**Fisiologia da Aviação**

Dra. Jussara Resende, M.D.

Anestesiologista - Medicina Aeroespacial

​

O homem evoluiu rapidamente sua necessidade de voar. Começamos por Santos Dumont, animais voando pelo espaço, Homem pisando na lua e hoje o sonho que vem aos poucos tornando realidade: a colonização em Marte.

Mas a estrutura do nosso organismo não foi criada para suportar tantas transformações. Por isso que a cada dia usamos a tecnologia a nosso favor, seja para construção de novas e fantásticas maquinas voadoras, ou robôs para desbravar os planetas  ou super trajes que aguentam elevadas pressões.

A Medicina vem acompanhando todas estas evoluções para que nós possamos ultrapassar os nossos limites. Com isso estudamos a fisiologia, buscando soluções para preparar o ser humano aos vários desafios.

Para que possamos entender as alterações causadas pela altitude, precisamos ter um conhecimento prévio da atmosfera e algumas leis que explicam o comportamento dos gases.

A atmosfera é o meio que sustenta os voos. É uma camada de gases que envolvem a terra protegendo os seres vivos do nosso planeta do espaço, dos raios ultravioletas, raios cósmicos, meteoritos e sustentam a nossa respiração (animal e vegetal). É graças à atmosfera que a temperatura do nosso planeta se mantem sem muitas variações extremas.

O ar atmosférico é uma mistura de gases formada por Nitrogênio (78,08%) e Oxigênio (20,95%). Outros gases que fazem parte desta mistura são: argônio (0,93%), o anidrido carbônico (0,03%), o neôn (0,02%) e o hélio (0,005%). Podemos ainda encontrar em quantidades muito reduzidas: criptônio, hidrogênio, xenônio, ozônio, metano, protoxido de nitrogênio e radônio. O vapor d’água também é encontrado, mas sua quantidade é muito variada (0,1 a 2,8% vol.).

A nossa atmosfera é dividida em 5 camadas de acordo com a altitude e características:

​

* Troposfera: Nível do mar ate 30.000 pés nos polos e 50.000 no equador. Temperatura variável, vapor d’água, turbulência, tempestades, variações meteorológicas.
* Tropopausa: Separa a troposfera da estratosfera. Região de estabilidade meteorológica.
* Estratosfera: 50.000 pés a 50 milhas. Nesta região a temperatura é constante, vapor d’água em pouca quantidade, poucos ventos e turbulência.
* Ionosfera: 50 a 600 milhas: Provê proteção para os raios UV. Recebe esta nomenclatura por causa da presença de gases ionizados, formados pela ação dos raios UV sobre suas moléculas.
* Exosfera: 600 a 1000 milhas. Gradualmente é transformado no vácuo espacial. A densidade dos gases é muito baixa e quase que raramente ocorre a colisão entre suas moléculas.
* Espaço: acima de 1000 milhas.

A pressão atmosférica é usualmente expressada em milímetros de mercúrio (mmHg). Ao nível do mar, tem o valor de 760 mmHg ou 01 atmosfera (atm). À medida que se sobe, a pressão dos gases diminui, tronando o ar rarefeito, diminuindo a pressão parcial de seus componentes.

A temperatura da atmosfera também sofre variações, por causa do aquecimento do ar pela ação do sol também ser variável. Os raios solares atingem a atmosfera com um ângulo muito pequeno nas regiões polares e quase perpendiculares na região do equador. Isso faz com que a altitude da atmosfera seja menor nas regiões polares do que no equador, por causa da expansão dos gases em temperaturas elevadas (Lei de Charles).

Vamos lembrar algumas Leis da Física para entendermos a fisiologia da altitude:

​

* Lei de Dalton (PT = P1+P2+....+PN): A pressão total de uma mistura de gases é igual à soma das pressões parciais de cada gás na mistura. Na aviação temos a hipóxia. Quando se aumenta a altitude, ocorre uma redução da pressão atmosférica total, bem como a pressão parcial de cada gás que participa dessa composição.
* Lei de Boyle-Mariotte (P1/P2=V2/V1): O volume de um gás é inversamente proporcional à pressão a qual está submetido, se a temperatura permanece constante. É o chamado Gás enclausurado. Nas alterações de pressão o gás expande e contrai dentro das cavidades corporais (ouvidos, seios paranasais, tubo digestivo), com o aumento e diminuição da altitude.
* Lei de Henry (P1/P2=A1/A2): A quantidade de gás dissolvido em uma solução varia diretamente com a pressão deste gás sobre a solução. Conhecemos como exemplo a Doença Descompressiva. O Nitrogênio no sangue deixa de ficar dissolvido, formando bolhas que causam a doença descompressiva da altitude. Á medida que aumenta a altitude, a pressão diminui, e o nitrogênio vai deixar o corpo humano equalizado com o meio externo. Se a alteração desta pressão é muito rápida, o excesso de nitrogênio pode formar bolhas.
* Lei de Graham (Lei da Difusão Gasosa): Um gás difunde-se de uma área de alta concentração para uma área de baixa concentração. Temos como exemplo a transferência de gás no corpo. Explica a transferência de gases entre atmosfera e os pulmões, os pulmões e o sangue e o sangue e as células.
* Lei de Charles (P1/T1=P2/T2): A pressão de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura. Essa lei não tem muitas implicações fisiológicas, por causa da temperatura constante do nosso corpo.

