

Atividade aérea, condições atmosféricas e transtornos cardiovasculares no organismo humano

Activity air, weather and cardiovascular disorders in the human body

Valdir Cesarino de SOUZA¹

Enio Pereira de SOUZA²

Sandra Sereide Ferreira da SILVA³

RESUMO: *A intensidade do tráfego aéreo aumentou assustadoramente nos últimos anos e a maioria dos viajantes são passageiros habituais. Conforme a Organização Internacional da Aviação Civil, estima-se que o tráfego de passageiros duplique entre os anos de 2006 e 2020. Neste enfoque, as viagens aéreas podem acarretar vários riscos para a saúde, dependendo das características do viajante e da viagem. Este estudo tem por objetivo apresentar a influência das alterações cardiovasculares e das condições atmosféricas no organismo humano durante a atividade aérea. Como resultado, constata-se que a altitude pode ser responsável por alterações fisiológicas, às vezes irreversíveis para o corpo humano.*

PALAVRAS-CHAVE: *Aviação. Altitude. Alterações Cardiovasculares.*

ABSTRACT: *The intensity of air traffic has increased dramatically in recent years and the "usual passengers" constitute a substantial part of today travelers. The International Civil Aviation Organization estimated that passenger traffic will double between 2006 and 2020. In this approach, air travel can imply in several health risks, depending on the characteristics of the traveler and the travel. This study aimed to present the influence of cardiovascular disorders and atmospheric conditions in the human body during air-travel activity. As a result, it is noted that the elevation may be responsible for physiological disorders, sometimes irreversible damage to the human body.*

KEYWORDS: *Aviation. Altitude. Cardiovascular Disorders.*

1 Introdução

Durante toda a História, o homem tem sentido os efeitos das condições atmosféricas, como as

¹ Bacharel em Ciências Aeronáuticas pela Escola Superior de Aviação Civil (Esac). Médico Especialista em Cardiologia pela UFPB. Mestre em Medicina (UFBA). Doutor em Recursos Naturais (UFCG). Professor Adjunto do Curso de Medicina da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. E-mail: valdircdes@ig.com.br

² Doutor em Meteorologia. Professor do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). E-mail: esouza@dca.ufcg.edu.br

³ Doutoranda em Recursos Naturais (UFCG). Pesquisadora cadastrada no CNPQ. E-mail: sandrasereide@yahoo.com.br

flutuações lentas do clima, que ocasionam migrações, os extremos dos tempos sazonais, que causam a fome, e os vários desastres que levam à morte e à destruição. Na conjuntura aeronáutica, tais mudanças podem ocorrer de forma brusca, causando adversidades ao organismo humano. Entretanto, os efeitos atmosféricos sobre a saúde humana ainda não são bem compreendidos.

Pitton e Domingos (2004) asseguram que os parâmetros climáticos temperatura do ar, umidade, precipitação, pressão atmosférica e ventos afetam a saúde humana de forma direta (sensação de conforto, mortalidade e morbidade por doenças sistêmicas) e indireta (doenças infecciosas transportadas por vetores – ar, água, solo e alimentos), pois o corpo humano está em permanente contato com o meio ambiente atmosférico pelo intermédio de trocas térmicas, hídricas e gasosas.

Nesse sentido, a revisão de literatura aborda os possíveis efeitos maléficos de fatores climáticos nos distúrbios cardiovasculares durante atividades ligadas à aviação e as implicações do clima e do tempo atmosférico sobre a saúde humana como decorrências ainda não bem entendidas, tendo em vista o fato de que as enfermidades ocasionadas durante a atividade aérea – principalmente as cardiovasculares, cerebrovasculares e respiratórias - estão entre os maiores problemas de aviação no mundo. Além de estarem associadas à morbidade elevada implicam elevados custos para o sistema de saúde, pois as alterações podem desqualificar alguns pilotos e tripulantes, além de causar alterações deletérias ao organismo, induzindo, consigo, transtornos como: internações hospitalares, tratamentos cirúrgicos e uso contínuo de medicamentos.

Atualmente, uma importante ferramenta de mitigação dos efeitos das enfermidades ocasionadas pela atividade aérea e o uso das informações da meteorologia (observações e previsões de tempo e clima) para a emissão de alertas e adoção de políticas por parte dos representantes do setor aéreo em âmbito nacional e internacional (McGREGOR et al., 2006).

A vasta literatura recente sobre o tema aborda a importância que o assunto vem recebendo mundo afora. Essa mesma literatura mostra que a relação entre variáveis atmosféricas e as enfermidades ocasionadas pela atividade aérea não é única. Pessoas de diferentes regiões do globo, distintas idades, gêneros e múltiplos estilos de vida estão sujeitas a diferentes riscos em determinadas condições atmosféricas (BARNETT et al., 2005; CAGLE; HUBBARD, 2005; GOERRE et al., 2007).

No Brasil, as previsões de tempo e clima experimentaram um forte acréscimo de qualidade de dados nas últimas décadas. Isso significa que o estabelecimento de relações consistentes entre variáveis de tempo e clima e a ocorrência das enfermidades ocasionadas pela atividade aérea pode contribuir substancialmente com a política de saúde pública para o setor aéreo. Além disso, a produção científica brasileira é bastante escassa nesse sentido e a maioria dos estudos, embora associe as enfermidades com os tipos de tempo, aborda a relação com a poluição. Poucos enfatizam as alterações hipóxicos/fisiológicos pré e pós voo.

Diante desse enfoque, a habilidade brasileira de geração de dados, com alusão espaço-temporal, cresceu muito. O que não progrediu como esperadas, foram as políticas de acesso, como

frisa Brasil (2008). Superar esse desafio não é tarefa fácil, torna-se preciso, para tanto, partilhar trabalhos científicos, dados da aviação, metodologias, *softwares* e resultados correlacionados com a saúde humana.

Neste enfoque, o presente trabalho objetivou apresentar a influência das alterações cardiovasculares e das condições atmosféricas no organismo humano durante a atividade aérea. Para tanto, ressalta-se a importância de sua realização pela forte relação multidisciplinar entre Medicina, Ciências Aeronáuticas e Meteorologia, com importante ênfase na aviação.

