MEDICINA AEROESPACIAL

ORGANIZAÇÃO
PROFA. DRª. VÂNIA E.R. MELHADO

SPDM EDUCAÇÃO
FACULDADE PAULISTA DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
ASSOCIAÇÃO PAULISTA PARA O DESENVOLVIMENTO DA MEDICINA

SPDM

19 33 20 23

ASSOCIAÇÃO PAULISTA PARA O DESENVOLVIMENTO DA MEDICINA

90 ANOS
DE EXCELÊNCIA

MEDICINA AEROESPACIAL

ORGANIZAÇÃO

PROFA. DRª VÂNIA E.R. MELHADO

SÃO PAULO/SP

2022

FACULDADE PAULISTA DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

ASSOCIAÇÃO PAULISTA PARA O DESENVOLVIMENTO DA MEDICINA

Ficha catalográfica

M489

Medicina Aeroespacial / Vânia E.R Melhado organizadora. - São Paulo, 2022. 1__ f: il.

Vários autores.

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC apresentado à Faculdade Paulista de Ciências da Saúde, Curso Pós-Graduação em Medicina Aeroespacial, São Paulo, 2021

1. Medicina Aeroespacial. 2. Ciência Aeroespacial. 3. Artigos científicos. I. Título. II. Melhado, Vânia. III. Faculdade Paulista de Ciências da Saúde.

CDD 23.ed. - 612

Preparada pela Bibliotecária Denise Vieira Camacho CRB8º8671

Créditos Técnicos

Organização do *E-book*
Profa. Drª. Vânia E. R. Melhado

Formatação e Normalização ABNT
Denise Vieira Camacho

Marketing
Bruna Veroneze Léo

Atribuição-Não Comercial-Sem Derivações

Esta é a mais restritiva das nossas seis licenças principais, só permitindo que outros façam download dos seus trabalhos e os compartilhem desde que atribuam crédito a você, mas sem que possam alterá-los de nenhuma forma ou utilizá-los para fins comerciais.

Permitido download, compartilhar com atribuição de créditos, sem fazer alteração e sem utilizar para fins comerciais.

A todos os que colaboram com o ensino,

a pesquisa e o desenvolvimento das Ciências e, em especial,

àqueles que dedicam suas vidas à Medicina.

SUMÁRIO

PREFÁCIO **8**

APRESENTAÇÃO **9**

Capítulo Introdutório **10**

ASPECTOS REGULATÓRIOS DA AVIAÇÃO CIVIL NO BRASIL

Autor: **Dr. Albert Costa Rebello**

REGULAÇÃO INTERNACIONAL **17**

Autor: **Dr. Rui Pombal**

Capítulo 1 ..... **30**

FISIOLOGIA CARDIOVASCULAR E RESPIRATÓRIA

Autores: **Dr. Fabrício Cezar e Dra.Cristiane Costa**

Orientadora: **Profa. Drª. Kátia De Angelis**

Capítulo 2 ..... **70**

A EXPLORAÇÃO HUMANA DO ESPAÇO E SEUS DESAFIOS PARA A MEDICINA

Autores: **Dr. Roseni de Faria Lima, Drª. Lorena de Cecco Beolchi**

Orientadora: **Profa. Drª.Thais Russomano**

Capítulo 3 ..... **82**

ADAPTAÇÕES DO ORGANISMO A ALTITUDE

Autores: **Drª. Daniela Rancan e Dr. Lucas Gonzaga**

Orientadora: **Profa. Drª.Vânia E R Melhado**

Capítulo 4 ..... **98**

EMERGÊNCIA MÉDICA A BORDO E CONTRA MEDIDAS EFETIVAS

Autores: **Dr. André Di Guimarães e Drª. Mayan Monzillo**

Orientadores: **Profa. Nétye N. Brusamarello e Profa. Drª.Vânia E. R. Melhado**

Capítulo 5 ..... **110**

TRANSPORTE AEROMÉDICO

Autores: **Drª. Flavia Cristina Navarro e Dr. Mario Eduardo Francisco Arguello**

Orientador: **Prof. Dr. Ricardo Galesso**

Capítulo 6 ..... **128**

MEDICINA DO VIAJANTE / EMPORIATRIA

Autores: **Drª. Helena Sottomaior Arzua Pereira dos Santos e Drª. Julia Gayoso Queiroz**

Orientador: **Prof. Dr. Ricardo Cantarim**

Capítulo 7 ..... **152**

FATOR HUMANO E CRM (*COMPANY RESOURCE MANENGEMENT*)

Autores: **Dr. Roberto José Ribeiro e Dr. Wellington Tadeus Sperandio**

Orientador: **Prof. Aviador David Branco**

Capítulo 8 ..... **200**

FADIGA E SUAS CONTRAMEDIDAS

Autor: **Dr. Armindo Hueb**

Orientador: **Prof. Aviador Paulo Licati**

Capítulo 9 ..... **232**

O IMPACTO DOS TRANSTORNOS MENTAIS NA AVIAÇÃO GERAL

Autores: **Drª. Bruna Soares e Dr Eliezio Aguiar**

Orientador: **Prof. Dr. Sergio Duailibi**

Capítulo 10 ..... **250**

ABORDAGEM MÉDICA AOS PROGRAMAS DE RISCO ASSOCIADO AO USO DE SUBSTÂNCIAS PSICOATIVAS NA AVIAÇÃO CIVIL

Autores: **Dr. Diego Del Bianco Dias Netto e Drª. Érica Leitão Ermel**

Orientadores: **Prof. Dr. Eliezio Aguiar e Prof. Dr. Sergio Duailibi**

PREFÁCIO

Este livro é fruto da paixão de abnegados médicos, alunos de Pós-Graduação Lato Sensu em Medicina Aeroespacial da Faculdade Paulista de Ciências da Saúde, sob a orientação de professores não menos entusiasmados, com uma fronteira da medicina que constitui e instiga a curiosidade dos seres humanos, notadamente os praticantes da arte hipocrática.

