse conduto fica bloqueado por alguma causa, que pode ser resfriado, rinitis, alergia, etc., o ar que está contido no ouvido médio é absorvido e será substituído por líquido seroso; devido também a diminuição da pressão no ouvido médio, a membrana timpânica será repuxada para adentro. Esse líquido seroso terá proliferação de fibroblastos o que produzirá a formação de tecido fibroso entre os ossículos e as paredes do ouvido médio, o que impedirá seu funcionamento como sistema de alavancas e, por conseguinte, a condução das ondas sonoras.

Outra causa comum de perda de audição e que é facilmente corrigida, é a existência de um tampão de cerume localizado no conduto auditivo que impede o passo do som até o tímpano e, portanto há uma perda auditiva. Outra causa da surdez está dada pela perfuração timpânica que se pode produzir por traumas.

Surdez neural: este tipo de surdez é característica na velhice e quase todas as pessoas com mais idade, desenvolvem alguns graus deste tipo de surdez, ainda vivendo em condições normais. Esta surdez se faz mais notável para os sons de freqüências mais altas e deve-se provavelmente ao próprio processo de envelhecimento que também atua sobre a cóclea.

Outras causas de surdez neural são a exposição a ruídos excessivamente altos como acontece nas caldeiras, em vários processos produtivos ruidosos, quando as pessoas escutam música muito alta, sobretudo, música rock ou quando acontecem explosões, entre outros. Nestes casos, acontece uma destruição do Órgão de Corti devido as fortes vibrações da membrana basilar.

Surdez mista: são as perdas de audição causadas por transtornos neurosensoriais e por transtornos de condução.

Outro transtorno da audição é a presbiacusia que é a perda auditiva devido a idade e geralmente se apresenta em pessoas maiores.

Testes para medir a audição

Independentemente do tipo de perda auditiva que se suspeite, deverá realizar-se um exame clínico completo do aparelho auditivo a fim de realizar um diagnóstico correto e aplicar o tratamento adequado.

Para testar a audição de uma pessoa, realmente pode ser utilizado qualquer tipo de instrumento sonoro; o mais utilizado por muitos anos há sido o diapasão (figura 12) e ocasionalmente como substituto, o próprio tique-taque do relógio.

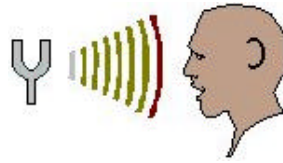


Figura 12. Prova do diapasão.

Depois de fazer vibrar o diapasão e coloca-lo perto do ouvido normal, seu som pode ser escutado por 30 segundos aproximadamente.

Quando a pessoa sofre de surdez de condução, o ouvido é incapaz de escutar o som, mais se se coloca a base do instrumento sobre a superfície óssea (testa, vértice da cabeça, etc.), se produzirá a transmissão do som do diapasão para a cóclea através dos ossos do crânio, assim, se a cóclea e a transmissão neural ainda funcionam corretamente, a pessoa escutará o som, já não pela condução aérea e si pela condução dos ossos do crânio. No caso da pessoa sofrer surdez neural, será incapaz de escutar o som do diapasão, mesmo através da condução óssea (figura 13).

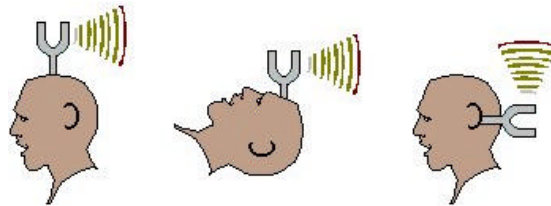


Figura 13. Provas do diapasão para comprovar transmissão óssea do som.

Outra prova para medir o grau de surdez é a audiometria que consiste em medir os umbrais auditivos da pessoa e sua capacidade para diferenciar palavras a diferentes intensidades. A audiometria realiza-se através de um aparelho eletrônico chamado audiômetro que é capaz de produzir sons de todas as freqüências em fones de ouvido ou em vibrador que são aplicados em um osso do crânio.

Para determinar a perda auditiva, o audiômetro é calibrado de forma que o valor zero corresponda a intensidade do som que a pessoa com audição normal tem certa dificuldade de ouvir. Se a pessoa é surda ou parcialmente surda para sons de freqüência particulares, se diz que a perda auditiva para aquela freqüência é a quantidade adicional de energia sonora que tem que ser aplicada com o objetivo de que o som possa ser escutado pela pessoa.

O grau de perda auditiva expressa-se em decibéis; para expressar a energia sonora, o sistema de decibéis usa escala logarítmica em lugar de escala linear.

Os sons que uma pessoa normal ouve, variam com muita freqüência, de mais de 100 milhões de vezes. Por exemplo, a intensidade do som em uma fábrica muito barulhenta é da ordem de um milhão de vezes maior que a de um murmúrio em ambiente calmo. Portanto, uma pessoa com perda auditiva de 60 decibéis – perda de cerca de 1.000.000 de vezes – ainda pode ouvir os sons de intensidade muito alta (Guyton, A.C., 1988).

CAPÍTULO III. SISTEMA CIRCULATORIO E CARDIOVASCULAR

Fisiologia do sistema circulatório

A fisiologia como ciência experimental iniciou-se em 1628 quando William Harvey demonstrou que o sistema cardiovascular forma um círculo no qual a sangue está sendo bombeada continuamente desde o coração por um conjunto de vasos sanguíneos e retorna a ele através de outro grupo de vasos sanguíneos.

A função do sistema cardiovascular é a de levar oxigênio e nutrientes a todos os músculos e órgãos do corpo, assim como a eliminação das substâncias residuais.

O sistema cardiovascular está composto pelo coração e dois grandes circuitos de vasos sanguíneos. Os vasos que conduzem a sangue para fora do coração são denominados artérias, os quais conduzem a sangue oxigenado e os que retornam a sangue desde os pulmões e tecidos ao coração que são chamados de veias, os quais têm um teor (nível) menor de oxigênio. Ambos originam-se e terminam no próprio coração, o qual desde o ponto de vista funcional, está dividido longitudinalmente em duas metades.

O coração é um órgão muscular que se localiza na parte centro-mediana da cavidade torácica com aproximadamente as duas terças partes de sua massa a esquerda da linha média do corpo coberta pelo pericárdio. Cada metade do coração está formada por duas câmaras separadas; o átrio (aurícula) e ventrículo (figura 14).

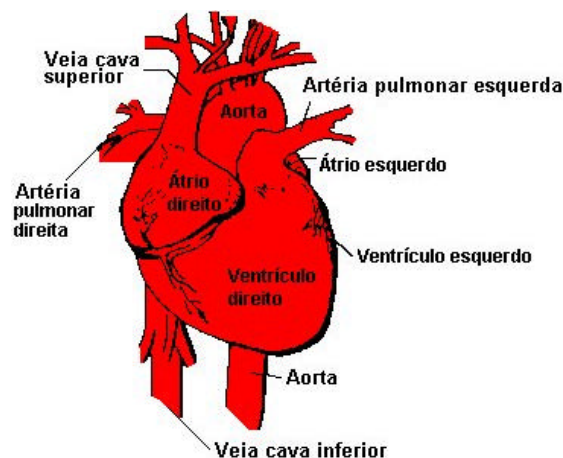


Figura 14. Esquema do coração.

O coração direito bombeia a sangue para os pulmões e o coração esquerdo bombeia a sangue para todas as partes do corpo. Uma parede muscular sólida chamada de septo é a que separa os lados direito e esquerdo do coração.

Os átrios funcionam como bombas de escorvas (auxiliares) que forçam a passagem do sangue adicional para os ventrículos antes de acontecer a contração destes. Imediatamente os ventrículos se contraem com grande força e bombeiam a sangue para os pulmões ou para a circulação sistêmica, por isso os ventrículos são chamados de bombas de força. O coração possui também quatro válvulas distintas, as quais facilitam o fluxo de sangue para frente impedindo seu refluxo. Duas válvulas, as átrioventriculares, localizadas no coração permitem um fluxo unidirecional do sangue do átrio direito para o

ventrículo direito (válvula tricúspide) e do átrio esquerdo para o ventrículo esquerdo (válvula mitral ou bicúspide). As válvulas semilunares estão localizadas na parede arterial imediatamente por fora do coração e a função é impedir o retrocesso do sangue para dentro do coração entre uma contração e outra.

As cavidades do átrio e ventrículo de cada lado do coração comunicam-se uma com outra, mais as cavidades direitas não se comunicam com as esquerdas, assim os átrios e ventrículos de lados diferentes são distintos.

Quando a sangue mexe-se dos átrios aos ventrículos, as válvulas mantêm-se abertas contra as paredes ventriculares, mais quando os ventrículos se contraem, as válvulas se aproximam devido a crescente pressão de sangue ventricular e o orifício átrioventricular é fechado, por isto a sangue é forçada a dirigir-se para a artéria pulmonar (desde o ventrículo direito) e para a aorta (desde o ventrículo esquerdo) em lugar de retornar as aurículas (figura 15).

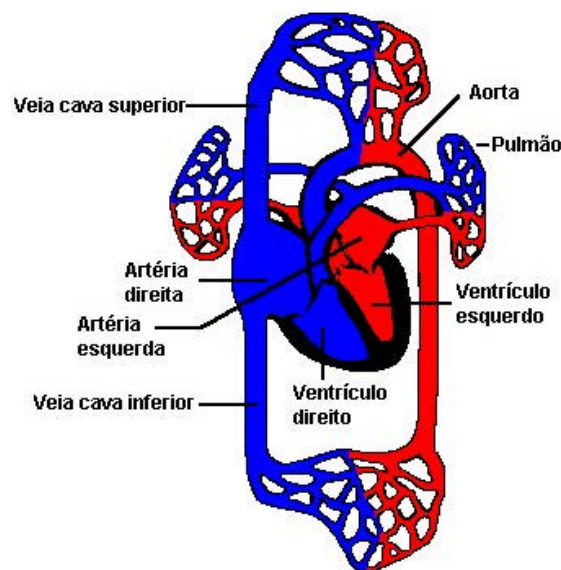


Figura 15. Esquema do sistema cardiovascular.

Sistema de batimento e condução do coração

O músculo cardíaco, porém seja muito semelhante ao músculo esquelético, possui duas características que o tornam muito adaptado a sua ação bombeadora.

1. Suas fibras estão interconectadas entre si o que faz que um potencial de ação originado em qualquer ponto da massa muscular possa propagar-se em toda sua extensão e fazer com que toda a massa muscular cardíaca contraia-se ao mesmo tempo;
2. O potencial de ação do músculo cardíaco demora por cerca de três décimas de segundo o que significa dez ou mais vezes maior que a do potencial de ação da maioria dos músculos esqueléticos.

Além destas características, algumas células musculares cardíacas, como algumas formas de músculos lisos, são autorítmicas, isto quer dizer que são capazes de autoexcitação espontânea e rítmica.

O coração possui uma pequena massa de células miocárdicas (miocárdio ou músculo cardíaco) especializadas, incluídas na parede atrial direita, perto do local de entrada da veia cava superior, sendo conhecido este local como nódulo sinoatrial (SA) e é o marcapasso normal para todo o

coração. Estas células de nódulo SA fazem contato com as fibras miocárdias atriais circundantes, espalhando a excitação ao resto das fibras. Na base do átrio direito, muito perto da parede entre os ventrículos (septo interventricular) encontra-se uma Segunda massa de células especializadas ou nódulo átrioventricular (AV). Este nódulo e as fibras nervosas que dele sai, são as únicas ligações miocárdia entre os átrios e ventrículos; as demais áreas encontram-se por tecido conjuntivo não condutor. Estas características anatômicas são o que garante que os impulsos de excitação viagem da aurícula aos ventrículos somente através do nódulo AV, o que também significa que uma disfunção do nódulo AV pode produzir uma dissociação entre as contrações dos átrios e os ventrículos. No nódulo AV a propagação do potencial através dele é retardada aproximadamente 0,1 s, possibilitando que o átrio se contraia e esvazie seu conteúdo nos ventrículos antes que estes se contraíam.