Em altitudes elevadas, a pressão barométrica é baixa com redução parcial do oxigênio, diminuindo a quantidade de oxigênio que é absorvida pelo sangue produzindo hipóxia. A hemoglobina é uma proteína presente nos eritrócitos (Hemácias). É um pigmento presente no sangue responsável pelo transporte do oxigênio, levando-o dos pulmões aos tecidos de todo o corpo. A hemoglobina é capaz de transportar oxigênio numa quantidade superior a vinte vezes seu volume. Entretanto, quando ela esta unida ao monóxido de carbono, perde sua capacidade de combinar-se com o oxigênio, perdendo a sua função mais importante e podendo levar o nosso organismo a possíveis danos.

A hemoglobina no sangue faz o carreamento do oxigênio para todos os tecidos. Quando respiramos oxigênio em uma altitude aproximada de 7 Km (23.000 pés), metade apenas da nossa hemoglobina arterial fica saturada com oxigênio, diminuindo a eficácia do transporte de oxigênio para os tecidos, ficando o indivíduo, debilitado devido a hipóxia dos tecidos.

A saturação de oxigênio do sangue arterial tem diferença nas várias altitudes. Numa altitude de 3.048 metros, mesmo o individuo respirando sem máscara, a saturação de oxigênio arterial permanece pelo menos em 90%. Acima de 3.048 metros, a saturação de oxigênio arterial cai rapidamente, ate chegar a ser abaixo de 70% a 6.096 metros e muito menor em altitudes ainda maiores.

Quando respiramos oxigênio puro em vez de ar, a maior parte do espaço nos alvéolos ocupado por nitrogênio torna-se ocupado por oxigênio. Numa altitude de 9.144 metros, um aviador ou passageiro poderia ter uma PO2 alveolar tão alta de 139 mmHg em lugar dos 18mmHg respirando somente o ar.

As alterações de pressão que o indivíduo sofre podem ser apresentados ao corpo sob várias maneiras: Ebulismo, Hipóxia e Hiperventilação.

​

* Ebulismo: Limite absoluto sem proteção de uma máscara com oxigênio = 18.900 metros; Acima disso ocorre a ebulição da água do corpo. Ocorre a vaporização dos líquidos teciduais e expansão dos gases corporais. As passagens respiratórias se tornam cheias de vapor e ineficazes. Cabines pressurizadas, aeronaves e trajes de pressão completa eliminariam esse risco.
* Hipóxia: Redução súbita de pressão. Os indivíduos sentem vertigem, perda do julgamento. Ocorre a estimulação da atividade respiratória cardíaca e vasomotora. E a perda da consciência como fator grave, principalmente aos pilotos.
* Hiperventilação: É o acumulo excessivo de oxigênio. Tanto piloto como passageiro podem sentir: sensação de flutuação, tontura e vertigem, dores no peito, formigamento ou adormecimento, taquicardia, palpitações, sonolência, fraqueza, tremores, dores musculares, náusea e fadiga.

Existem duas forças (FORÇA G) importantes para quem voa:

​

* Força G Negativa: Essa força G (Gravitacional) causa acúmulo de sangue na parte superior do corpo. Força G = -4G eleva a pressão hidrostática do cérebro para 300 a 400 mmHg. Ocorre ruptura de pequenos vasos da cabeça. Ocorre hiperemia intensa nos olhos, até perda da visão temporária. Em alguns casos podemos ver distúrbios psicóticos por causa do edema cerebral.
* Força G Positiva: Essa força G (Gravitacional) causa acumulo de sangue na parte inferior do corpo. Força G = +5G, na posição em pé eleva a pressão hidrostática nos pés com valor de 450 mmHg. Com uma aceleração acima de 4G ocorre o obscurecimento da visão. Em alguns poucos segundos podemos ter perda da consciência e se mantida essa aceleração, a pessoa morre.