Quando o Conselho Federal de Medicina trabalhou exaustivamente, juntamente com especialistas nessa área, para tornar oficialmente este campo de conhecimento em uma área de atuação em medicina, o fez motivado pela certeza de que a adaptação do corpo humano aos ambientes hostis das atmosferas merece uma atenção especial.

Observando o conteúdo do livro, é possível notar o quanto essa identificação está contemplada. A adaptação do corpo humano às intempéries do ambiente hipobárico, microgravitacional ou isobárico hostil, tanto quanto ao hiperbárico na outra ponta, instiga porque tanto em nosso planeta quanto nos desafios espaciais, o ser humano precisa da mais adequada compreensão de como nos adaptarmos, o que esperar e como proceder.

Felicitamos os responsáveis pela elaboração dos capítulos, sabendo que será de grande utilidade para os estudiosos da matéria não somente no Brasil, mas também para aqueles que se debruçam sobre ela em nosso planeta Terra.

Com toda certeza, essa motivação continuará após a conclusão da formação acadêmica, com a submissão à prova de título, para que, chancelados, possam fazer a divulgação orgulhosa, não vaidosa, de seus títulos.

Emmanuel Fortes Silveira Cavalcanti
3º Vice-presidente do Conselho Federal de Medicina.
Coordenador da Câmara Técnica de Medicina Aeroespacial.

APRESENTAÇÃO

Este livro histórico na língua portuguesa da Medicina Aeroespacial foi escrito por médicos(as), alunos(as) e professores(as) da Pós-graduação Lato Sensu em Medicina Aeroespacial da Faculdade Paulista de Ciências da Saúde. Nesta primeira edição, ele abrange todos os aspectos da atuação do médico aeroespacial civil no Brasil.

O leitor encontra detalhes sobre as alterações fisiológicas e estressantes dos diversos ambientes, como o hipobárico, a microgravidade e os locais com risco de doenças infectocontagiosas endêmicas, bem como as medidas atenuantes e protetivas.

A prática médica da aplicação dos regulamentos obrigatórios do mundo da aviação é abordada de forma clara e compreensível.

Profa. Drª. Vânia E. R. Melhado
Coordenadora do Curso de Pós-graduação Lato Sensu em Medicina Aeroespacial da FPCS.
Certificação Médica na Área de Atuação em Medicina Aeroespacial.

CAPÍTULO INTRODUTÓRIO

ASPECTOS REGULATÓRIOS DA AVIAÇÃO CIVIL NO BRASIL

Autor: Dr. Albert Costa Rebello

Introdução

Durante o primeiro ano de atividade aérea na Primeira Guerra Mundial, os ingleses e franceses relataram que 2% dos acidentes aéreos foram devidos ao combate, 8% devido a falhas mecânicas e 90% devido à falha humana. Desses quase noventa por cento devido a falha humana, 2/3 estavam relacionados com problemas de aptidão física. Com a realização de exames de saúde para aferir a aptidão física de pilotos, esse número de acidentes (60% do total) foi reduzido para 12% em dois anos.

Esse breve histórico serve para ilustrar o papel do exame de saúde pericial dentro da segurança operacional de voo. A seguir, o leitor será convidado a imergir nos procedimentos atuais de Certificação Médica Aeronáutica Civil, regulamentados em harmonia com o Anexo 1 da Convenção Internacional de Aviação Civil (Convenção de Chicago), da qual o Brasil é um dos Estados signatários.

No Brasil, o Departamento Médico da Aviação Militar foi regulamentado em 1935 e, no século 21, a responsabilidade pela aviação civil passou para a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), com sua criação por lei em 2005.

Certificado Médico Aeronáutico

Certificado Médico Aeronáutico (CMA) significa o certificado emitido pela ANAC, após exames de saúde periciais realizados em candidatos, atestando suas aptidões psicofísicas, de acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 67, RBAC 67, para exercer funções relativas a aeronaves. O CMA equivale ao Certificado de Capacidade Física (CCF) para efeito de cumprimento das normas constantes dos artigos 159 a 164 e 302 da Lei nº 7.565/86, Código Brasileiro de Aeronáutica, e do art. 72 da Lei nº 13.475/17, Lei do Aeronauta. Atualmente, os dados sobre o CMA são atualizados e verificados no Portal da ANAC na internet.

Dessa forma, o CMA é um documento virtual que substituiu o antigo CCF, o qual não é mais emitido em formato de papel desde 01/01/2012.

O exame de saúde pericial tem o objetivo de certificar a aptidão física e mental de tripulantes, considerando o exercício de cada função. A certificação médica busca limitar o risco à segurança do voo decorrente de problemas de saúde, tendo validade específica de acordo com a classe, função, idade e outras possíveis condições médicas.

Classes de CMA

Cada classe de certificado médico está associada a licenças específicas e possui um período de validade pré-determinado, o qual pode estar relacionado e/ou ser restringido por outros requisitos.

A seguir, veremos como se dividem as diferentes categorias de aeronavegantes por classes de CMA, no Brasil.

a) CMA de 1ª classe: piloto de linha aérea, piloto comercial.

b) CMA de 2ª classe: piloto privado com habilitação IFR (*Instrumental Flight Rules*), piloto privado, comissário de voo, mecânico de voo, piloto de balão livre, e aluno piloto (exceto para piloto de planador)

c) CMA de 4ª classe: piloto aerodesportivo e piloto de planador.

d) CMA de 5ª classe: piloto-remoto de aeronave remotamente pilotada.

Observação: O CMA de 3ª classe é emitido pelo Ministério da Aeronáutica para Controladores de Tráfego Aéreo, não sendo de competência da ANAC.

Quais os exames laboratoriais são requeridos?

Os examinadores (médicos e clínicas) são responsáveis pela solicitação dos exames laboratoriais e de outros, caso necessário. No agendamento, o candidato ao CMA deve se informar sobre os procedimentos próprios do examinador. A tabela a seguir ilustra os principais exames requeridos para informação dos candidatos:

Tabela 0.1.