Condução do impulso através do Sistema de Purkinje

Além da forma de transmissão do impulso através das fibras musculares cardíacas que foi explicado anteriormente, o coração possui um sistema especial de condução chamado de Sistema de Purkinje, o qual transmite impulsos com velocidade cerca de 5 vezes maior que as do músculo cardíaco normal, aproximadamente 2 m/s para apenas 0,4 m/s no músculo cardíaco (Guyton, A.C., 1988).

Um impulso que seja propagado pelas fibras de Purkinje e conduzido com muita rapidez e diretamente para o músculo cardíaco, de não ser pelo Sistema de Purkinje, o impulso seria propagado muito mais lento pelo músculo cardíaco, o que permitiria que algumas fibras musculares se contraíam muito antes que as outras e que também relaxassem antes que as outras; isto provocaria um má funcionamento no sistema de bombeamento do coração.

Movimentos de contração e dilatação do coração

A contração do coração é chamada de Sístole, já que o período de relaxação dos ventrículos é a Diástole. A distinção entre sístole e diástole se faz particularmente importante para o diagnóstico de transtornos valvulares ou comunicações anormais entre os dois lados do coração.

Débito cardíaco

É o volume de sangue ejetado pelo ventrículo por minuto, expressado em litros. É importante lembrar que em este conceito, o débito cardíaco é a quantidade de sangue ejetada por ventrículo e não a quantidade total ejetada pelos dois ventrículos. A quantidade de sangue que é bombeada pelo coração de uma pessoa normal em repouso é de aproximadamente 5 l/min, podendo aumentar de 6-8 vezes em relação ao repouso até 25-35 l/min (outros autores falam de 30-35 l/min) durante o exercício muito intenso; ou diminuir intensamente durante após uma hemorragia grave até 1,5 l/min, sem que isto cause a morte de forma imediata mais pode causá-la se esta situação mantém-se por mais de uma ou duas horas.

Para medir o fluxo sanguíneo utilizam-se os chamados fluxômetros que não necessitam da abertura dos vasos sanguíneos como era necessário antigamente. Dois destes fluxômetros são o electromagnético e o Doppler.

O débito cardíaco é determinado multiplicando a frequência cardíaca e o volume de sangue ejetado por ventrículo durante cada batimento (Vander, M.D., et. Al., 1981).

$$\frac{\text{débito cardíaco}}{\text{litro/min}} = \frac{\text{freqüência cardíaca}}{\text{batimentos / min}} \times \frac{\text{débito sistólico}}{\text{litro / batimento}}$$

Por exemplo, se cada ventrículo tem uma freqüência de 72 batimentos/min e ejeta 70 ml em cada um, qual seria o débito cardíaco?.

$$VM = 72 \text{ batimentos / min} \times 0,07 \text{ l / min} = 5,0 \text{ l / min}$$

onde:

VM – volume/min

Pressão sangüínea

Para uma melhor compreensão da análise da função arterial pode-se lembrar o exemplo do balão cheio de água. A pressão dentro do balão depende da quantidade de água dentro dele e da distensibilidade de suas paredes.

A pressão sangüínea é a força que a sangue exerce contra as paredes dos vasos. Todos os vasos sangüíneos são distensíveis, as veias 8 vezes mais que as artérias. Assim a força exercida pelo sangue distende os vasos e esta pressão também faz com que a sangue tenda a deixar o interior do vaso por qualquer abertura, o que explica que o aumento de pressão nas artérias force a sangue a passar pelas pequenas artérias, depois pelas veias; desta maneira pode-se concluir que a função da pressão sangüínea é a de ser a força que faz a sangue fluir por toda a circulação.

Por todo o que se têm explicado é obvio que a pressão e a resistência são antagonistas em quanto a seu efeito sobre o fluxo sangüíneo, a pressão intentando aumentar o fluxo em quanto a resistência intenta diminuí-lo. Em termos matemáticos, essa relação expressa-se como:

$$\text{Fluxo Sangüíneo} = \frac{\text{Pressão}}{\text{Resistência}}$$

$$\text{Pressão} = \text{Fluxo Sangüíneo} \times \text{Resistência}$$

$$\text{Resistência} = \frac{\text{Pressão}}{\text{Fluxo Sangüíneo}}$$

A pressão sangüínea não é igual em todos os pontos do sistema cardiovascular (figura 16).

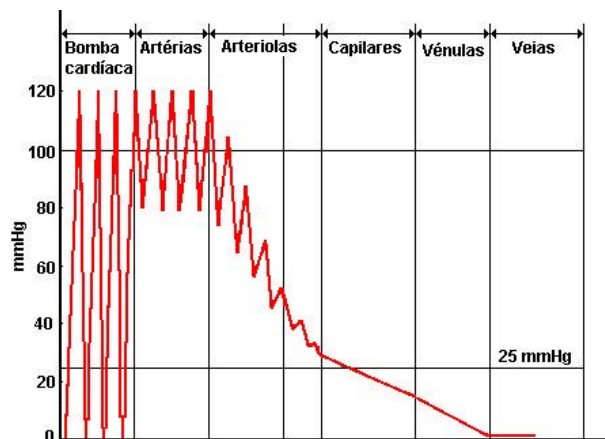


Figura 16. Variação da pressão sangüínea. Valores do indivíduo em repouso.

No período de sístole a pressão sangüínea se eleva a níveis de 120 mm Hg na aorta em condições de repouso, já que na diástole a pressão na aorta diminui até 80 mm Hg. Na artéria pulmonar as pressões são de 25 e 7 mm Hg respectivamente e não diminuem mais já que as válvulas se fecham quando a pressão no coração é menor.

O ponto de referência para medir a pressão arterial em geral (sistólica – diastólica) acostuma a ser a artéria bronquial com o braço estendido a nível da aurícula direita com o uso do esfigmomanómetro (o método de auscultatório), a pressão sistólica permite fazer uma estimativa do trabalho do coração e na tensão que atua contra as paredes arteriais durante a contração ventricular. A pressão diastólica proporciona uma indicação da resistência periférica ou da facilidade com que a sangue flui das artérias as arteriolas.

As contrações rítmicas do coração provocam uma onda de pressão equivalente ao pulso que pode ser medido nas grandes artérias e nas veias periféricas; o pulso vai diminuindo pela flexibilidade das paredes vasculares, assim quando a sangue chega ao nível dos capilares, lugar onde acontece o intercâmbio de substâncias com as células do corpo, o fluxo de sangue se faz estável.

Tanto o gasto cardíaco, o pulso e a tensão sanguínea, variam ao realizar um trabalho corporal que chega a produzir fadiga (figura 17) (Viña, S. e E. Gregory, 1987).

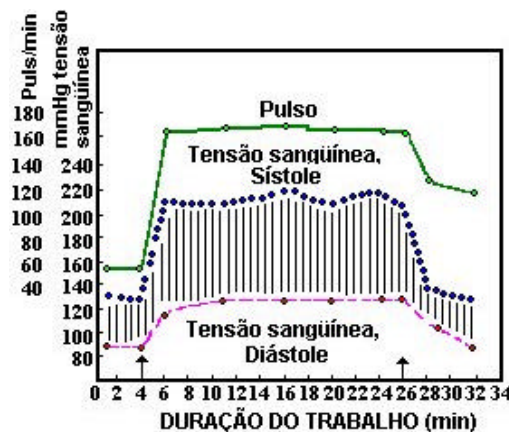


Figura 17. Comportamento do pulso e a tensão sanguínea ao realizar um trabalho corporal.

Variações do fluxo sanguíneo em repouso

Os exercícios que chegam a ser extenuantes é a condição mais estressante a qual enfrenta-se o sistema circulatório normal, já que o fluxo sanguíneo nos músculos pode aumentar mais de 20 vezes (este aumento é maior ao que acontece em qualquer outro tecido do corpo) e também porque a massa de tecido esquelético no corpo é muito grande. Durante o exercício em um adulto jovem normal, o fluxo sanguíneo pode aumentar em 5 vezes, em um atleta treinado pode aumentar de 6-7 vezes do normal.

Em repouso o fluxo sanguíneo nos músculos esqueléticos é em média de 3-4 ml/min por 100 gramas de músculo, já com o exercício extenuante essa intensidade pode aumentar de 15-25 vezes, chegando a 50-80 ml/min por 100 gramas de músculo (Guyton, A.C., 1988).

A distribuição do fluxo sanguíneo é alterada pela atividade muscular. Valores típicos se podem ver na tabela 1 (Viña, S. e E. Gregory, 1987).

Orgãos	Fluxo total sanguíneo (%)	
	Repouso, 5 l/min	Trabalho pesado, 25 l/min
Sistema digestivo	25-30	3-5
Coração	4-5	4-5
Rins	20-25	2-3
Ossos	3-5	0,5-1

Cérebro	15	4,6
Pele	5	80-85
Músculos	15-20	80-85

Tabela 1. Distribuição do fluxo sangüíneo.

No caso específico do fluxo sangüíneo coronário durante o exercício também aumenta de 3-4 vezes e o mecanismo mais importante para sua regulação é de autoregulação, isto é: quando aumentam as necessidades metabólicas de nutrientes e especialmente de oxigênio, as arteríolas de modo automático se dilatam, assim o fluxo sangüíneo pelo o leito coronário aumenta até compensar a demanda de nutrientes ao nível da atividade cardíaca.

Durante os trabalhos pesados o fluxo sangüíneo é desviado fundamentalmente para os músculos e pele, já nestas condições há um aumento da diferença de concentração de oxigênio tanto nas veias, como nas artérias, o que explica como uma pessoa pode conseguir um aumento de aproximadamente 20 vezes no consumo de oxigênio ao passar da condição de repouso a um exercício intenso com somente um aumento de 3-4 vezes do ritmo cardíaco.

Durante o trabalho a postura também é importante devido as modificações que pode produzir na circulação pelas mudanças que provoca na pressão hidrostática. A pressão sangüínea é aproximadamente de 90 mmHg maior nos pés se a pessoa está em pé. Sempre que exista a contração freqüente dos músculos das pernas, as válvulas venosas contribuem a compensar os efeitos negativos da pressão hidrostática. Quando isto não acontece assim, em 15 minutos sai do sistema circulatório para os espaços tisulares até o 15-20% do volume de sangue total, o que um prazo variável pode afetar ao indivíduo (podendo aparecer as veias varicosas, dermatites de extásis, etc.) (Guyton, A.C., 1971).

A pressão arterial é outro dos parâmetros correspondente ao sistema circulatório que se modificam em condições de repouso e de exercício. A pressão arterial é enunciada com a seguinte expressão:

$$\text{Pressão arterial} = \text{Débito cardíaco} \times \text{Re sistência Periférica Total}$$

Em repouso a pressão sistólica mais alta é de aproximadamente 120 mmHg e a pressão diastólica, que corresponde a diástole ou fase de relaxação, a pressão cai para 70 ou 80 mmHg.