Quanto aos procedimentos metodológicos para a realização deste estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica com base em estudos retrospectivos e também prospectivos que abordam a relação entre mudanças climáticas, aviação e alterações cardiovasculares. Foram utilizadas as bases de dados Medline (www.pubmed.com), Scielo (www.scielo.br), Bireme (www.bireme.com), Google Acadêmico (www.google.com.br), Ibpefex (www.ibpefex.com.br), Efdeportes (www.efdeportes.com), Brazilian Journal of Biomotricity (www.brjb.com.br) e *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, Journal of Applied Physiology (www.jap.physiology.org).

Apresentam-se, na sequência, os principais pontos da literatura utilizada como aporte teórico, bem como os resultados encontrados que servem de base para a conclusão.

2 Revisão de literatura

A temática “alterações cardiovasculares e condições atmosféricas na atividade aérea” pode ser apresentada por meio de múltiplos vértices do saber. Todavia, objetivando abordar os conteúdos necessários para a compreensão sistemática das informações, optou-se pela seleção de assuntos fundamentais, cujo aporte teórico é contextualizado a seguir.

2.1 Viagens Aéreas e Riscos para a Saúde

Na primeira década do século XXI, a aviação se tornou uma das atividades de maior destaque para o desenvolvimento da sociedade; integrando saberes, encurtando caminhos e perpassando subsídios para o desenvolvimento econômico, comunicação entre povos e culturas da sociedade global e para o bem-estar da população, com benefícios e desafios reconhecidos por todos. Em face desse enfoque, a intensidade do tráfego aéreo aumentou assustadoramente nos últimos anos, e a maioria dos viajantes são passageiros habituais. Com a quantidade de voos de longa distância crescendo de forma considerável a OACI - Organização Internacional da Aviação Civil (2009) estima que o tráfego de passageiros duplique entre os anos de 2006 e 2020.

Conforme dados estatísticos da Organização Mundial do Turismo (2008), o número de chegadas de turistas internacionais no ano de 2007 atingiu os 903 milhões. Os resultados do turismo internacional ascenderam para 856 bilhões de dólares americanos (625 bilhões de euros) em 2007. Prevê-se que em 2011 as chegadas de turistas internacionais cheguem a 1 bilhão e a 1,6 bilhão em 2020. Em 2007, mais da metade das chegadas de turistas internacionais tinha como finalidade lazer, entretenimento e férias (51%) – um total de 458 milhões. As viagens em trabalho corresponderam a 15% (138 milhões) e 27% das viagens foram por outros motivos, como, por exemplo, visitas a familiares e amigos, motivos religiosos / peregrinações e tratamentos de saúde etc. (240 milhões). Um pouco menos da metade dos turistas usou transporte aéreo (47%) em 2007, enquanto os restantes utilizaram transporte de superfície (53%) – automóvel (42%), comboio (4%) ou barco (7%).

Ainda de acordo com a OAIC (2009), a cada ano, em torno de 1 bilhão de pessoas realiza viagens aéreas domésticas ou internacionais para as mais variadas distâncias e a velocidades cada vez mais rápidas, número que aumenta de forma constante, com previsão de triplicar nas próximas décadas devido a inúmeros motivos, profissionais, recreativos e humanitários. Por razões como essas, os viajantes encontram-se expostos a uma variedade de riscos para a saúde em ambientes com os quais não estão familiarizados. Grande parte desses riscos pode ser minimizada mediante a prática de precauções adequadas antes, durante e depois da viagem. Sendo plausível inferir também que haverá um aumento no número de passageiros portadores de doenças diversas, bem como no número de pessoas idosas (grupo muito propenso a viagens turísticas).

2.1.1 Riscos para a saúde associados à atmosfera

Os viajantes frequentemente sentem alterações bruscas e expressivas de condições ambientais, que podem ter implicações prejudiciais na sua saúde e bem-estar. Desse modo a aviação civil toma consciência de sua responsabilidade para a minimização dos impactos ambientais originários de suas atividades, seja pela poluição sonora, impactos no uso do solo ou na emissão de gases de efeito estufa. O impacto negativo destas mudanças pode ser reduzido quando são tomadas precauções simples.

2.1.1.1 Pressão Barométrica

A atmosfera da terra contém alguns gases circulantes, que desempenham uma pressão sobre a superfície terrestre. Essa pressão altera-se de acordo com a altitude do local. Quanto maior for a distância da superfície da terra, menor será a pressão atmosférica exercida sobre o corpo ou objeto exposto (TARABORELLI et al., 2010). Os mesmos autores também afirmam que a pressão

barométrica ao nível do mar é de 760 mm Hg (milímetros de mercúrio), e com uma pressão parcial de O₂ de 159,2 mm Hg. Contudo, quanto mais a altitude é aumentada mais a pressão diminui. A pressão barométrica não tem um valor constante pelo fato de sofrer alterações de acordo com a época do ano, clima e local específico onde é realizada a mensuração. A tabela 1 demonstra o contexto.

Tabela 1 - Valores sobre as pressões barométricas (PB), bem como as pressões parciais de oxigênio de acordo com a altitude.

ALTITUDE (m)	PB (mm Hg)	PO₂ (mm Hg)
0 ou nível do mar	760	159,2
1.000	574	141,2
2.000	596	124,9
3.000	526	110,2
4.000	462	96,9
9.000	231	48,4

Fonte: Adaptado de Wilmore e Costill (apud TARABORELLI et al., 2010).

A Tabela 1 confirma que mesmo com todas as alterações de pressão barométrica, o percentual de O₂ presente no ar segue inalterado, tanto ao nível do mar, como no ponto de altitude mais alta. Não importa a altitude, o percentual de O₂ será de 20,93% (TARABORELLI et al., 2010).

As únicas alterações são nos valores das pressões parciais. Esses acontecimentos atmosféricos acarretam alterações fisiológicas para o corpo continuar a trabalhar de forma a suprir as necessidades do organismo.