EXAMES		CLASSE DE CMA		
	1ª, 2ª e 5ª		4ª (Planador e Aeronave Leve)	
	Tipo de Exame de Saúde Pericial			
	Inicial	Revalidação		
Exames de sangue	Glicemia de jejum, e nos casos limítrofes, hemoglobina glicada	X		X
	Ácido úrico	X		Não aplicável
	Colesterol total e frações	X		Não aplicável
	Triglicerídeos	X		X
	Creatinina, observando jejum de 12h	X		X
	Hemograma completo	X		X
	Dosagem de Beta HCG (feminino)	X		X
	Tipagem sanguínea e fator Rh	X	Não aplicável	Apenas inicial
Urina tipo I (EAS)		X		
Eletroencefalograma (EEG) (validade de 6 meses tolerável a 2 anos)		X	Não aplicável	Não aplicável
Eletrocardiograma (ECG) e Prova de esforço em esteira. Validade para 1ª classe: 30 a 49 anos: 2 anos; 50 e acima: 1 ano. Validade para 2ª e 5ª classes: 2 anos.		X	Acima de 30 anos (1ª classe) Acima de 50 anos (2ª e 5ª classes)	40 anos e acima: apenas ECG
Radiografia	Tórax	X	Não aplicável	Inicial
	Seios paranasais	(1ª classe)	Não aplicável	Não aplicável
Audiometria (apenas para pilotos).		X	Abaixo de 40 anos: a cada 5 anos. 40 anos e acima: a cada 2 anos. A cada 4 anos (se 5ª classe).	Não aplicável
Odontologia (apenas para pilotos)		(1ª e 2ª classes)		Não aplicável
Radiografia panorâmica odontológica (apenas para pilotos de 1ª e 2ª classes)		X	A critério do examinador nas atualizações dos odontogramas	Não aplicável
Odontograma (a cada 5 anos – apenas para pilotos de 1ª e 2ª classes)		X		Não aplicável

Extraído de: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/profissionais-da-aviacao-civil/pilotos/paginas-complementares/exames-complementares-requeridos

Validades do Certificado Médico Aeronáutico (CMA)

Abaixo temos a visualização da relação entre as classes de CMA, suas validades, idades dos candidatos, e tipos de licenças.

Tabela 0.2.

CLASSE	CATEGORIAS	IDADE	VALIDADE
1ª	Piloto Comercial (PC) Piloto de Linha Aérea (PLA)	< 60 anos*	Meses
		> 60 anos	6 meses
2ª	Piloto Privado com habilitação IFR (PP-IFR) Piloto Privado (PP) Piloto de Balão Livre (PBL)	<40 anos	60 meses
		> 40 anos < 50 anos	24 mese
		> 50 anos	12 meses
	Mecânico de Voo (MCV)	Sem limite de idade	12 meses
	Comissário de Voo	< 60 anos	60 meses
		> 60 anos	24 meses
4ª	Piloto Aerodesportivo (CPA) Piloto de Planador (PPL)	<40 anos	60 meses
		> 40 anos < 50 anos	24 meses
		> 50 anos	12 meses
5ª	Piloto Remoto de aeronave remotamente pilotada	Sem limite de idade	48 meses

Extraído de: https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/regulados/profissionais-da-aviacao-civil/pilotos/paginas-complementares/validades-do-exame-de-saude

* Para PLA/PC acima de 40 anos de idade que operam em transporte aéreo público de passageiros com apenas um piloto, a validade será de 6 meses.

Observação: nas revalidações, se o exame de saúde pericial for concluído nos últimos 45 dias antes da expiração, a nova validade deve contar a partir dessa data de expiração.

As validades poderão ser diferenciadas de acordo com critérios médicos.

Suspensão de CMA

Um CMA vigente será suspenso por qualquer uma das seguintes razões (RBAC 67):

(1) quando o seu detentor tomar parte em acidente ou incidente aeronáutico grave, exceto mediante laudo médico que justifique a não aplicação da suspensão nos termos do parágrafo 67.105(d) ou 67.145(d);

(2) quando o seu detentor, ou qualquer um especificado pelo parágrafo 67.15(d) deste Regulamento, informar e for ratificada a ocorrência de uma diminuição de aptidão psicofísica.

Importante esclarecer que não haverá suspensão de CMA quando o piloto declarar uma situação de urgência, ou emergência, e o pouso ocorrer de forma normal. O CMA somente será suspenso se a ocorrência for classificada pelo CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos) como acidente, ou incidente aeronáutico grave.

Tripulantes com o CMA suspenso devem realizar novo exame de saúde pericial na rede credenciada da ANAC. Ainda assim, nos casos de incidentes aeronáuticos graves, o tripulante que trabalha em um operador aéreo, que possua seu serviço médico próprio, pode ser dispensado de realizar novo exame se apresentar um laudo do médico responsável da empresa, justificando tal dispensa.

4. Atualizações na regulamentação do CMA

A partir de 2018, o RBAC 67, que regulamenta a emissão do CMA e o credenciamento de médicos e clínicas, teve atualizações importantes. Uma delas foi a cláusula de isenção para realizar novo exame de saúde pericial pós-incidente grave, já citada no parágrafo anterior sob o título "suspensão de CMA".

Também, a partir de 01/04/2020, a categoria "Piloto Privado com habilitação IFR" teve alterada a classificação de seu CMA de 1ª para CMA de 2ª classe.

Houve também atualização na tabela de exames requeridos e na validade do CMA de 2ª classe, categoria Comissário de Voo.