Pressão arterial em exercício em ritmo estável

Durante a atividade muscular rítmica, como o trote, natação, ciclismo, se produz uma elevação rápida da pressão sistólica durante os primeiros minutos de exercício, a seguir a pressão arterial se equilibra aproximadamente entre 140-160 mmHg, sem que esteja demonstrada diferença entre os sexos.

Pressão arterial e exercício progressivo

Durante a realização de exercícios contínuos e progressivos como por exemplo, a esteira rolante, primeiramente acontece uma elevação rápida e inicial da pressão arterial em relação ao nível de repouso; após esta elevação rápida vem um aumento linear com a intensidade do exercício. Durante o exercício máximo realizado por homens e mulheres aptos e sãos, a pressão sistólica pode aumentar até 200 mmHg.

Ritmo cardíaco

Nos indivíduos sãos a freqüência do pulso e a freqüência ou ritmo cardíaco são idênticos; e são variáveis em dependência do grau de atitude física de cada indivíduo e do trabalho que realiza. Os valores do ritmo cardíaco

variam entre limites de 70 pulsações em repouso até 200 pulsações em um exercício intenso.

É importante destacar que para cada pessoa o ritmo cardíaco estabiliza-se em um valor correspondente com cada carga de trabalho. Em situações onde a carga de trabalho se faz com os braços, e em aqueles trabalhos com aplicação de forças sem movimentos, os quais denominam-se trabalhos estáticos, o ritmo cardíaco é relativamente maior.

Quando desde o ponto de vista térmico, o ambiente de trabalho é satisfatório, o ritmo cardíaco para uma determinada carga de trabalho se mantém normal, já em um ambiente quente essa mesma carga de trabalho pode aumentar o ritmo cardíaco.

O ritmo cardíaco também pode ser modificado pelo estado emocional na realização do trabalho independentemente de sua intensidade. As mulheres, devido a que geralmente têm um tamanho menor e a que o conteúdo de hemoglobina em seu sangue é menor, requerem de forma geral um ritmo cardíaco maior que os homens para uma mesma carga de trabalho.

Mecanismos fisiológicos do balance térmico

Mecanismo de termorregulação. Necessidade de manutenção da temperatura interna do organismo.

O sistema cardiovascular do organismo humano desenvolve um rol fundamental na termorregulação.

O sangue serve de refrigerante de todos os órgãos internos do organismo humano e dos músculos, onde se gera calor metabólico. Este calor o transporta os capilares que se encontra na pele e de ali se dissipa para o ambiente exterior.

A manutenção da temperatura interna do corpo dentro de um intervalo muito estreito é essencial para a vida e a capacidade de trabalho. O valor normal é de 37,6 °C. Se esta temperatura se eleva sobre os 41 °C existe um risco grande de dano irreparável das células cerebrais. O ser humano encontra-se toda sua vida a uns 4-5 °C de um grave acidente térmico ou a morte sem que isto pareça preocupar-lhe muito, independentemente das variações da intensidade do trabalho e das condições climáticas.

A temperatura da pele pode variar mais amplamente em dependência das condições climáticas.

Se os acidentes térmicos não são muito freqüente, isto se deve aos eficientes mecanismos de termorregulação com que conta o organismo. Porém, se as condições do clima laborar não favorecem um adequado intercâmbio térmico se desenvolve uma tensão fisiológica tendente a garantir a termorregulação, que incide no bem-estar do trabalhador, provoca a fadiga (com a conseguinte redução da produtividade) e afeita sua saúde nos casos mais críticos.

Num clima caloroso existe afluência de sangue para a superfície do corpo aumentando a temperatura. Começa o corpo humano a suar com o objetivo de esfriar a pele devido a evaporação do suor sobre ela e se produz um processo de esfriamento da sangue.

O contrario acontece quando o clima é frio. Neste caso a sangue fica longa da pele, acumulando-se na parte central do corpo de evitar a saída de calor. Podem acontecer tremores, que é um exercício involuntário que realiza o corpo para produzir calor e manter a temperatura interna para um correto funcionamento do organismo.

A manutenção da temperatura corporal (interna) depende de que se logre equilibrar as ganâncias e as perdas de calor do corpo.

A expressão geral do balance térmico que representa este equilíbrio é a seguinte:

$$M - W = C_{res} + E_{res} + K + C + R + E + S$$

onde:

M - Geração metabólica de calor (w/m²)

W - Trabalho mecânico (w/m²)

C_{res} - Intercâmbio por convecção no tracto respiratório (w/m²)

E_{res} - Intercâmbio por evaporação no tracto respiratório (w/m²)

K - Intercâmbio de calor por condução (w/m²)

C - Intercâmbio de calor por convecção (w/m²)

R - Intercâmbio de calor por radiação (w/m²)

E - Intercâmbio de calor por evaporação do suor (w/m²)

S - Armazenamento de calor, acumulando-se no corpo (w/m²)

O trabalho mecânico (W) pode ser desprezível na industria. De forma simplificada a equação anterior se pode expressar como:

$$M \pm R \pm C - E = 0$$

A geração metabólica de calor depende do grado de atividade do trabalhador e pode variar desde um mínimo correspondente ao metabolismo basal até valores máximo durante a realização de trabalhos pesados, ou muito pesados.

O calor metabólico gerado durante o trabalho equivale aproximadamente ao custo energético da atividade, posto que geralmente a eficiência mecânica é muito baixa e pode se desprezar a energia que se converte em trabalho externo.

A medição do custo energético pode obter-se valores aproximados das tabelas que aparecem na literatura. Para trabalhos muito pesados podem encontrar-se valores até de 3 140 KJ/h (750 Kcal/h).

Na norma internacional ISO 8996 os valores de metabolismo utilizados estão baseados em uma pessoa típica (tabela 2). Isto deve ser particularmente considerado para atividades que requerem um movimento associado ao peso do corpo, por exemplo: caminhando para arriba ou levantando pesos, devido a que o peso do corpo influencia o metabolismo destas atividades (ISO 8996, 1990).

Dados	Masculino	Feminino
Altura do corpo, H _b em metros	1,7	1,6
Peso do corpo, W _b em Quilogramas	70	60
Superfície do corpo, A _{du} , em m ²	1,8	1,6
Idade, A, em anos	35	35
Valores de metabolismo basal, em w/m ²	44	41

Tabela 2. Dados de uma pessoa típica.

O intercâmbio de calor por radiação depende da diferencia entre as temperaturas das superfícies que circundam ao trabalhador, a temperatura da pele e o valor do ângulo sólido que subtendem essas superfícies em relação com o trabalhador. Se a temperatura de uma superfície é maior que a da pele,

o trabalhador ganha calor por radiação dessa superfície. Se a temperatura de uma superfície é menor que a da pele, o trabalhador perde calor por radiação para essa superfície.

Como as temperaturas de cada uma das superfícies, assim como o ângulo sólido que subtendem é geralmente diferente, para simplificar se define a temperatura média radiante do lugar que ocupa o trabalhador, a qual pode calcular-se utilizando a expressão seguinte:

$$(TMR + 273)^4 = (t_g + 273)^4 + 1,4 \sqrt{V_a} (t_g - t_{bs}) 10^8$$

Onde:

TMR: Temperatura média radiante, em °C

t_g : Temperatura de globo, em °C

V_a : Velocidade do ar, em m/s

t_{bs} : Temperatura de bulbo seco, em °C

Tanto a t_g como a TMR são específicas do ponto de medição e é um erro supor que são representativas de uma área de trabalho.

O intercâmbio de calor por convecção depende da diferença de temperatura entre o ar que rodeia ao trabalhador e sua pele. Se a temperatura do ar é maior que a da pele, o trabalhador ganha calor por convecção. Se a temperatura do ar é menor que a da pele, o trabalhador perde calor por convecção. A velocidade relativa entre o ar e a pele determina a magnitude da perda ou ganância de calor, sendo maior a medida que aumenta a velocidade.

A perda de calor por evaporação se deve basicamente a evaporação do suor sobre a pele do trabalhador. Depende, em primeiro lugar, da quantidade de suor que pode suar um trabalhador. Para trabalhadores que habitualmente trabalham num ambiente caloroso pode chegar, como média na jornada laborar, a mais de um litro por hora. Ao evaporar-se sobre a pele um litro de suor se dissipam 2,428 KJ (580 Kcal). Esta perda de calor por evaporação não depende somente de que o trabalhador possa suar, posto que se a umidade do ar é muito elevada o suor não se evapora. A velocidade do ar sobre a pele favorece a evaporação do suor. Portanto, a magnitude da perda de calor por evaporação depende da umidade e da velocidade do ar, até um máximo fisiológico fixado por a capacidade de sudoresis.

Todo parece indicar que o centro de regulação da temperatura se encontra no hipotálamo, até onde chegam os impulsos nervosos provenientes dos terminais sensíveis as temperatura distribuídos por todo o corpo.

O sistema cardiovascular desempenha um papel fundamental na termorregulação. A sangue serve de refrigerante de todos os órgãos internos e de os músculos, onde se gera o calor metabólico; este calor o transporta aos capilares que se encontram na pele e ali se dissipa para o ambiente.

O centro termorregulador controla a quantidade de sangue que circula por estes capilares. Se a troca térmica se reduz devido a um ambiente caloroso se aumenta o fluxo de sangue para a pele. Se o ambiente é frio se diminui o fluxo de sangue para a pele. A quantidade de sangue que circula por a pele pode variar desde quase zero até um 30 % do fluxo sangüíneo total. O fluxo sangüíneo para a pele se inverte de novo se a temperatura é muito baixa, para proteger as zonas expostas.

O fluxo de sangue para a pele tende aumentar sua temperatura e se o clima laborar é muito caloroso as glândulas sudoríparas começam a segregar o suor, cuja evaporação esfria a sangue. Durante uma jornada laborar um trabalhador exposto a um clima laborar caloroso pode suar sete ou oito litros de

suor, o que representaria uma perda de peso de sete ou oito quilogramas se o líquido não se repõe. Como o suor contém diversas sais, principalmente clorato de sódio (NaCl), a sudoresis excessiva pode causar uma considerável perda de sais.

O balance hídrico do organismo é muito importante. Uma perda de 1,5 Kg de água reduz sensivelmente o volume sanguíneo, a sangue se torna mais densa e viscosa aumentando o trabalho cardíaco. Eleva-se o pulso e a temperatura interna, experimentando-se sede e mal-estar. Um déficit de 2 a 4 Kg de água (3 ao 6 % do peso do trabalhador) provoca uma forte diminuição da capacidade de trabalho, com alterações fisiológicas importantes. Se tal quantidade de água se pode perder em somente umas horas de trabalho, num ambiente caloroso resulta imprescindível garantir sua reposição.

A temperatura interna do corpo varia ligeiramente segundo a intensidade do trabalho, mais é constante para intensidade de trabalho num amplo intervalo de condições de intercâmbio térmico, que estão dentro das possibilidades dos mecanismos de termorregulação.

Quando os mecanismos termorreguladores não são suficientes para dissipar o calor gerado e ganhado pelo corpo, a temperatura interna se eleva.

O limite permissível de elevação da temperatura interna não está ainda claramente estabelecido, mais a maioria dos especialistas opinam que não deve ser maior de 38 °C.

A partir do dito anteriormente, pode deduzir-se que os três indicadores fisiológicos para avaliar a tensão térmica mais utilizados são a temperatura interna, a perda de peso por sudoresis e o ritmo cardíaco.

Quando um trabalhador se expõe por primeira vez a uma situação laborar não acostumada de clima caloroso, seus mecanismos termorreguladores não podem adaptar-se imediatamente aos novos requerimentos, necessitando de sete a dez dias para conseguir a adaptação. Este processo se denomina aclimatação e na figura 18 se exemplificam seus efeitos nos três indicadores fisiológicos citados.