2.2 Fisiologia da Altitude e sua Relação com o Transporte Aéreo

A compreensão das diversas modificações ocasionadas pela altitude depende essencialmente do conhecimento prévio da atmosfera e de algumas leis físicas que explicam o comportamento dos gases.

A atmosfera é o elemento de sustentação dos voos. Ela é o envoltório gasoso que submerge a Terra e provê proteção contra ameaças do espaço sideral, como os raios ultravioletas, raios cósmicos e os meteoritos, além de fornecer os gases que sustentam a respiração animal e vegetal. É também graças à atmosfera que a temperatura terrestre é mantida sem variações extremas. Diante desse

enfoque pode-se conceituar a atmosfera como sendo o elemento crucial para a existência da vida em nosso planeta.

Quanto a sua composição, o ar da atmosfera é, na realidade, uma mistura de gases, formada essencialmente por nitrogênio (78,08%) e oxigênio (20,95%). Outros gases presentes são o argônio (0,93%), o anidrido carbônico (0,03%), o neônio (0,02%) e o hélio (0,005%). Em pequenas porcentagens, encontram-se ainda traços de criptônio, hidrogênio, xenônio, ozônio, metano, protóxido de nitrogênio e radônio. O vapor de água é também um constituinte constante da atmosfera terrestre, mas a sua proporção é muito variável (vapor de água = 0,1 a 2,8% vol.). Essa composição é bastante uniforme por todas as camadas da atmosfera, alterando tão somente sua pressão parcial.

A atmosfera é subdividida em cinco camadas, de acordo com a altitude e certas características específicas (Tabela 2).

Tabela 2 – Divisões da Atmosfera.

Divisões	Altitudes (*)	Características
Troposfera	Nível do mar até 30.000 pés nos pólos e 50.000 pés no equador	Apresenta 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	Sua temperatura é relativamente constante – 55°C, pouco vapor d'água, poucos ventos e turbulência.
Ionosfera	50 a 600 milhas	Provê proteção para raios uv Recebe esse nome em função da presença de gases ionizados, derivados da ação dos raios UV sobre suas moléculas.
Exosfera	600 a 1000 milhas	Gradualmente, transforma-se no vácuo espacial. A densidade dos gases é extremamente baixa, raramente ocorrendo a colisão entre as moléculas.
Espaço	Acima de 1000 milhas	Sem características definidas.

(*) Foram adotadas as unidades pés e milhas, por serem padrão em aviação.

Fonte: Adaptado da Sociedade Brasileira de Medicina Aeroespacial (2010).

A pressão atmosférica é usualmente expressa em milímetros de mercúrio (mm Hg). Ao nível do mar, ela vale 760 mm Hg ou 1 atmosfera (atm). À medida que se ascende, a pressão dos gases diminui, tornando o ar rarefeito e diminuindo a pressão parcial de seus componentes.

A temperatura da atmosfera também varia significativamente. Isso se deve ao fato de o aquecimento do ar pela ação solar também ser variável. Os raios solares atingem a atmosfera com um ângulo muito pequeno nas regiões polares e quase perpendicularmente ao nível do equador. Isso faz com que a altitude da atmosfera seja menor nos pólos que no equador, pela expansão dos gases em maiores temperaturas (Lei de Charles).

Algumas leis da física dos gases devem ser lembradas para melhor entendimento da fisiologia da altitude. A Tabela 3 apresenta essa relação.

Tabela 3 - Relação entre leis da física e fisiologia da altitude.

Lei Física	Comentário	Aplicação na Aviação
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.	Hipóxia Explica por que, quando se aumenta a altitude, reduz-se a pressão atmosférica total, e 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 à qual está submetido, se a temperatura permanece constante.	Gás enclausurado Explica como as alterações de pressão permitem que o gás se expanda e contraia 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 esta solução.	Doença descompressiva Explica por que o nitrogênio no sangue deixa de ficar dissolvido, formando bolhas que causam a doença descompressiva da altitude. À medida que aumenta a altitude, a pressão diminui, e o nitrogênio vai deixar o corpo humano equalizado com o meio externo. Se a alteração da pressão é muito rápida, o excesso de nitrogênio pode formar

		bolhas.
Lei de Graham Lei da Difusão Gasosa	Um gás vai difundir-se de uma área de alta concentração para uma área de baixa concentração.	Transferência de gás no corpo Explica a transferência de gases entre a atmosfera, os pulmões, o sangue e as células.
Lei de Charles $P_1/T_1=P_2/T_2$	A pressão de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura.	Esta lei não tem maiores implicações fisiológicas, uma vez que a temperatura corporal é mantida constante a 36,5° C.

Fonte: Adaptado da Sociedade Brasileira de Medicina Aeroespacial (2010).

De acordo com a Lei de Dalton, à medida que aumenta a altitude há uma redução na pressão atmosférica, determinando uma menor pressão parcial de oxigênio (O₂) e gerando a chamada hipóxia hipóxica.

2.2.1 Altitude e Aclimação

A pressão atmosférica diminui à medida que a altitude aumenta com conseqüente diminuição da pressão parcial de oxigênio, causando hipóxia. A hipóxia pode ser definida como uma deficiência de oxigênio nos tecidos corporais suficiente para causar impedimento da função fisiológica. O aspecto mais ameaçador da hipóxia é a sua instalação insidiosa. A tripulação pode estar envolvida nas atividades de voo e não perceber a instalação dos efeitos da hipóxia.

Fisiopatologia da hipóxia - ao se atingir 6706m (15.000 pés), o organismo encontra-se no limite da compensação-fisiológica à hipóxia, utilizando o aumento da ventilação pulmonar para manter a oxigenação tissular. A partir desse nível, o organismo não consegue mais manter sua homeostase e começa a apresentar os primeiros sinais objetivos de falência. A pressão parcial de O₂ atinge menos de 30 mmHg nos tecidos e deve estar em torno de 0,5 a 3 mm Hg nas mitocôndrias. Nessa situação, há um bloqueio da fosforilação oxidativa e do ciclo de Krebs. A produção de energia se reduz, e a glicose é metabolizada até ácido láctico. As células começam a liberar este ácido para o meio, e começa a haver uma acidose metabólica em nível tissular. Com a acidificação do meio, há um deslocamento da curva de dissociação de hemoglobina para a direita, promovendo uma maior liberação de oxigênio para o meio. Esse oxigênio, no entanto, já é insuficiente para as necessidades metabólicas dos tecidos.