Entre as principais atualizações está a permissão para que um candidato surdo obtenha CMA de 1ª, 2ª e 4ª classes. Importante frisar que tal autorização não vale para a categoria de Comissário de Voo. Além disso, algumas restrições acompanham este CMA neste caso, tais como:

- Não é válido para voos onde o uso de rádios para comunicações bilaterais é necessário ou para atuar como comissário de voo;

- Não pode obter as licenças de piloto de linha aérea ou piloto de tripulação múltipla;
- Não pode obter a habilitação de voo por instrumentos;
- Antes do primeiro voo solo, o candidato deverá ser submetido a um exame prático especial por modelo de aeronave e ser aprovado, para verificação da capacidade do candidato de:

  (i) reconhecer a perda de potência ou falha de motor a partir da alteração da vibração e das informações dos instrumentos;

  (ii) reconhecer a aproximação do estol por vibração aerodinâmica e indicadores visuais;

  (iii) reconhecer emergências com um trem de pouso retrátil pela observação das luzes de trem de pouso (se aplicável);
- A licença ou certificado, quando emitidos, constará a seguinte observação: "Não válido para voos que requeiram a utilização de rádio comunicação";

(5) uma vez concedida a licença ou certificado, o piloto não poderá realizar operações:

(i) IFR ou VFR (*visual flight rules*) em aeronaves que necessitem de habilitação IFR;

(ii) em aeroportos controlados;

(iii) internacionais; ou

(iv) que envolvam transporte remunerado de passageiros.

5. Credenciamento de médicos e clínicas

Para o credenciamento, o médico deve ter registro no Conselho Regional de Medicina (CRM) há pelo menos 3 anos.

Médicos que tenham interesse podem consultar os demais requisitos no RBAC 67, disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac

Referências bibliográficas

BRASIL. ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). RBAC nº 61: Licenças, habilitações e certificados para pilotos. Emenda 13, 2020. Disponível online em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-61/@@display-file/arquivo_norma/RBAC61EMD13.pdf

BRASIL. ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). RBAC nº 67: Requisitos para concessão de certificados médicos aeronáuticos, para o cadastro e credenciamento de médicos, credenciamento de clínicas e para o convênio com entidades públicas. Emenda 04, 2020. Disponível online em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-067/@@display-file/arquivo_norma/RBAC67EMD04%20-%20Retificado.pdf

BRASIL. ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). IS 67-001: Procedimentos para reconhecimento de Curso Básico de Perícia Médica na Aviação Civil. 2017. Disponível online em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-67-001

BRASIL. ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). IS 67-002B: Instruções para obtenção e revalidação de um Certificado Médico Aeronáutico (CMA) e interposição de recurso. 2015. Disponível online em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-67-002

BRASIL. ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). IS 67-003C: Procedimentos para preenchimento online dos dados do Certificado Médico Aeronáutico no Sistema de Aviação Civil. 2016. Disponível online em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-67-003

BRASIL. ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). IS 67-004B: Guia Médico da ANAC. 2020. Disponível online em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-67-004

BRASIL. ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). IS 67-005B: Procedimentos administrativos para credenciamento e revalidação de credenciamento de médicos, clínicas e convênio com entidades. 2018. Disponível online em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/is/is-67-005

DAVIS, J.R. et al. (Ed.). Fundamentals of aerospace medicine. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2008.

REGULAÇÃO INTERNACIONAL

Autor: Dr. Rui Pombal

Introdução

Neste capítulo, vamos procurar conhecer as principais organizações reguladoras da medicina aeronáutica a nível mundial (ICAO, EASA, FAA, IATA) e saber como acessar de forma eficiente as respectivas orientações.

Embora as orientações médicas **ICAO ou OACI** (Organização da Aviação Civil Internacional) não sejam regulamentares, elas visam orientar a elaboração dos regulamentos próprios de cada Estado, obedecendo a práticas seguras aceitáveis e tendo como base mínima os SARP (atuais à data) do Anexo 1 da Convenção de Chicago (1944).

O *Manual of Civil Aviation Medicine* da ICAO/OACI define as principais orientações para os médicos examinadores e para as Autoridades licenciadoras. Secundariamente, serve também de apoio à formação médica.

Assim, caso um Estado específico decida implementar requisitos adicionais ou mais restritivos que os da ICAO, estes devem ter a probabilidade de melhorar significativamente a segurança de voo, não se limitando a ser um "peso" adicional para a indústria aeronáutica. A base deve ser uma avaliação de risco, por exemplo, seguindo o esquema do quadro seguinte.

Tabela 0.3.

	GRAVIDADE DO RISCO				
Probabilidade do Risco	Catastrófico 5	Perigoso 4	Significativo (major) 3	Minor 2	Insignificante 1
Frequente 5	Inaceitável (intolerável)	Inaceitável (intolerável)	Inaceitável (intolerável)	Rever	Rever
Ocasional 4	Inaceitável (intolerável)	Inaceitável (intolerável)	Rever	Rever	Rever
Remoto 3	Inaceitável (intolerável)	Rever	Rever	Rever	aceitável (tolerável)
Improvável 2	Rever	Rever	Rever	aceitável (tolerável)	aceitável (tolerável)
Extremamente improvável 1	Rever	aceitável (tolerável)	aceitável (tolerável)	aceitável (tolerável)	aceitável (tolerável)
mitigação (modo e prazo)					

EASA - Agência Europeia para a Segurança da Aviação

https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations

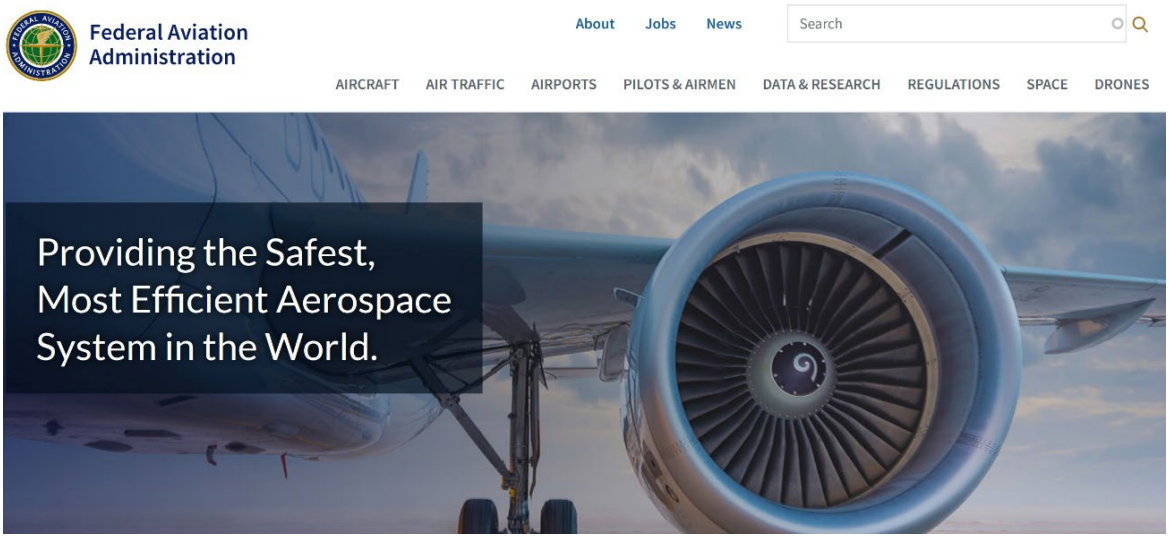
https://www.easa.europa.eu/domains/medical