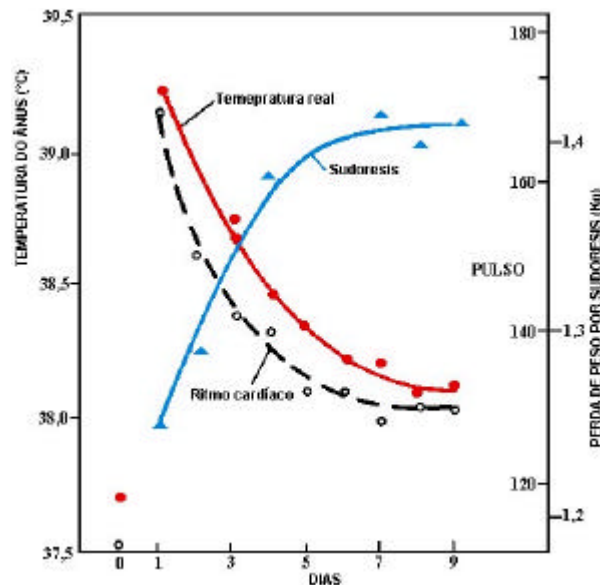


Figura 18. Efeitos da aclimatação.

Os efeitos da aclimatação devem aproveitar-se para diminuir a probabilidade de um acidente térmico em trabalhadores que se incorporam a

um trabalho com condições desfavoráveis de intercâmbio térmico, já seja por primeira vez ou em trabalhos de estação como a indústria produtora de açúcar, onde é recomendável treinar progressivamente aos trabalhadores, em particular com aqueles de maior idade ou com problemas cardiovasculares, que por essas causas podem estar incapacitados para trabalhar em tais condições.

CAPÍTULO IV. SISTEMA RESPIRATÓRIO

Um dos aparelhos do corpo humano que participa na realização do metabolismo nas células é o respiratório, porque sem dúvidas estas precisam de oxigênio para garantir o metabolismo, elemento que adquire o organismo através de sistema respiratório. As células precisam do oxigênio que é transportado pelo sangue até elas, utilizam este para produzir a queima dos alimentos que tem absorvido, produzindo a energia que o organismo humano precisa para todas suas atividades, entre elas a manutenção da temperatura interna do organismo, que como se conhece, é de aproximadamente 37°C. A função fundamental do aparato respiratório é:

1. Suprir oxigênio para todos os tecidos;
2. Remover o gás carbônico.

A maioria das células do corpo humano obtém grande parte de sua energia de reações químicas que necessitam de oxigênio, e estas células também devem ser capazes de eliminar o principal produto final dessas oxidações, o gás carbônico (CO₂).

Em condições de repouso, as células do organismo consomem aproximadamente 200 ml de oxigênio por minuto; em condições especiais que requerem um maior consumo de oxigênio, como durante um exercício, seu consumo pode aumentar até 30 vezes; assim quantidades equivalentes de dióxido de carbono são simultaneamente eliminadas. O sistema respiratório consta de duas partes:

1. Vias respiratórias;
2. Pulmões.

Vias respiratórias

As vias respiratórias iniciam-se em nas narinas ou na boca; ao passar pelo nariz o ar é inspirado, umedecido, aquecido e purificado de partículas maiores de 10 µm pelos pêlos existentes na cavidade nasal; também na mucosa nasal encontramos receptores que desencadeiam reflexos como o espirro que constitui um mecanismo defensivo para eliminar impurezas do ar; depois o ar passa pela faringe, laringe e traquéia, brônquios, bronquíolos para finalmente chegar aos alvéolos.

A faringe (garganta) ramifica-se em dois condutos: o esôfago, pelo qual passam os alimentos para o estômago e a laringe pela qual passa ar para os pulmões onde se encontram as cordas vocais, a laringe é protegida da entrada de alimentos pela fechadura das cordas vocais através da abertura da laringe e por uma espécie de tampão chamado epiglótis. A continuação da laringe é a traquéia que é um tubo elástico que possui aproximadamente de 16 a 20 anéis cartilagosos, os quais são abertos em sua parte posterior; por sua constituição ser a base de fibras elásticas e musculares longitudinais e circulares, seu diâmetro pode variar entre 13 a 22 mm.

A traquéia ramifica-se em dois brônquios, cada um deles entrando em um pulmão; dentro dos pulmões ramificam-se nos bronquíolos. Este sistema de tubos constituídos pela faringe, laringe, traquéia, brônquios, bronquíolos encontra-se revestido de um epitélio que contém estruturas semelhantes a pêlos denominadas cílios, os quais se mexem continuamente em direção a faringe. Em estas mesmas regiões encontra-se células que segregam muco, onde qualquer partícula que não foi "filtrada" pelos pêlos da cavidade nasal,

ficam aderidas a esse muco; a restantes partículas que foram removidas pelos movimentos dos cílios para a faringe, são deglutidas.

A figura 19 mostra um esquema simplificado das vias respiratórias do organismo humano.

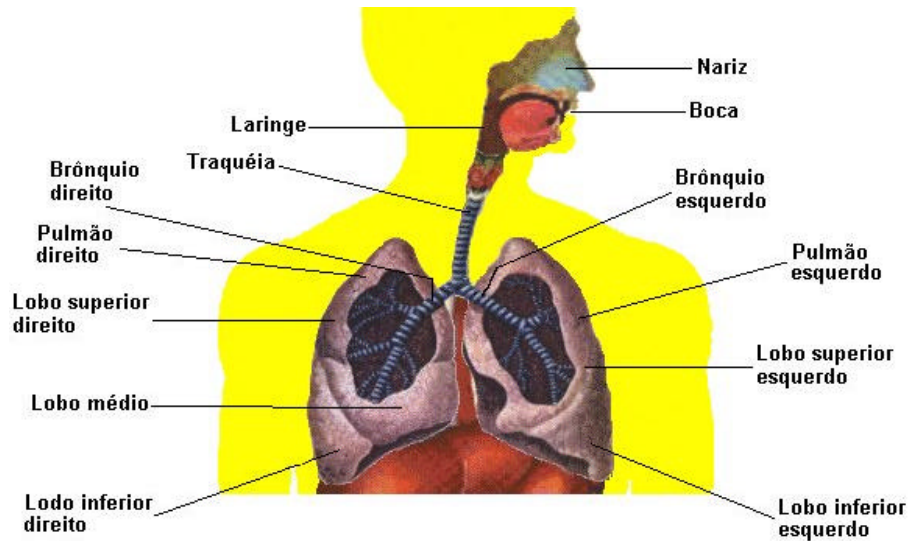


Figura 19. Organização do aparelho respiratório.

Outro mecanismo de proteção é as células fagocíticas, as quais englobam poeiras, bactérias e restos celulares. Tanto o mecanismo de células fagocíticas como o de atividade ciliar, protegem ao organismo de infecções pulmonares e ambos podem ver-se seriamente afetados por agentes nocivos como o cigarro. Por exemplo, um único cigarro sabe-se que pode provocar a paralisia dos cílios por várias horas; isto junto ao aumento da produção de muco que também produz o cigarro pode levar a uma obstrução parcial ou total das vias aéreas devido ao muco estacionário.

Pulmões

Os pulmões não são simples balões ociosos, eles têm tubos que contêm ar, vasos sanguíneos e tecido elástico conectivo. Os mais finos desses tubos finalizam em pequenos sacos vazios de parede delgada em forma de cálice que são os alvéolos que totalizam aproximadamente 300 milhões e é neles onde se produz o intercâmbio de gases.

Os pulmões são duas massas esponjosas que se situam no interior da caixa torácica a ambos lados do coração. O pulmão direito está formado por três lobos e o esquerdo por dois lobos; cada lobo está composto por lobos menores separados nitidamente por um tecido frouxo. Os pulmões estão envolvidos pela pleura pulmonar ou visceral; as paredes internas do tórax e do diafragma são revestidos pela pleura parietal; as duas pleuras estão separadas por uma fina camada de líquido.

Entre os pulmões e a parede torácica não existem ligações físicas; os pulmões são mantidos como "empurrados" contra essa parede por um pequeno espaço, chamado espaço intrapleural que fica entre os pulmões e a parede torácica.

A respiração é um ato involuntário e automático, no qual extraí-se o oxigênio do ar inspirado e expulsam-se os gases de residual com o ar expirado.

Respiração

O ato de respirar está dado pelo aumento e pela diminuição do volume da caixa torácica, a qual está formada pelo esterno na parte frontal, atrás pela coluna vertebral e nos laterais está circundada pelas costelas e fechada na parte inferior pelo diafragma.

A respiração cumpre com duas fases sucessivas as quais acontecem pela ação muscular do diafragma e dos músculos intercostais; todos controlados pelo centro respiratório do bulbo raquídeo.

Os principais músculos inspiratórios são o diafragma e os músculos intercostais externos, assim como os músculos pequenos do pescoço. O diafragma se contrai e os músculos intercostais se elevam e ensancham as costelas; os pequenos músculos do pescoço fracionam para cima a parede anterior da caixa torácica.

Durante a expiração o diafragma relaxa-se e as costelas descem e se deslocam para o interior, assim a caixa torácica diminui sua capacidade e os pulmões deixam sair o ar para o exterior.

A pessoa respira 17 vezes por minuto e cada vez durante uma respiração normal, uma pessoa respira aproximadamente 6 l/min de ar. O número de inspirações depende de diferentes fatores como o exercício, a idade, etc.

Outros autores colocam que a capacidade pulmonar de uma pessoa normal é de 5 litros. A frequência respiratória varia de 12-17 vezes/min em repouso até 50 vezes/min em grandes esforços físicos.

Modificações do volume pulmonar durante a respiração

A respiração pulmonar é o volume de ar espirado por unidade de tempo, o qual geralmente se expressa em l/min, pelo que com frequência pode-se encontrar em alguns textos como volume respiratório por minuto.

A intensidade de trabalho provoca variação da ventilação pulmonar desde 6 l/min durante o repouso até 150 l/min-180 l/min durante o trabalho pesado; este incremento não é linear, é proporcionalmente maior para os trabalhos mais intensos, com uma dispersão ampla dos valores da ventilação pulmonar para uma mesma carga de trabalho (Viña, S. e E. Gregory, 1987).

O volume de ar que penetra e sai dos pulmões durante uma única respiração ou ciclo ventilatório denomina-se volume corrente, o qual é de aproximadamente 500 ml.

O volume de ar que pode ser inspirado, além do volume corrente, denomina-se volume de reserva inspiratória e varia entre 2500-3500 ml de ar.

O volume de ar que fica nos pulmões ao final da expiração normal é muito grande, parte do qual pode ser exalado pela contração dos músculos expiratórios e que é aproximadamente de 1000 ml denomina-se volume de reserva expiratório.

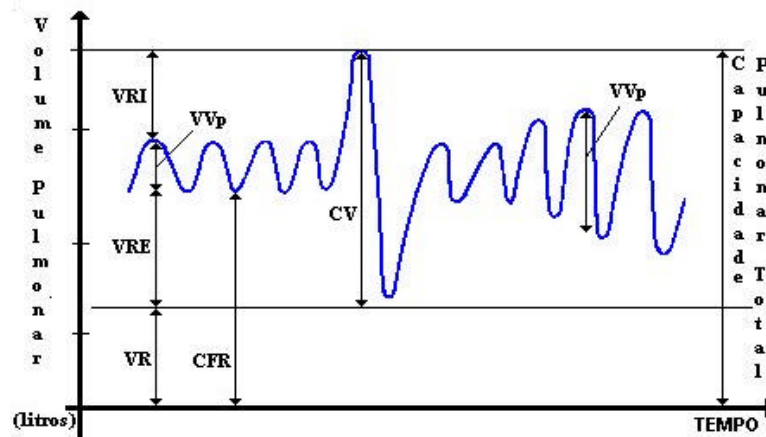
Ao final de cada expiração, mesmo de uma expiração máxima, fica um volume de ar que é aproximadamente de 1000 ml, que se denomina volume residual.