A hiperventilação faz com que a queda da concentração do oxigênio seja menor nas várias etapas do processo, de forma que a concentração final de oxigênio nos tecidos seja maior com ela. No entanto o efeito vasoconstritor da hipocapnia bloqueia este aparente efeito benéfico.

Os sinais e sintomas da hipóxia decorrem basicamente da falta de oxigenação dos vários sistemas do organismo. O aparecimento e a intensidade dos sintomas dependerão dos seguintes fatores: altitude absoluta de voo; média de velocidade ascensional; duração da exposição à baixa pressão atmosférica; temperatura ambiente; atividades físicas; fatores individuais: tolerância inerente ao próprio indivíduo; aptidão física; emotividade; e aclimatação.

Categorias Fisiológicas da Hipóxia - Existem quatro categorias fisiológicas de hipóxia, que podem ser descritas baseadas nas suas diversas causas:

Hipóxia Hipóxica (de altitude): resulta de uma troca gasosa inadequada na membrana capilar-alveolar. Isso pode ser causado por uma PO_2 inadequada no ar inspirado, defeito na ventilação/perfusão ou uma obstrução das vias respiratórias. Um suprimento deficiente de oxigênio para o sangue resulta em uma deficiência de oxigênio para os tecidos. Isso representa a causa mais comum de hipóxia encontrada na altitude e pode se tornar aparente acima de 10.000 pés (zona de deficiência fisiológica). Sem mecanismo compensatório (oxigênio suplementar ou uma cabina pressurizada), a saturação de oxigênio sanguíneo no nível do mar, de 98%, cairá para 87% a 10.000 pés e para 60% a 22.000 pés.

Hipóxia Hipêmica (anêmica): é secundária à redução da capacidade carreadora de oxigênio da hemoglobina. As causas desta forma de hipóxia incluem anemia, perda sanguínea, envenenamento por monóxido de carbono, medicamentos à base de sulfa e tabagismo excessivo.

Hipóxia Estagnante: é uma deficiência de oxigênio no corpo devida à circulação pobre. Isso pode acontecer quando o débito cardíaco não satisfaz as necessidades teciduais. Outras causas de hipóxia estagnante incluem coleção venosa, espasmo arterial, oclusão de um vaso sanguíneo ou longos períodos de respiração por pressão positiva.

Hipóxia Histotóxica: é a incapacidade dos tecidos corporais em utilizar o oxigênio disponível. O envenenamento por cianeto e monóxido de carbono, e a ingestão de álcool e narcóticos podem resultar em hipóxia histotóxica.

É importante ter-se em mente que todos os tipos de hipóxia podem ocorrer como resultado da exposição a altitudes elevadas, mas a preocupação mais séria durante o transporte aéreo é a hipóxia hipóxica ou de altitude. Independentemente do tipo de hipóxia, os sintomas são os mesmos.

Na Hipóxia Fulminante após a perda acidental do oxigênio, verificada abaixo de 12.000 m (38.000 pés) há um desenvolvimento acelerado dos acontecimentos descritos anteriormente, e caso a perda de oxigênio se verificada acima de 12.000 m (38.000 pés), o indivíduo torna-se inconsciente e entra em colapso abruptamente, sem sintomas que preannuncio tais acontecimentos e, quando reavivado, muitas vezes nem se recorda do fato.

Outra característica fundamental da hipóxia é sua ação no sistema nervoso central e, mais especificamente, na sua alteração da capacidade de julgamento. As principais alterações são: Órgãos dos Sentidos: Há perturbações das percepções sensoriais. A visão está afetada em níveis de oxigênio correspondente a 1219 m (5.000 pés), porém as alterações só passam a ser implantadas a partir de níveis alveolares de oxigênio correspondentes a 50 mm Hg (12.000 pés). A sensibilidade tátil também encontra-se reduzida. A audição é o último dos sentidos a ser afetado. Processos Mentais: Há dificuldade de discernimento dos acontecimentos. O raciocínio fica afetado precocemente. O indivíduo tem dificuldade de avaliar seu próprio estado. O pensamento fica lento, e os cálculos não são confiáveis. Há uma tendência à fixação ou à repetição automática de movimentos. A memória fica falha, principalmente para fatos que acabaram de acontecer. O julgamento é deficiente, e o tempo de reação está retardado.

1. Traços da personalidade: Modifica-se a personalidade, de modo semelhante ao que ocorre no alcoolismo moderado. Pode haver euforia, depressão, belicosidade, confiança excessiva etc. Funções Psicomotoras: Há uma diminuição ou perda da coordenação dos movimentos. Os movimentos de precisão ou delicados tornam-se impossíveis de serem realizados. Em consequência, são comuns os esbarrões ao se movimentar, a ilegibilidade da escrita até então legível, incapacidade de acompanhamento de vôos acrobáticos pelos pilotos, etc. A última característica importante da hipóxia é o tempo de consciência útil, ou mais recentemente chamado de Tempo de Desempenho Efetivo.
2. Hipóxia Crônica: Finalmente é importante lembrar que o desenvolvimento de hipóxia entre 3 e 4.000m (6 a 12.000 pés) leva horas para ocorrer e apresenta os seguintes sinais e sintomas: Não há redução perceptível no desempenho das funções habituais; Fadiga e cefaléia após algumas horas; Dispneia e taquicardia ao menor esforço; e A fadiga e cefaléia já podem ocorrer após 3 horas de vôo 10.000 pés.