Estabelece as regras de segurança comuns para a União Europeia e países associados, nos quesitos: certificação, regulação, padronização, monitoração e investigação.

Figura 0.1.

EU member states
FINLAND
RUSSIA
NORWAY
SWEDEN
ESTONIA
LATVIA
LITHUANIA
(RUSSIA)
DENMARK
BELARUS
IRELAND
UNITED KINGDOM
POLAND
UKRAINE
NETHERLANDS
GERMANY
BELGIUM
LUXEMBOURG
CZECHIA
SLOVAKIA
MOLDOVA
AUSTRIA
HUNGARY
ROMANIA
FRANCE
SWITZERLAND
SLOVENIA
CROATIA
SERBIA
BOSNIA & HERZEGOVINA
BULGARIA
MONTE-NEGRO
KOSOVO
NORTH MACEDONIA
TURKEY
ITALY
ALBANIA
GREECE
SPAIN
PORTUGAL
CYPRUS
MALTA
TUNISIA
ALGERIA
EGYPT

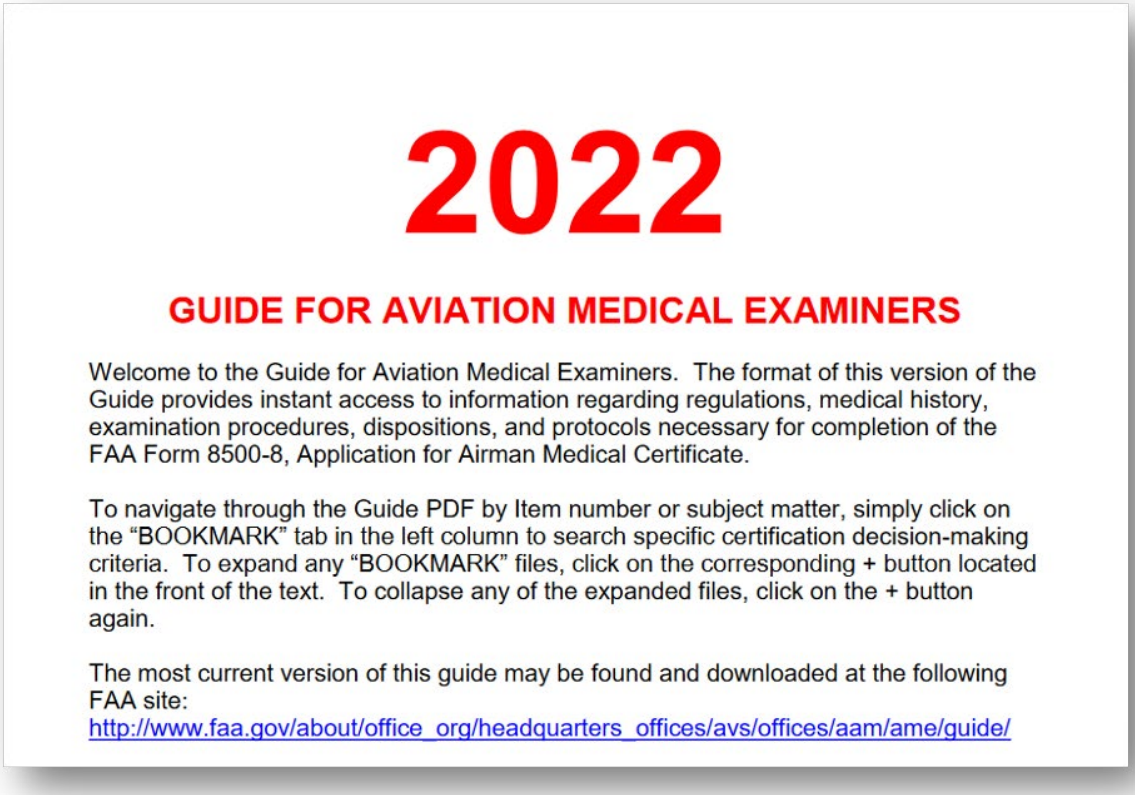
Figura 0.2.



FAA - Federal Aviation Administration dos EUA

Traz no seu guia para médicos examinadores os protocolos e quesitos médicos práticos:

Figura 0.3.



2022

GUIDE FOR AVIATION MEDICAL EXAMINERS

Welcome to the Guide for Aviation Medical Examiners. The format of this version of the Guide provides instant access to information regarding regulations, medical history, examination procedures, dispositions, and protocols necessary for completion of the FAA Form 8500-8, Application for Airman Medical Certificate.

To navigate through the Guide PDF by Item number or subject matter, simply click on the "BOOKMARK" tab in the left column to search specific certification decision-making criteria. To expand any "BOOKMARK" files, click on the corresponding + button located in the front of the text. To collapse any of the expanded files, click on the + button again.

The most current version of this guide may be found and downloaded at the following FAA site:
http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/aam/ame/guide/

IATA - International Air Transport Association

Embora não seja uma entidade reguladora em si, define padrões de qualidade a que a indústria aeronáutica se obriga, inclusive na área médica; elabora manuais de boas práticas e guidelines.

Através do seu Grupo de Médicos Consultores (*Medical Advisory Group*) propõe constantes atualizações baseadas nas melhores práticas médicas:

Figura 0.4.