Capacidade vital é a capacidade máxima de ar que pode ser mobilizada para dentro e para fora durante um único processo ventilatório e é a soma do volume corrente normal e dos volumes de reserva inspiratória e expiratória. Quando uma pessoa realiza um trabalho pesado ou um exercício forte, utiliza parte das reservas, tanto inspiratórias como expiratórias, mais raramente utiliza mais do 50% de sua capacidade vital total, já que respirações mais profundas

que estas, requerem uma atividade maior que chega a ser exaustiva dos músculos respiratórios, tanto inspiratórios como expiratórios.

Ventilação pulmonar total por minuto

A ventilação pulmonar total por minuto determina-se pela multiplicação do volume corrente pela frequência respiratória (respirações/min). É importante dizer que o volume de ar inspirado ou expirado em cada um dos movimentos respiratórios e, por conseguinte a frequência destes, varia com a intensidade de trabalho. A figura 20 mostra os volumes e capacidades dos pulmões e sua variação no tempo.



Onde:

CFR - Capacidade funcional residual

CV - Capacidade vital

VV_p - Volume de ventilação pulmonar

VRI - Volume de reserva inspiratória

VRE - Volume de reserva expiratória

VR - Volume residual

Figura 20. Volumes e capacidades dos pulmões.

Um indivíduo em repouso mobiliza aproximadamente 500 ml para dentro e para fora em cada respiração, respirando 10 vezes por minuto (Vander, M.D., et. Al., 1981). A ventilação pulmonar é, portanto:

$$500 \text{ ml} \times 10 = 5000 \text{ ml de ar por minuto}$$

Desses 5000 ml de ar, não tudo é utilizado para o intercâmbio gasoso, já que esse intercâmbio só é realizado nos alvéolos, aos quais deixa de chegar 150 ml de tudo o ar atmosférico que penetra no aparato respiratório de cada respiração; esses 150 ml vão ficando nas vias aéreas (nariz, laringe, faringe, etc.) onde não se produz intercâmbio gasoso, sendo este chamado de espaço morto.

Sabendo que o volume corrente normal é de 500 ml e que deles só aproximadamente 350 ml de ar novo chegam aos alvéolos, pode-se compreender o conceito de Ventilação Alveolar, que é a medida mais importante da eficiência pulmonar de uma pessoa e que se pode definir como a quantidade total de ar novo que chega aos alvéolos a cada minuto.

Se a cada respiração, apenas 350 ml de ar novo entram nos alvéolos e a frequência respiratória é de 12 vezes por minuto, a ventilação alveolar tem um valor de 4200 ml/min. Com um esforço respiratório máximo, este valor pode aumentar até 120 l/min; no extremo oposto, a pessoa pode permanecer viva por algumas horas com uma ventilação alveolar de 1200 ml/min (Guyton, A.C., 1988).

Intercâmbio gasoso

O intercâmbio gasoso no sangue acontece nos alvéolos, devido a que a maior parte de suas finíssimas paredes esta ocupada pelos capilares; a sangue dentro dos capilares esta separada do ar no interior de um alvéolo, por uma barreira muito fina (0,2 μm); o total da área alveolar em contato com os capilares é de aproximadamente 70 m^2 ; essa área extensa de contato e a reduzida espessura da barreira são o que permite o rápido intercâmbio de grandes quantidades de oxigênio e gás carbônico.

A pressão de um gás denomina-se pressão parcial do gás e depende de sua concentração e da pressão atmosférica.

As pressões parciais aproximadas dos gases respiratórios de importância para uma pessoa ao nível do mar são (Guyton, A.C., 1988):

Oxigênio	- 104 mmHg
Gás Carbônico	- 40 mmHg
Vapor de água	- 47 mmHg
Nitrogênio	- 569 mmHg

As concentrações dos gases no ar atmosférico são:

Oxigênio	21 %
Nitrogênio	78 %
Árgon e outros gases inertes	1 %
Bióxido de Carbono	0,03 – 0,04 %
Vapor de água	10 – 35 g/m^3 (variável)

A pressão atmosférica e as pressões parciais dos gases no ar e nos pulmões diminuem proporcionalmente com a altitude.

A pressão de oxigênio que penetra nos capilares pulmonares é baixa, de apenas 40 mmHg. Como resultado o oxigênio difunde para o sangue pulmonar até que sua pressão iguale os 104 mmHg da pressão parcial de oxigênio no ar alveolar. Por outro lado, a pressão de gás carbônico no sangue que chega aos capilares pulmonares é alta, de cerca de 45 mmHg, de modo que o gás carbônico difunde dessa sangue para os alvéolos, até que sua concentração iguale os 40 mmHg de pressão parcial de gás carbônico no ar alveolar; assim a sangue absorve oxigênio e elimina gás carbônico (Guyton, A.C., 1988).

O oxigênio tomado nos alvéolos pulmonares é levado pelos glóbulos vermelhos da sangue até o coração e depois distribuído pelas artérias a todas as células do corpo. O dióxido de carbono é recolhido em parte pelos glóbulos vermelhos e em parte pelo plasma e transportado pelas veias cavas até o coração e dali é levado aos pulmões para ser liberado ao exterior.

CAPÍTULO V. TRABALHO FÍSICO

Efeitos do trabalho físico

Uma das primeiras perguntas que toda pessoa deve realizar estaria encaminhada a conhecer, como é obtida a energia pelo corpo humano para a realização de um trabalho físico?.

Pois bem, em estado de repouso o metabolismo do indivíduo é ligeiramente superior ao metabolismo basal. Neste caso é lembrar que o metabolismo basal varia dependendo do sexo, ou seja, para as mulheres este metabolismo seria de 40,6 w/m² e para os homens de 42,9 w/m².

O começo de uma atividade muscular determina o aumento do ritmo respiratório e das profundezas das inspirações para garantir um subministro de oxigênio as células que se contraem. De forma simultânea acontece um incremento do ritmo cardíaco para aumentar o fluxo sanguíneo que transporta o oxigênio as células. O sangue leva as células, além de oxigênio, os nutrientes que subministrarão a energia necessária para a contração e recebe das células as substâncias de residual e o calor que produzem as reações químicas na célula.

Estas reações podem ser aeróbias ou anaeróbias, é dizer, com subministro imediato de oxigênio o sem ele.

As reações anaeróbias produzem ácido láctico que se deve processar posteriormente, quando está disponível o oxigênio necessário. A utilização das reações anaeróbicas vai em incremento com o aumento na intensidade do trabalho muscular, pelo que a concentração de ácido láctico na sangue aumenta progressivamente com o incremento na intensidade do trabalho.

As reações aeróbias podem manter-se por um tempo determinado entanto esteja disponível o oxigênio e os nutrientes necessários, mais se predominam as reações anaeróbias, o trabalho somente pode continuar durante um tempo relativamente curto, pois a elevada concentração de ácido láctico impede a continuação das contrações.

Sabe-se que para um trabalho ligeiro ou moderado se produz um subministro de oxigênio aos músculos o qual é suficiente para a realização desse tipo de trabalho. Neste caso se sabe que a concentração de ácido láctico aumenta, mais o isso não impede que o trabalho possa ser realizado por um período de tempo relativamente cumprido. Tal como foi dito anteriormente, na medida que aumenta a intensidade de trabalho o organismo humano precisa de maior consumo de oxigênio já que o subministro deste aos músculos é insuficiente, portanto neste caso tomam cada vez mais maior importância as reações anaeróbias.

O organismo humano possui reservas normais de ATP, fosfato de creatina e ácido láctico que são utilizada quando a realização de um trabalho, as quais devem ser restabelecidas através dos mecanismos oxidativos que continuam desenvolvendo-se quando o trabalho seja terminado. Essa quantidade de oxigênio que o organismo humano precisa para restabelecer as reservas antes ditas, se conhece com o nome de divida de oxigênio, a qual mostra-se de forma gráfica na figura 21.

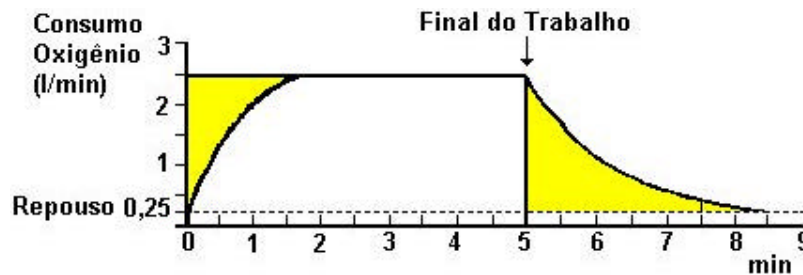


Figura 21. Dívida de oxigênio

Capacidade de trabalho físico

A capacidade de trabalho físico (CTF), também conhecida como potência aeróbia máxima, é o máximo caudal de oxigênio que um indivíduo é capaz de inspirar, combinar com o sangue em seus pulmões e transportar por meio do sangue as células que se contraem. Sabe-se que um indivíduo alcançou sua potência aeróbia máxima quando os incrementos da carga não provocam aumento do consumo de oxigênio e quando a concentração de lactado em sangue é de 8-9 milimoles/litro.

É importante esclarecer que na definição dita anteriormente somente se corresponde com a definição comum de capacidade de trabalho, quando na atividade se empregam grupos musculares grandes das extremidades, pois a capacidade máxima para realizar um trabalho na prática pode ser muito menor se se consideram atividades onde somente encontra-se em contração um número pequeno de músculos.

Por outra parte em trabalhos onde são utilizados grandes grupos musculares, como por exemplo, carregamento de cargas, trabalhos agrícolas, etc. é impossível que o indivíduo realize seu trabalho com uma intensidade tal que precise que seu consumo de oxigênio seja o máximo, pelo que é recomendado que o limite admissível seja de uma intensidade do 30% de volume máximo de oxigênio.

Métodos para determinar a capacidade de trabalho físico

1. Método de regressão linear

A determinação da capacidade de trabalho físico se realiza geralmente através de provas submáximas em uma bicicleta ergométrica ou um degrau, fazendo uso da relação entre o ritmo cardíaco e a carga de trabalho. Na medida em que aumenta a carga de trabalho, aumenta o ritmo cardíaco. A prova consiste em colocar um indivíduo pedalando em uma bicicleta ergométrica a uma carga e durante um tempo determinado; nesse período de trabalho deve-se medir os valores de ritmo cardíaco em intervalos de tempo determinado, fazendo um regime de trabalho-descanso que permita avaliar o comportamento do indivíduo que pode ser de 6 minutos de trabalho e 4 minutos de descanso. Durante esse tempo o pesquisador poderá comprovar como vai aumentando o ritmo cardíaco na medida passa o tempo de trabalho e como vai diminuindo quando está no período de descanso até alcançar um valor que está perto das condições iniciais, ou seja, antes de começar o trabalho ou condições de repouso. Desta forma, se sugere variar, como um mesmo regime de trabalho, a carga até alcançar 3 valores diferentes. Os resultados desta prova devem ser colocados em uma gráfica, como se mostra na figura 22.