Sinais e Sintomas da Hipóxia

Ninguém está livre dos efeitos da hipóxia; a instalação e a gravidade dos sintomas podem variar de indivíduo para indivíduo, porque alguns toleram uma altitude de 1.000 pés a mais, mas todos os indivíduos começarão a experimentar os sintomas mais leves de hipóxia, se expostos a altitudes suficientemente elevadas. Diversos fatores influenciam a susceptibilidade individual à hipóxia, dentre eles, tabagismo, ingestão de álcool, falta de atividade física, exposição a altas temperaturas, dentre outros fatores. Esses fatores preexistentes incluem pneumonia, doença pulmonar obstrutiva crônica, asma aguda, pneumotórax, doença cardíaca, choque e perda sanguínea.

No que se refere ao sistema respiratório, a resposta inicial deste à hipóxia, é uma frequência e profundidade de respiração aumentadas. Aproximadamente 4.000 a 5.000 pés de elevação é o limiar para a ventilação aumentada. As mudanças permanecem pequenas até que uma saturação de

oxigenação arterial de 93% é experimentada a uma altitude de aproximadamente 8.000 pés. A 22.000 pés, a resposta máxima ocorre e o volume/minuto é quase duplicado. Muitos desses aumentos são secundários mais nas alterações no volume corrente do que na frequência respiratória. A hiperventilação resulta na redução da pressão parcial do dióxido de carbono (PCO_2), causando alcalose respiratória e um desvio da curva de dissociação da oxi-hemoglobina para a esquerda. O resultado permite uma ligação aumentada do oxigênio com a hemoglobina para o transporte aos tecidos.

A hipóxia também atua como um vasoconstritor importante do leito vascular pulmonar, resultando em uma elevação arterial pulmonar e em um aumento na carga de trabalho no lado direito do coração. A acidose é também um vasoconstritor vascular pulmonar potente. Fornecendo-se oxigênio suplementar o mais breve possível, pode-se aliviar a hipóxia e simultaneamente diminuir a ventilação alveolar, aumentando a acidose e sustentando a vasoconstrição pulmonar.

2.2.2 Alterações Cardiorrespiratórias em Altitude

A altitude propicia diversas alterações fisiológicas. As patologias da altitude podem ocorrer tanto em atletas como em indivíduos sedentários como consequência de uma adaptação ineficiente (CAMPOS; COSTA, 1999; SCHOENE, 2008).

Assim que os indivíduos são expostos a uma altitude considerável o sistema cardiorrespiratório prepara-se para não sofrer com a carência de O_2 e conseqüentemente evitar alterações, às vezes irremediáveis. Uma das primeiras alterações fisiológicas que ocorrem é um aumento na frequência cardíaca e respiratória para tentar suprir a pouca saturação de O_2 presente no ambiente. Com essa atitude, o corpo aumenta a excreção de CO_2 levando a uma mudança da PCO_2 , fazendo com que ocorra um aumento no pH sanguíneo. Esse aumento na frequência cardíaca deve-se ao fato de o corpo possuir quimiorreceptores em torno do coração, permitindo uma percepção do conteúdo arterial de O_2 . A partir do momento que o conteúdo arterial de O_2 diminui, o corpo, em resposta, aumenta o número de respirações para minimizar os efeitos da hipóxia (BRASH, 2000; MAGALHÃES et al., 2002; LEVINE et al., 2008; CALBET et al., 2010).

A dificuldade do processo respiratório em grandes altitudes deve-se ao fato de a troca gasosa estar com gradiente de pressão diferenciado quando comparado ao nível do mar. O ar fica mais rarefeito em altitude, porém a saturação de O_2 em altitude é menor que ao nível do mar. O ar penetra com mais facilidade nos pulmões, contudo, como a saturação de O_2 é reduzida, a frequência respiratória é aumentada para que seja inspirado o mesmo número de moléculas de O_2 que ao nível do mar. A quantidade de O_2 entregue para os músculos realizarem trabalho sem entrar em fadiga depende muito dessa troca gasosa. A PO_2 no tecido tem uma estabilidade no seu valor de aproximadamente 40 mm Hg em repouso.

Já a PO_2 arterial varia de valor, sendo que 104 mm Hg é a pressão normalmente encontrada ao nível do mar. A diferença 64 mm Hg, ou seja, gradiente de pressão define o sentido dessa troca. O sentido é sempre de um local com maior pressão parcial para um de menor pressão parcial. Porém, quando se ascende a uma altitude mais elevada, o valor da PO_2 arterial tende a sofrer um decréscimo, enquanto o valor da PO_2 tecidual permanece praticamente inalterado. O gradiente de pressão antes visto como 64 mm Hg ao nível do mar sofre uma redução e pode alcançar o valor de apenas 20 mm Hg em uma altitude maior. Como a transferência de O_2 do sangue para os tecidos depende desse gradiente, pode ocorrer uma deficiência no transporte para o músculo, o que poderá acarretar uma fadiga precoce. (BERNE et al., 2004; LEVINE; STRAYGUNDERSEN, 2005; SHEEL et al., 2010; WILMORE; COSTILL, 2010).

Magalhães e colaboradores (2002) apontam que os valores da ventilação em altitude podem ser de 2 a 5 vezes maiores do que quando comparado com a mesma atividade ao nível do mar. A frequência respiratória apresenta um aumento quando se adentra um ambiente hipobárico, como no caso de altitudes maiores do que ao nível do mar. Com isso, mudanças no consumo de O_2 ocorrem.

Campos e Costa (1999) afirmam que o consumo máximo de O_2 (VO_2 máx) tende a diminuir em repouso, quando exposto a uma grande altitude. Corroborando com essa idéia, Levine e colaboradores (apud CAMPOS; COSTA, 1999) fizeram um estudo com vinte idosos numa altitude de 2.500 metros e relataram uma diminuição de 12% do VO_2 máx na exposição aguda à altitude.

Segundo Wilmore e Costill (2002), o consumo máximo de O_2 não sofre reduções significativas até a altitude de 1.600 metros. A partir dessa altitude, consumo máximo de O_2 tem uma decadência. Os mesmos autores relatam também que, a partir de 1.600 metros, o $VO_{2máx}$ diminui aproximadamente 11% a cada 1.000 metros, ou seja, mais que 1% de queda do consumo máximo de oxigênio a cada 100 metros de ascensão. Contudo, Favret e colaboradores (2003) não encontraram melhoras do $VO_{2máx}$ mesmo após a aclimação. Outra alteração importante é o fato de o fluxo sanguíneo ser mais seletivo. Essa seleção é devido à não existência de O_2 em abundância para os sistemas corporais e dessa forma os locais que necessitam com urgência de O_2 têm prioridade (MAGALHÃES et al., 2002).