Podemos dividir a atmosfera segundo seus efeitos fisiológicos sobre o corpo humano:

​

* Compensação fisiológica: Nível do mar (12.500 pés) – Pressão 760 – 523 mmHg. Geralmente o corpo humano se adapta a estas pressões baixas. Problemas leves de enclausuramento gasoso podem ocorrer nos níveis mais baixos, mas a falta de ar, tonteiras, cansaço podem ocorrer nas camadas mais altas com exposição prolongada.
* Deficiência fisiológica: (Entre 12.500 – 50.000 pés ) – 523 -87 mmHg. A maioria dos voos ocorre nesta zona. A baixa pressão atmosférica causam alguns problemas importantes: hipóxia e doença descompressiva.
* Equivalente espacial: (50.000 pés – 1.000 milhas) – 87 – 0 mmHg. Ambiente extremamente hostil para a vida humana. Exposição desprotegida acima da linha de Armstrong (63.000 pés), levando os líquidos a ferverem.

Estágios Fisiológicos (determinam estágios diferentes a reposta a hipóxia):

​

* Indiferente: Caracterizado pela exposição em nível do mar – altitude de 10.000 pés. Saturação de oxigênio varia de 90 a 98%. Frequência cardíaca e respiratória aumenta para combater a hipóxia. Entre 4.000 a 5.000 pés ocorrem alterações da visão e que podem tornar uma preocupação, ficando embaçada e em túnel. A 5.000 pés temos uma redução de 10% da visão noturna. A 10.000 pés a visão noturna diminui ate 28%. Neste estágio o individuo não esta atento aos seus sintomas e pode não perceber qualquer incapacidade.
* Compensatório: Um membro de uma tripulação ou passageiro numa altitude entre 10.000 a 15.000 pés tem todos os sintomas do estágio anterior. Ocorre um aumento perceptível das frequências cardíacas e respiratórias, aumento da PAS (pressão arterial Sistólica e DC (Débito cardíaco). Visão noturna diminui em 50%. SaO2 (saturação de oxigênio) de uma pessoa não comprometida varia de 80 a 90%. O individuo pode começar a ter dor de cabeça, fadiga, falta de ar, apreensão, náusea, tontura, desinteresse e momentos de frio e de calor. Os sintomas do SNC (Sistema Nervoso Central) se tornam mais evidentes após uma exposição de 10 a 15 minutos entre 12.000 a 15.000 pés. Julgamento deficiente, diminuição da eficácia, coordenação prejudicada e aumento da irritabilidade.
* Deficiência Fisiológica: SaO2 está entre 70 a 80% os mecanismos fisiológicos compensatórios podem não ser eficazes por causa da deficiência de oxigênio. Sintomas subjetivos: falta de ar, dor de cabeça, amnésia, diminuição nível de consciência, náusea, vomito (principalmente crianças). Sentidos diminuem. Acuidade visual mais prejudicada pode ocorrer astenia, insensibilidade, formigamento e diminuição da sensação ao toque e a dor. Tempo de reação, memoria recente, coordenação, fala e escrita podem estar enormemente prejudicados. Traços de personalidade podem ser alterados passando para um comportamento agressivo, euforia, depressão. Cianose pode ser observada.
* Crítico: estágio mais sério. Hipóxia importante. A uma altitude de 20.000 a 25.000 pés SaO2 cai entre 60 a 70%. Os sintomas tem que ser corrigidos rapidamente para não causarem danos. Temos convulsões, inconsciência, coma e morte.

​

Na aviação militar de alto desempenho, o oxigênio é utilizado a 100% e sob pressão para poder ser contornada a questão da hipóxia.

Nas aeronaves comerciais a solução criada foi a das cabines pressurizadas. Esse processo faz com que a pressão atmosférica no interior da cabine seja superior ao meio externo, criando um diferencial de pressão através da fuselagem do avião.

Podemos falar de uma “Altitude de Cabine” – altitude equivalente à pressão barométrica. Essa pressão não chega a ser igual á do nível do mar. Procura-se atingir uma altitude de cabine de no máximo 8.000 pés – equivalente a 2.400 metros. Essa altitude é excelente para manter tudo equilibrado: desempenho do avião, resistência da fuselagem, diferencial de pressão e conforto dos tripulantes e passageiros.

Com tantas alterações fisiológicas que podem ocorrer no indivíduo, a tecnologia para os voos vem sendo aprimorada. A Medicina vem acompanhando todas estas evoluções para que nós possamos ultrapassar os nossos limites. Com isso estudamos a fisiologia, buscando soluções para preparar o ser humano aos vários desafios.