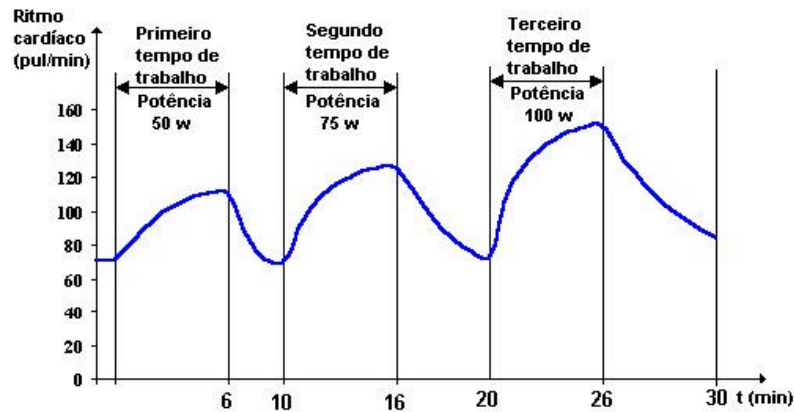


Figura 22. Variação do ritmo cardíaco de um indivíduo submetido a três cargas de trabalho.

Os valores de ritmo cardíaco são colocados em uma gráfica vs. carga, tal como mostra-se na figura 23, e se encontra a expressão da reta que melhor se ajusta a esse ponto, mediante a utilização da regressão, de forma tal de extrapolar o valor máximo do ritmo cardíaco. Frequentemente é utilizado como ritmo cardíaco máximo um valor de 170 puls/min. Sabendo isso, o pesquisador poderá determinar a carga de trabalho máxima que poderá ser submetido o indivíduo para não passar o valor de 170 puls/min.

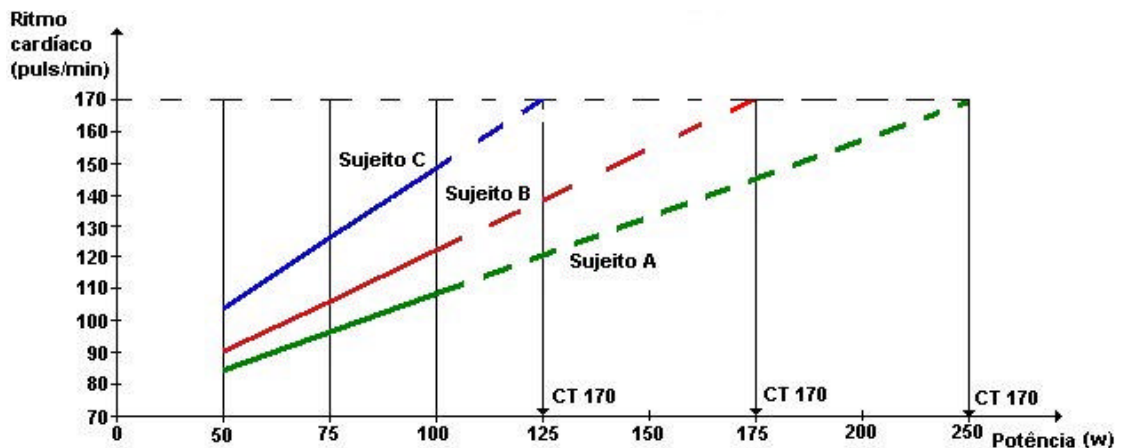


Figura 23. Método para estimar a Carga de Trabalho para 170 puls/min. (CTF₁₇₀).

No exemplo colocado na figura 23, pode-se observar que o indivíduo A tem uma capacidade máxima de trabalho físico para uma carga de uma potência de 250 w, para o indivíduo B é de 175 w e para o indivíduo C de 125 w, por conseguinte o sujeito A tem maior capacidade de trabalho físico que o B e que o C.

A eficiência mecânica pode ser calculada através da expressão:

$$E_m = \frac{T * 100}{E - e}$$

Onde:

EM - eficiência mecânica do trabalho (%)

T - trabalho externo (KJ)

E - energia consumida (KJ)

e - metabolismo basal (KJ)

A eficiência mecânica em uma contração isométrica é nula, já que toda a energia se converte em calor; já na contração dinâmica a eficiência mecânica é muito baixa entre um 20% e 25%. Para atividades com grandes grupos musculares do 70% à 80% da energia consumida se converte em calor que é dissipada pelo organismo. As contrações de uns músculos se opõem a outros para garantir o controle da velocidade, pelo que o trabalho externo é pequeno.

2. Expressões empíricas

Entre as expressões empíricas está a de Von Döbeln.

$$VO_2 = \sqrt{\frac{L}{f_c - 60}} \cdot e^{-0,00884 T}$$

Onde:

L - carga de trabalho na bicicleta ergométrica (watt)

f_c - frequência do ritmo cardíaco depois de 6 minutos de trabalho a carga (puls/min)

T - idade (anos)

Sugere-se aplicar a expressão para a carga (L) que corresponde a 150 puls/min.

Importância do gasto energético

Porém os seres humanos não são utilizados na atualidade como recurso energético, como o foram em séculos passados, algumas ocupações ainda exigem de um esforço físico considerável, já seja como mínimo em momentos determinados ou como acumulação de esforços durante o trabalho.

A medição do gasto energético durante o trabalho tem importância prática, pois comparando-o com a capacidade de trabalho física do indivíduo pode-se avaliar suas atitudes para o tipo de trabalho e estabelecer períodos de trabalho e descanso adequados.

Ao mesmo tempo pode-se determinar os requerimentos alimentícios do trabalhador evitando tanto sua insuficiência em trabalhos pesados como seu excesso em trabalhos sedentários, ambos prejudiciais para a saúde.

O consumo de energia em determinado tipo de atividade pode variar segundo a maneira de realizá-lo e a postura que adotem os trabalhadores, pelo que o gasto energético pode ser um critério adequado de comparação entre vários métodos de trabalho, com o objetivo de otimizar a eficiência do trabalhador desde o ponto de vista biológico.

Os limites do trabalho variam segundo autores mais parece conveniente que o gasto energético não exceda o 30% da capacidade de trabalho físico ou potência aeróbia máxima do trabalhador em aqueles trabalhos onde se utilizam grandes grupos musculares.

Este critério é insuficiente quando o trabalho supõe a atividade de poucos músculos ou com um componente estático grande, em cujo caso os músculos podem ser sobrecarregados sem que o gasto energético seja grande.

Métodos para a avaliação do gasto energético

1. Medir o alimento consumido, durante períodos relativamente largos, registrando ao mesmo tempo o peso corporal do sujeito.

Como o conteúdo energético dos alimentos pode-se determinar com bastante exatidão, pode-se supor que:

- Se o peso corporal se mantém constante, a energia que contém os alimentos há sido utilizada pelo indivíduo.

Desvantagem: não permite diferenciar facilmente a energia consumida no trabalho e a consumida nas restantes atividades.

2. Situar ao sujeito em um calorímetro realizando sua atividade laborar. Tendo em conta que na última instância toda a energia consumida durante o trabalho se converte em calor, pode-se medir o gasto energético a partir dele. Para isto o indivíduo é situado em um calorímetro o suficientemente grande para permitir a realização da atividade laborar avaliada.

Desvantagens:

- procedimento complexo que só é possível a nível de laboratório;
- muitas atividades laborais são impossíveis de realizar em um espaço limitado.

3. Calorimetria indireta.

Tem seu fundamento no método anterior mais em lugar de medir diretamente o calor gerado pelo sujeito o faz indiretamente.

Baseia-se em que a geração de calor realiza-se devido a oxidação dos alimentos pelo que é possível determiná-lo medindo o oxigênio consumido pelo sujeito durante seu trabalho.

Este método baseia-se no fato de que a obtenção de energia dos alimentos deve-se a sua oxidação com o oxigênio que obtém-se durante a respiração. A quantidade de energia obtida por litro de oxigênio depende do tipo de alimento oxidado, mais na prática pode utilizar-se um valor de 20 KJ/l (4,8 Kcal/l) STPD.

O método de calorimetria indireta consiste na medição do consumo de oxigênio do trabalhador durante o trabalho e na determinação do gasto energético, multiplicado pelo valor calorífico do oxigênio dito anteriormente.

O procedimento utilizado têm algumas variantes dependendo dos equipamentos disponíveis e das condições em que se desenvolve a atividade laborar, mais em forma geral requer da medição de:

- a) a ventilação pulmonar (volume de ar espirado por unidade de tempo) l/min;
- b) a concentração do oxigênio no ar espirado.

Como o volume do ar depende das condições de pressão, temperatura e conteúdo de vapor de água, estas condições devem especificar-se.

BTPS: volume do ar a temperatura do corpo e pressão barométrica ambiental saturado de umidade (condições do ar espirado imediatamente a saída do corpo).

ATPS: volume do ar a temperatura do corpo e pressão barométrica ambiental saturado de umidade (condições do ar espirado coletado em um depósito não isolado depois de transcorrido um período).

STPD: volume do ar seco a uma temperatura de 0°C e 760 mm de Hg de pressão que são as condições normalizadas.

A quantidade de energia obtida por litro de oxigênio em STPD depende da proporção de carboidratos e grassas oxidadas, o que a sua vez depende da dieta, da intensidade do trabalho em relação com a Capacidade de Trabalho Físico (CTF) do indivíduo e da duração do trabalho.

A proporção de carboidratos e grassas oxidadas pode determinar-se conhecendo o coeficiente respiratório (CR).

$$CR = \frac{CO_2 \text{ produzido}}{O_2 \text{ utilizado}}$$

Onde:

CO₂ e O₂ se medem em litros em STPD.

A tabela 3 mostra o valor calórico do O₂ (VCO₂) segundo o coeficiente respiratório.

Combustível	Valor calórico O ₂ (VCO ₂)		
	CR	(J/l)	(Kcal/l)
Carboidratos	1,0	21,14	5,05
Grassa	0,71	19,85	4,74
Proteínas	0,80	18,67	4,46

Tabela 3. Valor calórico do oxigênio (VCO₂) segundo o coeficiente respiratório.

Na prática se utiliza um valor calórico do O₂ aproximado de 20 a 21 J/l (4,8 a 5,0 Kcal/l).

O método de calorimetria indireta consiste basicamente em medir o consumo de oxigênio do indivíduo durante o trabalho e determinar o gasto energético.

$$GE = (VO_2) (vc O_2)$$

Onde:

GE - gasto energético em J/l o Kcal/min.

VO₂ - consumo de oxigênio em l/min.

VcO₂ - valor calórico do oxigênio em J/l o Kcal/l.

Existem diferentes métodos de medição do consumo de oxigênio, um deles consiste em coletar o ar expirado pelo trabalhador em uma bolsa impermeável (bolsa de Douglas) durante um período de tempo controlado.

Como geralmente o trabalhador realiza atividades de diferentes intensidades durante sua jornada de trabalho é necessário medir o tempo dedicado em cada tipo de atividade, utilizando as técnicas dos estudos de tempo e tomar amostras do ar expirado em cada tipo de atividade.

Deve-se:

- medir o volume de ar coletado na bolsa;
- a temperatura e pressão do ar medido para calcular o volume a STPD.

Uma pequena amostra do ar da bolsa utiliza-se para determinar a concentração de O₂ e CO₂ por métodos químicos e físicos.

Uma vez obtida a concentração de tais gases no ar expirado, pode encontrar-se a diferença com o ar atmosférico de composição normal e calcular o consumo de O₂, utilizando o valor da ventilação pulmonar em condições STPD.