Em alturas elevadas, o ar fica mais seco e a temperatura sofre uma redução em seu valor. A atividade em altitude faz com que ocorra perda de água corporal, aumentando assim a viscosidade sanguínea. Com o sangue mais denso, o volume de ejeção decai; contudo, como precisa ocorrer um aumento no débito cardíaco, a frequência cardíaca aumenta para sanar temporariamente essa queda de volume. O aumento da densidade sanguínea faz com que o coração trabalhe com mais força, pois a resistência exercida pelo sangue na parede dos vasos está aumentada (CAMPOS; COSTA, 1999; BRASH, 2000; MARTIN, 2008; WILMORE; 2002).

A transudação capilar (edema cerebral) de altitude é uma doença ligada à altura, mais grave ainda que o edema pulmonar de altitude. Altitudes acima de 4.500 metros são onde casos de edema

cerebral ligado à altitude são mais comuns. O acúmulo de líquido no interior do cérebro caracteriza a doença. A dificuldade em andar, ou mesmo das mãos em realizar tarefas simples é um alerta para que seja detectado o edema cerebral. As dores de cabeça ou cefaleia são frequentes; a pessoa se sente cansada e pode apresentar quadros de alucinações. A gravidade dessa patologia pode evoluir em muito pouco tempo, saindo de um estado estável para grave em poucas horas. A medida mais rápida a ser tomada é transferir a pessoa afetada pelo edema cerebral de altitude para uma localidade de altitude menos elevada. Martin e colaboradores (2008) afirmam que mesmo as pessoas que nasceram e vivem em locais com altitudes elevadas correm o risco de desenvolver as patologias ligadas à altitude.

2.3 Doenças Cardiovasculares

Com o advento da modernidade, o homem experimentou uma inimaginável revolução no seu modo de vida, no seu cotidiano, nas suas ideias. Em uma sociedade altamente globalizada e competitiva, que extrai cada vez mais dos seus trabalhadores; o estresse, os maus hábitos alimentares, os meios de transporte e a falta de cuidados básicos com a saúde passaram a fazer parte do modo de vida da população em geral. Dessa forma, juntamente com os adventos tecnológicos, a sociedade passou a conviver cada vez mais com os distúrbios cardiovasculares e, dentre eles, uma das patologias mais letais desse grupo: a insuficiência coronariana (ICO).

De acordo com a Sociedade Brasileira de Cardiologia (SBC - 2011), insuficiência coronariana é uma situação clínica patológica na qual o sistema arterial coronariano não tem capacidade fisiológica de suprir as necessidades miocárdicas de demanda de oxigênio e metabólitos. Há um desequilíbrio entre a oferta e o consumo de nutrientes e oxigênio. Sabendo-se que o tecido miocárdico é o de maior demanda metabólica do organismo, não é surpreendente que uma série de distúrbios potencialmente letais decorram da incapacidade do sistema arterial coronariano em suprir a musculatura cardíaca. Assim, esse grande grupo de distúrbios, juntamente com outras patologias do sistema cardiovascular é responsável por um número crescente de mortes no tocante à aviação.

Dados da SBC mostram que 50% das mortes das pessoas com mais de 50 anos devem-se a patologias do aparelho cardiovascular, no Brasil e no mundo (principalmente na sociedade ocidental), e, em 2020, esse número tende a aumentar para 70%.

A insuficiência cardíaca coronariana, ou doença das coronárias, é, basicamente, uma síndrome caracterizada por um desequilíbrio entre o aporte e a demanda metabólica de oxigênio (O₂) ao nível da fibra miocárdica, seja por diminuição da oferta ou por aumento de consumo. Pode estar relacionada a vários fatores, porém, geralmente ocorre por obstrução coronariana, sendo esta quase sempre causada por doença aterosclerótica. A oferta de oxigênio para o miocárdio depende da capacidade de transporte do oxigênio no sangue e do fluxo coronário, sendo que o primeiro depende diretamente da hemoglobina e da saturação de oxigênio no sangue. Na ausência de anemia ou doença pulmonar a

capacidade de transporte de oxigênio é em geral constante. Por sua vez, o fluxo coronariano é bem mais dinâmico e a regulação do fluxo é responsável pelo equilíbrio entre oferta de oxigênio e demanda metabólica (GUYTON, 2008).

No coração normal, mecanismos de autoregulação ajustam o tônus vascular, mantendo um equilíbrio entre fluxo coronariano e demanda de oxigênio miocárdico. Na ausência de doença obstrutiva coronariana, os mecanismos regulatórios mantêm um fluxo constante até o limite mínimo de 60 mm Hg de pressão diastólica na raiz da aorta. Na presença de doença coronariana, a queda da pressão de perfusão distal e a lesão associada à disfunção do endotélio na região levam a um desequilíbrio entre o suprimento disponível de sangue e oxigênio e a demanda metabólica miocárdica. Qualquer desequilíbrio em um desses processos pode resultar em insuficiência das coronárias. Seja qual for a causa, sem o sangue necessário o coração fica carente de oxigênio e de nutrientes vitais para que ele opere de forma adequada, podendo trazer grandes consequências (SBC, 2011).

Podemos definir como grupos mais susceptíveis ao desenvolvimento da doença das coronárias as pessoas incluídas nos seguintes grupos: homem com mais de 45 anos / mulheres com mais de 55 anos; história familiar precoce de aterosclerose (parentes de primeiro grau com menos de 55 anos para homens e menos de 65 anos para mulheres); hipertensão arterial; tabagismo e história de *diabetes mellitus*.