Medical Advisory Group

The Medical Advisory Group is a special committee established by the IATA Director General, who appoints up to ten members specializing in aviation medicine or occupational health.

Objectives

1. Advise IATA and the airline community on health issues related to air travel.
2. Provide expert representation on behalf of the industry on aviation medical matters.
3. Liaise as appropriate with other related organisations such as the World Health Organisation, ICAO and regional airline trade associations on medical and cabin health matters.
4. Review and update IATA Resolutions and Recommended Practices relating to on-board medical care and health-related issues.
5. Review and provide guidance to the Cabin Operation Safety Task Force on sections of the IATA Inflight Manual relating to cabin health matters.
6. Develop new industry guidelines on aviation medical or health-related issues, where appropriate or necessary.
7. Review and update the IATA Medical Manual

The Group also reviews and updates guidelines and recommended practices relating to on-board medical care and health-related issues, as well as the IATA Medical Manual.

https://www.iata.org/en/programs/workgroups/medical_advisory_group/

Classes de certificados médicos

Do "lado" médico da certificação aeronáutica dos aeronautas, definem-se classes de certificado como no quadro seguinte que mostra os exemplos da EU, FAA e Brasil.

Tabela 0.4.

EASA (EU+)			FAA (USA)			ANAC (BRASIL)		
Classe	**Categoria**	**Validade**	**Classe**	**Categoria**	**Validade**	**Classe**	**Categoria**	**Validade**
1	Piloto comercial ou de companhia aérea	12 meses ou 6 meses (se ≥60a ou ≥40a em ops monopiloto)	**1st**	Airline transport pilot	resto do mês +12 meses (<40a) ou + 6 meses (≥40a)	**1ª**	= EASA 1	12 meses ou 6 meses (se ≥60a ou ≥40a em ops monopiloto)
2	Piloto privado; Piloto de balão ou planador comercial	60 meses (até aos 40a) 24 meses (40a-50a) 12 meses (>50a)	**2nd**	Commercial pilot Flight eng./ nav. Control tower operator (not FAA ATC specialists)	resto do mês +12 meses	**2ª**	=EASA 2 mas -Planador +Cabine + Mec. Voo	60 meses (<40a) 24 meses (40a-50a) 24 meses (≥50a)
3	Controlador de Tráfego Aéreo		**3nd**	Private pilot or Recreational pilot	resto do mês +60 meses (<40a) ou +24 meses (≥40a)	**3ª**	= 3 EASA	60 meses (<60a) 24 meses (≥60a) 12 meses
LAPL* (Light Aircraft Pilot Licence) *nem todos os países	Piloto recreatvo (aeronave <2000kg máx. 3 pax)	60 meses (até aos 40a) 24 meses (>40a)				**4ª**	Piloto de planador ou aerodesportivo	
Cabin Crew	Comissári@	até 60 meses				**5ª**	Piloto-remoto	

Nota - Designações equivalentes: Designated medical examiner, Examinador Médico Aeronáutico (EMA), Médico credenciado/cadastrado, Aviation Medical Examiner (AME).

Médico Examinador Aeronáutico: médico com formação e competência demonstradas em medicina aeronáutica, que se submete periodicamente a formação de refrescamento e que tem conhecimento prático e experiência das condições em que os candidatos que examina exercem as suas funções (experiência de voo ou simulador, ou observação direta, ou outra experiência definida pela Autoridade de licenciamento).

Medical Assessor ou Médico Avaliador (da Autoridade de licenciamento): com formação avançada em medicina aeronáutica e experiência extensa em medicina de aviação clínica civil e de regulação. Avalia os relatórios submetidos à Autoridade, toma a decisão final em caso de dúvida e é responsável pela acreditação e junta médica e pela auditoria aos relatórios médicos dos AME e à respetiva formação.

Algumas jurisdições, como a EASA, definem Chefia (Head) de Centro de Medicina Aeronáutica (Aviation Medicine Centre / Aeromedical Centre (AeMC)).

O que é a certificação médica aeronáutica?

Processo que estabelece e emite comprovativo (certificado, relatório) garantindo que um detentor de uma determinada licença aeronáutica (piloto, CTA, etc.) satisfaz determinados requisitos médicos.

O que faz a certificação médica aeronáutica?

- Integra o sistema de segurança aérea (navegação e controlo de tráfego aéreos).
- Garante conformidade regulamentar para os profissionais individuais e empresas.
- Promove a saúde (enquanto fator de segurança).

Como atua a certificação médica aeronáutica?

- Medicina certificatória/pericial (conformidade regulamentar).
- Medicina preditiva num horizonte temporal definido ("previsão" da probabilidade de incapacidade significativa com impacto operacional/segurança).
- Minimização/Mitigação de risco (ex.: por meio da imposição de limitações/restrições).
- Ponderação de pareceres clínicos especializados.
- Relação de confiança/comunicação (nem "polícia" nem "representante").

São precisas mais e melhores evidências (evidence based medicine) para o suporte dos critérios de avaliação na certificação aeromédica (ver manual ICAO).

Requisitos demasiado restritivos podem:

- Resultar em limitações operacionais ou inaptidões desnecessariamente prematuras;
- Levar a que os aeronautas tenham relutância em reportar problemas de saúde, prejudicando a segurança;
- Aumentar a discrepância internacional de critérios;
- Encorajar o "turismo médico" internacional.

O que não faz a certificação médica aeronáutica?

- Não faz vigilância de saúde e prevenção no local de trabalho (medicina do trabalho).
- Não dá aptidão específica para uma empresa ou posto de trabalho (medicina do trabalho).
- Não atua como médico assistente, nem acompanhamento clínico no dia-a-dia.
- Não é necessariamente o agente primário de investigação de suspeita diagnóstica.
- Não se substitui à responsabilidade individual do aeronauta.

Gestão de Segurança (Safety Management)

Busca mitigar os riscos de segurança antes que resultem em acidentes ou incidentes aeronáuticos.

Sistema de Gestão de Segurança (*Safety Management System - SMS*): abordagem contínua e sistemática da Gestão da Segurança que inclui as estruturas organizacionais, responsabilidades e responsabilizações, políticas e procedimentos necessários.