No caso do O₂, por exemplo, pode-se utilizar a expressão:

$$VO_2 = \frac{(20,9 - \text{conc. } O_2)}{100} (VP)$$

onde:

VO₂ - consumo de oxigênio, l/min.

20,9 - concentração normal do O₂ no ar atmosférico em porcentagem.

conc O₂ - concentração de O₂ no ar expirado em porcentagem.

VP - ventilação pulmonar, l/min.

O procedimento da bolsa de Douglas é relativamente simples de aplicar no laboratório e nos postos de trabalho com escassa movimentação do trabalhador.

Para os casos de postos com grande movimentação têm-se desenvolvidos equipamentos portáteis.

De não estar disponíveis estas técnicas um estimado aproximado do consumo de oxigênio pode obter-se a partir da relação entre o ritmo cardíaco e o VO₂ encontrado no laboratório para um trabalho similar ou na bicicleta ergonômica, sendo relativamente mais fácil medir o ritmo cardíaco nas condições reais de trabalho.

Utilizando as técnicas descritas anteriormente, diversos investigadores têm determinado o gasto energético médio de diferentes atividades. Estes valores podem utilizar-se de forma aproximada.

Estimação do Gasto Energético por decomposição de atividades

1. Critério Lemanh. A tabela 4 mostra os valores de gasto energético para diferentes tipos de posturas e tipo de trabalho segundo o estabelecido por Lemanh.

A: postura, movimento corporal		Kcal/min trabalho	Kcal/h trabalho
Sentado		0,3	20
Ajoelhado		0,5	30
Agachado		0,5	30
Parado		0,6	35
Encurvado de pie		0,8	50
Caminhando		1,7-3,5	100-200
Escalando uma rampa de 10° de inclinação E 0,75 m de altura		aproximadamente 400	
B: tipo de trabalho			
Trabalho manual	Ligeiro	0,3-0,6	15-35
	Moderado	0,6-0,9	35-50
	Pesado	0,9-1,2	50-60
Trabalho com um braço	Ligeiro	0,7-1,2	40-65
	Moderado	1,2-1,7	65-90
	Pesado	1,7-2,2	90-120
Trabalho com dois braços	Ligeiro	1,5-2,0	80-110
	Moderado	2,0-2,5	110-135
	Pesado	2,5-3,0	135-160
Trabalho com todo o corpo	Ligeiro	2,5-4,0	135-220
	Moderado	4,0-6,0	220-325
	Pesado	6,0-8,5	325-450
	Muito Pesado	8,5-11,5	450-600

Tabela 4. Valores de gasto energético segundo Lemanh.

postura, movimento + tipo de trabalho + metabolismo basal



2. Estimação do gasto energético a partir do estabelecido na Norma ISO 8996-1990.

A tabela 5 mostra os valores de metabolismo segundo a postura que adota o corpo.

Postura do corpo	Metabolismo (w/m ²)
Sentado	10
Ajoelhado	20
Agachado	20
De pê	25
Parado em atenção	30

Tabela 5. Valores de metabolismo segundo a postura do corpo, excluindo o metabolismo basal.

Os tipos de trabalho estão classificados por os valores estabelecidos na tabela 6. Quando se aplica esta tabela o valor médio dos tipos de trabalho devem ser usado primeiro. Somente depois de ter experiência pode-se utilizar o intervalo especificado (por comparação dos valores medidos).

Tipo de trabalho	Valores de metabolismo (w/m ²)	
	Valor médio	Intervalo
Trabalho manual		
Ligeiro	15	< 20
Moderado	30	20 a 35
Pesado	40	> 35
Trabalho com um braço		
Ligeiro	35	< 45
Moderado	55	45 a 65
Pesado	75	> 65
Trabalho com dois braços		
Ligeiro	65	< 75
Moderado	85	75 a 95
Pesado	105	> 95
Trabalho com o tronco		
Ligeiro	125	< 155
Moderado	190	155 a 230
Pesado	280	230 a 330
Muito pesado	390	> 330

Tabela 6. Valores de metabolismo por diferentes tipos de trabalho excluindo o metabolismo basal.

Porém os valores de metabolismo podem variar com a velocidade do movimento, este tem um valor constante para cada atividade laborar dentro de um intervalo de velocidade especificada. Isto permite calcular os valores do metabolismo a partir dos valores para a atividade considerada multiplicando os valores dados e a velocidade do trabalho.

A tabela 7 mostra os valores de metabolismo relativos a velocidade do trabalho.

Tipo de trabalho	Valores de metabolismo relativos a velocidade de trabalho (w.m²) / (m/s)
Velocidade de trabalho relativa a distância	
Caminhando entre 2 a 5 Km/h	110
Caminhando pendente arriba entre 2 a 5 Km/h	
Inclinação 5°	210
Inclinação 10°	360
Caminhando pendente para baixo a 5 Km/h	
Pendente 5 °	60
Pendente 10 °	50
Caminhando com carga sobre as costas a 4 Km/h	
10 Kg de carga	125
30 Kg de carga	185
50 Kg de carga	285
Velocidade de trabalho relativa a altura	
Subir escada	1725
Descer escada	480
Escada de degrau (do tipo utilizado pelos elétricos)	
Sem carga	1660
Com 10 Kg de carga	1870
Com 50 Kg de carga	3320
Escada vertical	
Sem carga	2030
Com 10 Kg de carga	2335
Com 50 Kg de carga	4750

Tabela 7. Valores de metabolismo relativos a velocidade de trabalho excluindo o metabolismo basal.

Por outra parte a mesma norma estabelece valores de metabolismo para as diferentes ocupações e atividades tal como se pode apreciar nas tabelas 8 e 9.

Classes	Valor para ser usado para o cálculo do regime metabólico médio		Exemplos
	(w/m ²)	w	
0 Descansando	65	115	Descansando
1 Regime metabólico baixo	100	180	<p>Sentado descansando: trabalho manual ligeiro; (escrevendo, digitando, desenhando, costurando, contadora); trabalho com a mão e o braço; (ferramentas pequenas, inspeção, encaixar ou seleção de materiais ligeiros); trabalho de braços e pernas (dirigindo um veículo em condições normais, operando um pedal).</p> <p>Parado: perfurando (peças pequenas, torneando peças pequenas); envolvendo pequenas armaduras, maquinado com ferramentas de baixa potência; caminhar ocasionalmente (velocidade de hasta 3,5 Km/h)</p>
2 Regime metabólico moderado	165	295	<p>Trabalho com mão e braço suspenso (martelando pregos); trabalho de braço e perna (operação de guindaste fora da estrada, equipamentos de tratores ou da construção); trabalho de braço e tronco (manipulação intermitente de materiais moderadamente pesado, fazer operações com a inchada, recolhida de frutas e vegetais, puxando carros ligeiros, caminhando a uma velocidade entre 3,5 y 5,5 Km/h)</p>
3 Regime metabólico alto	230	415	<p>Trabalho intenso com o braço e o tronco (carregando materiais pesados, operação que se faz com a pá, serrotar, aplanado, escavando, caminhando a uma velocidade entre 5,5 e 7 Km/h)</p> <p>Empurrando ou puxando carros pesadamente carregado carrinho de mão; colocação de blocos de concreto.</p>
4 Regime metabólico muito alto	290	520	<p>Atividade muito intensa tão rápido como seja possível; trabalhando com machado, escavado intenso, subindo escadas ou rampas, caminhando rápido com passos pequenos, correndo, caminhando a uma velocidade maior de 7 Km/h.</p>

Tabela 8. Classificação do regime metabólico para tipos de atividades

Ocupação	Valores de Metabolismo (w/m ²)
Operários	
Pedreiro (colocar tijolos)	110 a 160
Carpinteiro	110 a 175
Vidreiro	90 a 125
Pintor	100 a 130
Padeiro	110 a 140
Açougueiro	105 a 140
Relojoeiro	55 a 70
Industria Minera	
Operador de equipamento de puxar	70 a 85
Hewer de carvão (estratificação baixa)	140 a 240
Operador de forno de coker	115 a 175
Industria do Ferro e Aço (Siderurgia)	
Operador de forno de fundição de carvão	170 a 220
Operador de forno de fundição elétrico	125 a 145
Moldado manual	140 a 240
Moldado a máquina	105 a 165
Trabalhador que faz a fundição	140 a 240
Industria do Metal	
Ferreiro	90 a 200
Soldador	75 a 125
Tuner	75 a 125
Furador	80 a 140
Mecânico de precisão	70 a 110
Artes Gráficas	
Compositor manual	70 a 95
Encadernador	75 a 100
Agricultura	
Jardineiro	115 a 190
Chofer de trator	85 a 110
Tráfico	
Chofer de auto	70 a 90
Chofer de ônibus	75 a 125
Chofer de tramway	80 a 115
Chofer de tranvia elétrico	80 a 125
Chofer de guindastes	65 a 145
Profissões varias	
Assistente de laboratório	85 a 100
Maestro	85 a 100
Operaria de oficina	100 a 120
Secretaria	70 a 85

Tabela 9. Classificação dos valores de metabolismo por ocupação.

3. Estimação do gasto energético a partir de nomogramas.

Entre os nomogramas encontram-se o de Astrand y Rodahl. (Astrand, P.O., 1970) (figura 24).

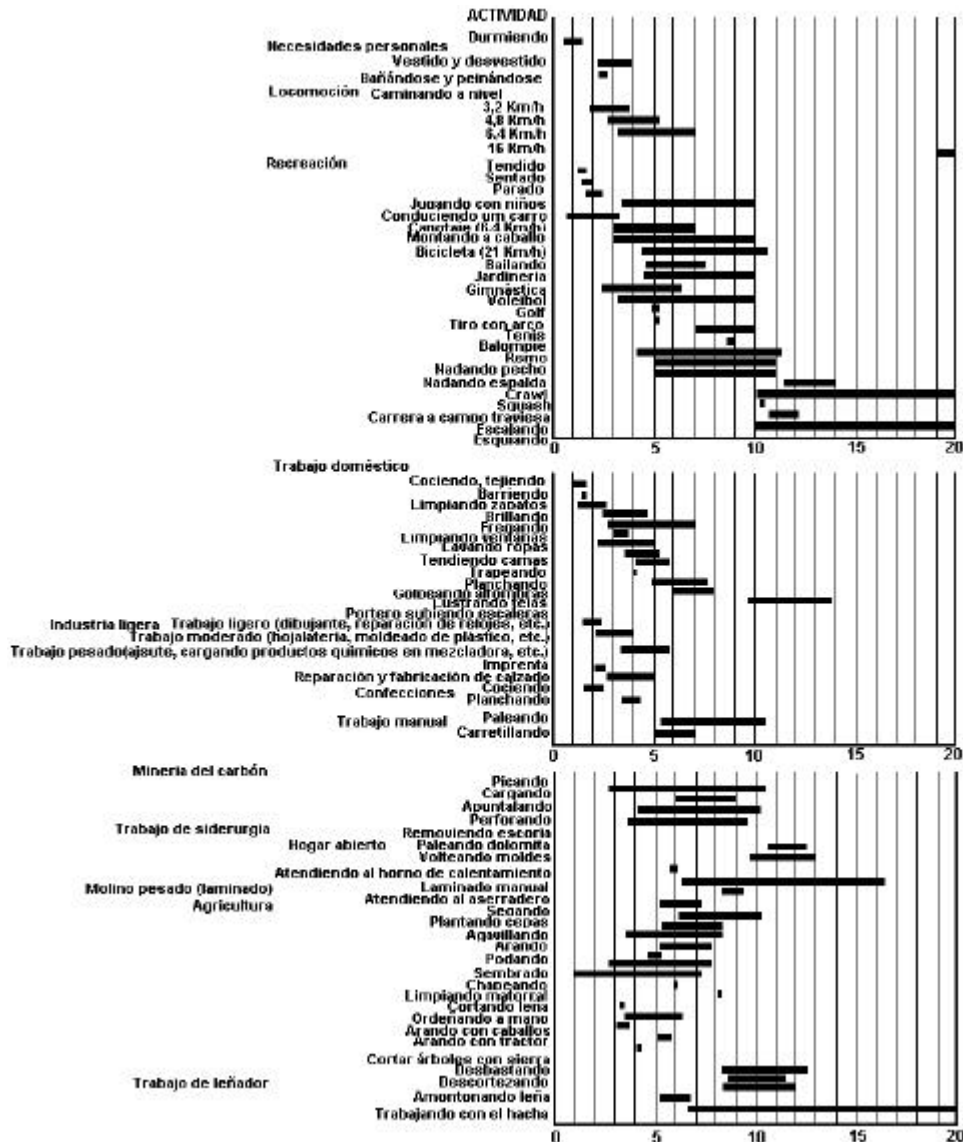


Figura 24. Gasto energético de diferentes atividades segundo Astrand e Rodahl

Limites ao gasto energético

1. Critério de Lemanh

Existem vários critérios relacionados com o limite do gasto energético e um deles é o colocado por Lemanh onde se diz que para 8 horas de trabalho o limite deve ser o 30 % da Capacidade de Trabalho Física (CTF). Na tabela 10 se mostram os valores expressados por Lemanh da porcentagem da CTF tendo em conta o tempo de trabalho.