2.3.1 Fisiologia Cardiovascular

Segundo Guyton (2008), débito cardíaco em repouso ao nível do mar varia de 0,8 a 1,0 ml/g/mim. Já em casos de esforço e/ou hipóxia esse débito tende a aumentar significativamente, chegando a 6,0 ml/g/min. Nessa mesma correlação, em repouso observa-se que a extração de O₂ por parte do miocárdio atinge cerca de 75% e, em casos de esforço induzido ou hipóxia, as células miocárdicas extraem aproximadamente de 90% do oxigênio que lhes é ofertado.

Devido ao quadro de hipóxia miocárdica, diversas alterações metabólicas serão detectadas: a acidose intracelular, com importante redução do pH, acúmulo de ácido láctico, redução do potássio e magnésio intracelular, redução, da síntese energética (ATP) disfunção sistó-diastólica do ventrículo esquerdo. Já o consumo de O₂ em repouso situa-se em torno de 8 a 10 ml/100g/mim, enquanto que nos casos de esforço e/ou hipóxia esse consumo poderá aumentar para até 50 ml/100g/min, agravando ainda mais os casos de isquemia miocárdica. Visto assim, fica evidente que o disbarismo contribui significativamente para a piora do quadro isquêmico miocárdico.

2.4 Impacto das Viagens Aéreas nas Principais Patologias Cardiovasculares

De acordo com as Diretrizes de Doença Cardiovascular e Viagem Aérea da SBC, todo passageiro portador de um quadro clínico que possa, potencialmente, descompensar a bordo deve tomar alguns cuidados básicos: ter em mãos relatório médico sucinto de seu quadro clínico bem como informações de contato do médico assistente e do seguro saúde; manter sempre consigo, na bagagem de mão, a medicação de uso diário, evitando atrasos posológicos no caso de extravio de bagagem; informar-se de condições de saúde pública do local de destino, adotando medidas preventivas quando indicado, como vacinações específicas; consultar as páginas da Internet das empresas aéreas escolhidas, para verificação dos recursos disponíveis a bordo e outras informações de saúde; fazer contato com os serviços médicos das empresas aéreas em caso de dúvidas. Os passageiros cardiopatas estarão, potencialmente, afetados por três fatores principais relacionados à fisiologia da altitude e às particularidades dos vôos comerciais: a hipóxia, a aerodilatação e a imobilidade prolongada em posição sentada.

A hipóxia pode ser fator de descompensação em casos limítrofes, agravando quadros clínicos preexistentes. A aerodilatação pode, pela expansão dos gases abdominais, determinar, nos casos mais importantes, uma restrição de mobilidade diafragmática, contribuindo adicionalmente para a hipóxia.

A imobilidade prolongada é certamente um fator de risco para o desenvolvimento de trombose venosa profunda. A grande maioria das grandes empresas aéreas é capaz de prover oxigênio medicinal para o passageiro, embora, como regra, esses serviços sejam taxados. Por questões de segurança, com raras exceções, não é possível a utilização de equipamentos próprios dos pacientes, uma vez que os cilindros de oxigênio necessitam ser homologados para uso aeronáutico.

Embora parte das situações, pode ser feita uma avaliação individual que leve em conta o tempo de voo as condições clínicas e a disponibilidade de recursos. Poucas são as contra-indicações cardiovasculares para o voo: infarto miocárdico não complicado em prazo menor do que duas semanas; infarto miocárdico complicado em prazo menor que seis semanas; angina instável; insuficiência cardíaca congestiva; hipertensão grave descontrolada; cirurgia cardíaca em prazo menor que 10 a 14 dias; acidente vascular encefálico em prazo menor que duas semanas; taquiarritmias supraventriculares ou ventriculares sem controle; síndrome de Eisenmenger; doença orovalvar sintomática.

Diante desse contexto, permite-se assegurar que no transporte aéreo, as pessoas em suas diversas finalidades pelas quais se deslocam para os mais variados lugares têm em comum o mesmo objetivo: chegar em segurança a um determinado destino e em tempo hábil para atender aos seus compromissos. Dessa forma atividade aérea constitui uma forma de organização de trabalho que exige um controle sistemático da saúde de seus integrantes, pelos diversos fatores de risco presentes no ambiente de trabalho.

3 Conclusão

Ao analisarem-se os estudos referentes às alterações cardiovasculares relacionadas à aviação, sobretudo aquelas relacionadas à queda da pressão atmosférica e a temperatura, conclui-se que é extenso o quadro de patologias relacionadas à aviação e é de fundamental importância que as pessoas envolvidas identifiquem os sintomas e procedam de maneira correta ao se observar alterações que requeiram atendimento médico. O percentual de indivíduos expostos às influências da altitude na aviação é elevado, seja a tripulação ou os passageiros.

O número daqueles que usufruem do transporte aéreo está aumentando de forma significativa. Observa-se concomitantemente que, devido aos avanços tecnológicos, mais seguros e confiáveis, incrementou-se o número de voos com aeronaves que sobrevoam espaços atmosféricos mais distintos, atingindo altitudes inimagináveis. Para isso, tornam-se mais imperativos os cuidados, as orientações e as medidas de precaução para que sejam evitados os danos fisiológicos relacionados à aviação.

Todos aqueles ligados diretamente à atividade aérea são submetidos inicialmente a um rigoroso exame médico, o Certificado de Capacidade Física (CCF), para averiguar se suas condições anatômicas e fisiológicas estão compatíveis com a prática da profissão. Contudo, observa-se que, graças à cobiça e à ocorrência descomedida das companhias aéreas, muitos cuidados concernentes aos passageiros e até mesmo aos tripulantes são relegados à própria sorte de cada um. Manuais diversos são expostos à população, muitas vezes em linguagem incompreensível para a maioria, proporcionando um incitamento dos problemas médicos relacionados com a aviação.

Assim como o aviador deve conhecer o funcionamento da aeronave, este deve estar ciente das limitações do seu corpo e das variações da fisiologia humana em resposta aos estímulos externos. Um monitoramento preventivo e sistemático da saúde resultará em uma contribuição para a segurança daqueles que utilizam esse meio de transporte e/ou lazer, pois permitirá associar os limites fisiológicos do setor aéreo com a regulamentação aérea.