Noções de:

- Perigo (*hazard*)
- Risco e avaliação do risco (*risk assessment*)
- Mitigação do risco e sua eficácia
- Aceitabilidade/Tolerabilidade do risco (em função de consequências, gravidade, frequência e minimização possível)

Figura 0.5.

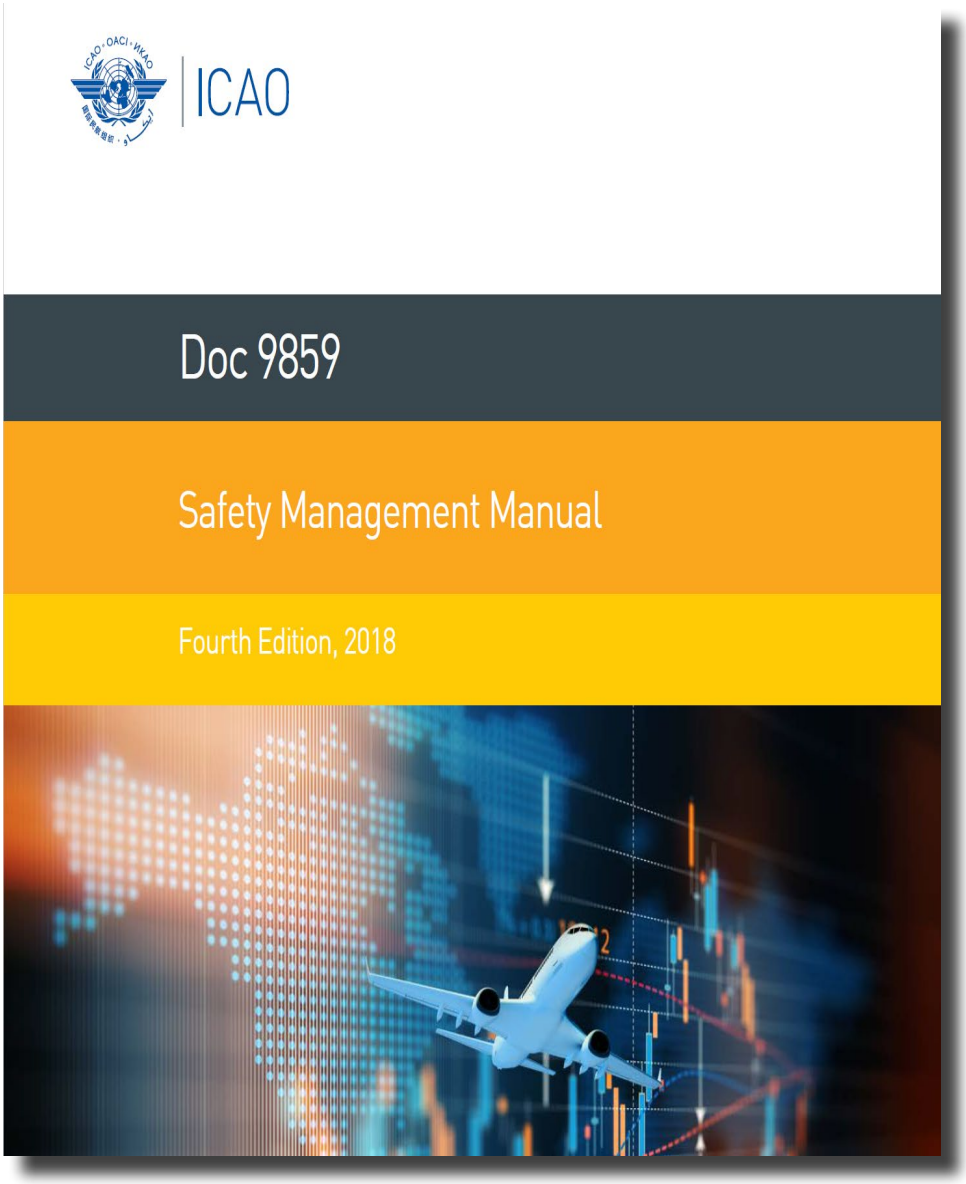


Tabela 0.5.

	GRAVIDADE DO RISCO ***Resulta em...***				
Probabilidade do Risco *Expectável que ocorra, ou tem ocorrido...*	Catastrófico *Acidente, morte ou destruição de equipamento*	Perigoso *Lesão muito grave ou dano importante de equipamento*	Significativo (maior) *Incidente ou lesão grave*	Pouco significativo (menor) *Incidente pouco significativo*	Insignificante *Incômodo/ contratempo sem grandes consequências*
Frequente *...muitas vezes*					
Ocasional *...algumas vezes*					
Remoto *...raramente*					
Improvável *Ocorrência não expectável (que se saiba não tem ocorrido)*					
Extremamente improvável *Ocorrência quase inconcebível*					

Tabela 0.6.

	GRAVIDADE DO RISCO				
Probabilidade do Risco	Catastrófico 5	Perigoso 4	Significativo (maior) 3	Menor 2	Insignificante 1
Frequente 5	Inaceitável (intolerável)	Inaceitável (intolerável)	Inaceitável (intolerável)	Rever	Rever
Ocasional 4	Inaceitável (intolerável)	Inaceitável (intolerável)	Rever	Rever	Rever
Remoto 3	Inaceitável (intolerável)	Rever	Rever	Rever	aceitável (tolerável)
Improvável 2	Rever	Rever	Rever	aceitável (tolerável)	aceitável (tolerável)
Extremamente improvável 1	Rever	aceitável (tolerável)	aceitável (tolerável)	aceitável (tolerável)	aceitável (tolerável)
mitigação (modo e prazo)					