Tempo (min)	% CTF	Tempo (min)	% CTF
1	166	30	68
3	116	40	64
5	100	50	60
10	86	60	58
20	72	480	30

Tabela 10. Limites do gasto energéticos expressados por Lemanh

2. Critério do 30% da capacidade de trabalho físico

Enquanto ao gasto energético se refere, os limites ao trabalho variam segundo diversos autores, mais parece conveniente não exceder um valor

equivalente ao 30 % da potência aeróbia máxima do trabalhador naqueles trabalhos onde se utilizam grandes grupos musculares (Viña, S. e E. Gregory, 1990).

Este critério é insuficiente quando o trabalho supõe a atividade de poucos músculos ou com um componente estático grande, em cujo caso os músculos envolvidos podem ser sobrecarregados sem que o gasto energético seja elevado.

Em trabalhos onde não se empregam grupos musculares grandes parece mais conveniente estabelecer limites as forças desenvolvidas e a sua duração, ou usar um indicador fisiológico como o ritmo cardíaco correspondente ao VO₂ durante o exercício na bicicleta ergonômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO COUTO, H. **Ergonomia aplicada ao trabalho. O manual técnico da máquina humana.** Ed. Ergo, vol. 1 e 2, Belo Horizonte, 1995.
- DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia Prática.** São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1995.
- GRANDJEAN, E. **Manual de Ergonomia: adaptando o trabalho ao homem.** Porto Alegre: Bookman, 338p.,1998.
- GUYTON .A. C. **Tratado de Fisiologia Médica.** Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 1997.
- IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção.** São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1992.
- KENDALL, F. **Músculos provas e funções.** São Paulo, Manole, 1993.
- LAVILLE, A. **Ergonomia.** São Paulo: EPU, 1977.
- McARDLE, W. D.; KATCH, F. I. e KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício. Energia, nutrição e desempenho humano.** Ed. Guanabara Koogan S.A., 4ta. Ed.,Rio de Janeiro,1998.
- MELLO AIRES, M. **Fisiologia básica.** Ed. Guanabara Koogan S.A., Rio de Janeiro,1985.
- SANDERS, M. S. and McCORMICK, E. J. **Human factors in engineering and design.** Editora McGraw-Hill, Inc. Ed. 17, 1993.
- VANDER, M. D. E, J. H. SHERMAN, D. S. LUCIANO. **Fisiologia Humana. Os mecanismos da função de órgãos e sistemas.**Ed. McGraw-Hill do Brasil, 1981.
- VIÑA, S. y E. GREGORY. **Ergonomia.** La Habana: Ed. Pueblo y Educación, 1990.

PRÁTICA DE LABORATÓRIO. CAPACIDADE DE TRABAJO FÍSICO

Objetivos

Que os estudantes sejam capazes de poder determinar a influência que para o organismo humano tem o trabalho físico, reconhecendo as variações do ritmo cardíaco e da temperatura interna durante a realização de um trabalho físico onde um fator importante é a variação da carga de trabalho e poder determinar, mediante a utilização de métodos a capacidade de trabalho físico de um sujeito.

Fundamentos teóricos

Para que se realize um determinado trabalho é preciso a realização de movimentos os quais são capazes devido fundamentalmente a contração muscular, a qual é produzida devido fundamentalmente ao subministro de nutriente e oxigênio e a eliminação de residuais, funções que são realizadas fundamentalmente pelo sistema circulatório e respiratório.

É importante lembrar que todo indivíduo precisa de um mínimo de consumo de oxigênio que corresponde ao metabolismo basal, que para o caso das mulheres é de 40,6 w/m² e para os homens de 42,9 w/m², mínimo metabolismo que precisa o ser humano para manter seu corpo vivo. Este metabolismo vai aumentando na medida que aumenta o ritmo de trabalho e, por conseguinte vai aumentando o consumo de oxigênio, até um valor em que aumentos na intensidade de trabalho não se correspondem com um aumento do consumo de oxigênio; neste momento tem-se alcançado a capacidade de trabalho físico (CTF) que também é conhecida como potência aeróbia máxima, portanto a capacidade de trabalho físico é o máximo caudal de oxigênio que um indivíduo é capaz de inspirar, combinar com o sangue em seus pulmões e transportar por meio do sangue as células que se contraem.

Na medida que começa o trabalho, mais ainda se esse trabalho é intenso; precisa-se de um tempo para que os sistemas, fundamentalmente cardiovascular e respiratório adaptem-se as novas condições e, por conseguinte aos requerimentos de consumo de oxigênio e por esse motivo os músculos fazem uso das pequenas reservas de energia que tem para a realização do trabalho; nesse momento acumula-se a chamada dívida de oxigênio. De aí na frente, o organismo começa a realizar as atividades de trabalho com o uso da energia proveniente da oxidação dos alimentos. Quando termina o trabalho físico, exatamente nesse momento, não termina o consumo de oxigênio do organismo por cima dos valores de repouso, devido a que o organismo precisa pagar essa dívida de oxigênio e, por conseguinte repor as energias consumidas ao início do trabalho.

Por outra parte os valores de ritmo cardíaco também sofrem uma variação na medida em que aumenta a intensidade de trabalho, incrementando-se os valores. A relação é linear ao menos no intervalo do 50% ao 90% do consumo máximo de oxigênio. Durante um exercício ligeiro o ritmo cardíaco pode ser exagerado ao princípio, mais depois diminui a um nível menor, que se mantém durante o período de trabalho e que corresponde com o nível de intensidade do trabalho (Lange, 1971).

O ritmo cardíaco pode ser muito útil para determinar os efeitos que o trabalho físico tem no organismo humano, devido fundamentalmente por sua simplicidade, mais como se conhece tem alguns desvantagens que estão fundamentalmente relacionadas com fatores emocionais e outros fatores que

são alheios ao trabalho, mais geralmente o ritmo cardíaco muda com o trabalho e com a intensidade desse trabalho, aumentando na medida que aumenta o tempo e a intensidade do trabalho por cima do valor normal de repouso.

A determinação da capacidade de trabalho a nível de laboratório e de trabalho é muito complexa, fundamentalmente porque precisa-se da determinação do consumo de oxigênio, pelo que se tem desenvolvidos provas submáximas que fazem uma estimação do consumo de oxigênio partindo dos valores do ritmo cardíaco e da carga de trabalho imposta ao sujeito.

Uns dos métodos para a estimação da capacidade de trabalho físico é através da regressão linear, o qual se baseia no estabelecimento da relação linear que existe entre o ritmo cardíaco e a carga de trabalho imposta ao sujeito quando se tem alcançado o regime estável ante um trabalho submáximo, extrapolando então para encontrar o máximo correspondente ao ritmo cardíaco. O procedimento foi explicado nesta apostila.

A principal desvantagem do método descrito é que a regressão proporciona excessivo peso ao ponto correspondente a carga menor, que é com frequência distorcido pela ansiedade do sujeito e os fatores ambientais durante a prova.

Como foi analisado na apostila, muitos autores recomendam que o consumo de oxigênio durante a realização de um trabalho não seja maior do 30% do volume máximo de oxigênio.

Método de realização da prática

Para a realização da prática deverão os estudantes formar equipes de 6 estudantes como máximo, os quais têm a responsabilidade de:

1. Um estudante será o sujeito da prática;
2. Um estudante será encarregado de realizar as medições de ritmo cardíaco;
3. Um estudante será o encarregado de medir os valores ambientais, fundamentalmente temperatura e velocidade do ar;
4. Um estudante será o encarregado de vigiar que o sujeito mantenha um ritmo constante durante todos os minutos de trabalho;
5. Um estudante será o encarregado de anotar todas as informações obtidas durante a prática.

Para a realização da prática se deverá o sujeito deverá manter uma velocidade constante na bicicleta ergonómica de aproximadamente entre 15 Km/h e 18 Km/h, o qual coincide com uma frequência de aproximadamente 50 giros completos da roda da bicicleta.

Propõe-se que o regime de trabalho seja da seguinte forma:

- Com uma carga de 10 N, ou seja uma potência de 50 w, 6 minutos de trabalho e 4 minutos de descanso. Igual situação deverá realizar-se para uma carga de 15 N (75 w) e para outra de 20 N (100 w). É importante ressaltar que as cargas de trabalho deverão ser utilizadas dependendo do sexo e a idade fundamentalmente. Não deverá ser sujeito aquela pessoa que possuía uma determinada limitação que possa ser agravada com a realização da prova, por exemplo, pessoas com problemas cardíacos, de hipertensão, etc. É importante destacar que os integrantes da equipe e fundamentalmente aquele que está levando o controle do ritmo cardíaco esteja alerta para que os valores não superem as 160 batimentos/min. Da mesma forma de existir algum tipo de anomalia no sujeito como falta de ar, dor no peito, dor de cabeça, pressão no peito, etc., deverá deter-se a prova.

Para a realização correta da prática os estudantes deverão:

- Realizar medições da frequência cardíaca e da temperatura interna corporal em repouso, ou seja, antes de começar o trabalho na prática;
- Recomenda-se realizar medições de ritmo cardíaco cada um minuto, sempre nos último 15 segundos de cada minuto de trabalho e de descanso;
- Recomenda-se realizar medições dos parâmetros do clima antes de começar a prática e durante a realização desta nos períodos que sejam indicados por os integrantes da equipe que realiza a prática;
- É importante que

Equipamentos e instrumentos

- Bicicleta ergonômica;
- Cronômetro;
- Balança clínica;
- Termômetro clínico;
- Psicrômetro de aspiração;
- Metrônomo.

Resultados

Ao concluir a prática cada equipe deverá realizar um relatório que contenha os resultados em forma de tabelas que foram obtidos durante a realização da prática. Deverá analisar cada um dos resultados obtidos, realizando as valorizações que considere necessárias e importantes e deverá determinar a capacidade de trabalho físico do sujeito que participou na prática.