O desenvolvimento da medicina aeronáutica voltada para os trabalhadores e passageiros e a criação de programas de mudanças de hábitos, de comportamento de vida e de controle alimentar baseados em evidências científicas a adoção de medidas e comportamentos que minimizem as influências da altitude no nosso organismo.

Conclui-se assim que é de extrema relevância o conhecimento científico sobre as doenças relacionadas à atividade aérea, sobretudo as cardiovasculares, pois são as mais danosas e às vezes de caráter irreversível ao organismo humano. Faz-se necessário que se conheçam os principais sintomas relacionados às patologias, as condutas terapêuticas básicas incidências dessas patologias para que se possa desfrutar de uma boa viagem e que não haja exposição daqueles supostamente doentes à atividade aérea.

Referências

- BARNETT, A. G.; DOBSON, A. J.; MCEL DUFF, P. Cold periods and coronary events: an analysis of populations worldwide. **J. Epidemiol. and Community Heal.** v. 59, p. 551-557, 2005.
- BERNE, R. M.; LEVY, M. N.; KOEPPEN, B. M.; STANTON, B. A. **Fisiologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.
- BRASH, N. Does altitude training improve sea level performance in endurance. **Journal Exercise and Sports Science**, v. 28, 2000.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Mudanças climáticas e ambientais e seus efeitos na saúde: cenários e incertezas para o Brasil/Ministério da Saúde; Organização Pan-Americana da Saúde**. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde, 2008.
- CAGLE, A.; HUBBARD, R. Cold-related cardiac mortality in King County, Washington, USA 1980-2001, **Ann. Human Biol.**, v. 32, p. 525-537, 2005.
- CALBET, J. A. L. et al. On the mechanisms that limit oxygen uptake during exercise in acute and chronic hypoxia: role of muscle mass. **J Physiol.** v. 587, n.2, p.477-490, 2010.
- CALBET, J. A. L.; ROBACH, P.; LUNDBY, C. The exercising heart at altitude. **Cellular and Molecular Life Sciences**. v. 66, n. 22, p. 3601-3613, 2010.
- CAMPOS, A. L.; COSTA, R. V. C. Atividade física em moderadas e grandes altitudes: morbidade cardiovascular e respiratória. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**. Rio de Janeiro: v. 73, n. 1, p. 113-120, 1999.
- DOMINGOS, A. E. **Alterações climáticas e doenças cardiovasculares no município de Santa Gertrudes – SP**. Rio Claro, 2001. Monografia – IGCE-UNESP.
- FAVET, F. et al. Effects of exercise training on acclimatization to hypoxia: systemic O₂ transport during maximal exercise. **Journal of Applied Physiology**. EUA: v. 95, n. 4, p. 1531-1541, 2003.
- GOERRE, S; EGLI, C.; GERBER, S, et al. Impact of weather and climate on the incidence of acute coronary syndromes, Int.. **J. Cardiol.**, v. 118, p. 36-40, 2007.
- GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 11. ed. 2008.
- LEVINE, B. D.; STRAY-GUNDERSEN, J. Point: positive effects of intermittent hypoxia (live high – train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. **Journal of applied physiology**, v. 99, n. 5, p. 2053-2055, 2005.
- LEVINE, B. et al. The effect of intermittent hypobaric hypoxic exposure and sea level training on submaximal economy in well-trained swimmers and runners. **J Appl Physiol.** v. 104, p. 328-334, 2008.
- MAGALHÃES, J. et al. O desafio da altitude: uma perspectiva fisiológica. **Revista portuguesa de Ciências do desporto**, Porto: v. 2, n. 4, p. 81-91, 2002.
- MARTIN, C. A. Avaliação das alterações fisiológicas e psicológicas em paraquedistas. **Revista Brasileira de Educação Física, Esporte, Lazer e Dança**. Maringá: v. 3, n. 4, p. 162-173, 2008.

MCGREGOR, G. R.; COX, M.; CUI, Y. Winter-season climate prediction for the U. K. health sector. **J. Appl. Meteor. and Climatol.** v. 45, p. 1782-1792, 2006

PITTON, S. E. C. **Tempo e doenças**: efeitos dos parâmetros climáticos nas crises hipertensivas nos moradores de Santa Gertrudes – SP, UNESP, 2004 v. 2, n. 1.

PITTON, S. E. C.; DOMINGOS, A. E.. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, 2(1):75-86, junho - 2004 (ISSN 1678—698X). Disponível em: <www.rc.unesp.br/igce/grad/geografia/revista.htm>. Acesso em: 10 set. 2009.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARDIOLOGIA. Disponível em: <<http://cientifico.cardiol.br/>>. Acesso em: 22 set. 2011.

SCHOENE, R. B. Illnesses at high altitude. **CHEST.** v. 134, p. 402-416, 2008.

SHEEL, A. W.; MACNUTT, M. J.; QUERIDO, J. S. **The pulmonary system during exercise in hypoxia and the cold.** v. [95, Issue 3](#), pages 422–430, March 2010.

TARABORELLI, D.; NEYLON, C. (2010). Alt-metrics: A manifesto.

WILMORE, J. H.; COSTILL, D. L. **Fisiologia do Esporte e do Exercício.** 2. ed. Manole, 2002.

Sites consultados:

<http://publicacoes.cardiol.br/consenso/>. Acesso em: 15 nov. 2011.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Organiza%C3%A7%C3%A3o_da_Avia%C3%A7%C3%A3o_Civil_Internacional. Acesso em: 20 nov. 2011.

[http://www.fbo.com.br/images/stories/editores/Braile Biomédica](http://www.fbo.com.br/images/stories/editores/Braile_Biomédica) Disponível em: <[Prof_domingos/3hipoxia.pdf](#)>. Acesso em: 22 out. 2011.

www.brasil.gov.br/.../organizacao-mundial-do-turismo. Acesso em: 15 nov. 2011.

<http://www.medicinaintensiva.com.br/apm-tam.htm>. Medicina aeroespacial. Acesso em: 22 nov. 2011.

www.scielo.br/pdf/abc/v79s4/a01v79s4.pdf. Diretrizes de doenças Cardiovasculares e Viagem Aérea da SBC.