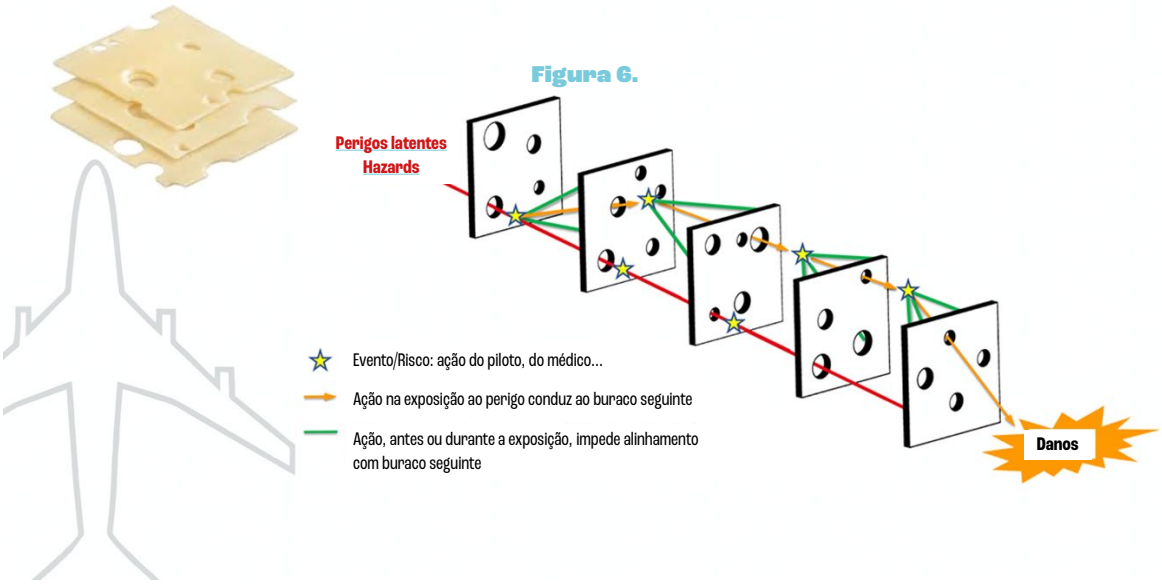


Figura 6.

O que é o "Regulamento Europeu" e como está organizado?

Lei europeia vertida para a legislação nacional.

Figura 0.7.

Figura 0.8.

https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Easy_Access_Rules_for_Medical_Requirements.pdf

Figura 0.9.

https://www.easa.europa.eu/downloads/19632/en

Pilotos e Tripulantes de Cabine

Controladores de Tráfego Aéreo

Figura 0.10.

Regulation IRs

Comission regulation

Acceptable means of compliance AMCs

ED decision

Guidance material G

ED decision

Interessante notar que, embora as Autoridades Reguladoras sigam orientações ICAO, como mostramos no início deste capítulo, as regras definidas para as classes operacionais análogas dos aeronautas têm, quase sempre, algumas diferenças, como demonstrado no exemplo seguinte:

Tabela 0.7.

EXAMES COMPLEMENTARES DE DIAGNÓSTICO OBRIGATÓRIOS					
	EASA				***FAA***
ECG	**Classe 1**	**Classe 2**	**Classe 3 (CTAs)**	**Cabine**	
	No inicial e: <30a: 60 meses 30-39a: 24m 40-59a: 12m >60a: 6m (>40ase monopiloto)	Na primeira Avaliação após os 40a >50a: 24 meses	No inicial, e: < 30a: 48 meses 30-39a: 24m ≥ 40a: 12m	≥ 40a: 60 meses	*Só a 1.ª Classe na primeira Avaliação a partir dos 35a e anualmente a partir de 40a*
Áudio	No inicial (com timpanograma), e: <40a: 60 meses ≥ 40a: 24 meses	= Cl 1 se IR	No inicial, e: <40a: 48 meses ≥ 40a: 24 meses	No inicial (com timpanograma)	---
Urina II	Todas as Classes em todas as Avaliações (exceto LAPL: só inicial e >50a)				*Todas as Classes em todas as Avaliações*
Hemoglobina	Todas as avaliações	---	---	---	---
Lipídios	Iniciais e aos 40a aos 65 a ?	---	Iniciais e aos 40 anos	---	---
Espirometria	Iniciais	---	Iniciais	---	--
Outros	Iniciais: TA&D, Ishihara, TSCG 65a: prova de esforço?	Iniciais IR: Ishihara	Iniciais IR: Ishihara + 1, TSCG	Iniciais: Ishihara	*Ishihara ou outros de visão cromática*

As regras são baseadas em boas práticas, evidências médicas e mitigação de riscos, mas também na experiência acumulada de cada Autoridade. A própria "cultura" aeronáutica, médica e de segurança de cada país ou região do globo influencia a definição de regras, protocolos e orientações.

FISIOLOGIA CARDIOVASCULAR E RESPIRATÓRIA

Dr. Fabrício Cezar e Drª. Cristiane Costa

Orientadora:
Profa. Drª. Kátia de Angelis

introdução

NESTE CAPÍTULO, ABORDAREMOS A FISIOLOGIA CARDIORRESPIRATÓRIA, OFERECENDO CONHECIMENTOS SOBRE ASPECTOS BÁSICOS E APLICADOS PARA O ENTENDIMENTO DOS AJUSTES E ADAPTAÇÕES DO ORGANISMO ÀS ATIVIDADES AEROESPACIAIS, À ALTITUDE OU MESMO FRENTE A SITUAÇÕES DE ESTRESSE.

Fisiologia cardiovascular

A fisiologia cardiovascular é de grande importância dentro da área médica, pois garante o funcionamento adequado dos demais órgãos a partir do transporte rápido de oxigênio e nutrientes, eliminação de dióxido de carbono e resíduos, manutenção da temperatura corporal, difusão de hormônios, entre outras funções. Além disso, por meio de mecanismos físicos, químicos e hormonais, em constante atividade, garante a homeostase de todo o corpo em condições de repouso ou de alteração de demanda. A seguir, revisaremos aspectos básicos da anatomia do coração e dos vasos, bem como o funcionamento e regulação do sistema cardiovascular.

Aspectos estruturais

A contração muscular cardíaca resulta de modificações bioquímicas (trânsito de íons), precipitadas pelo potencial de ação, levando à interação dos filamentos finos e grossos (actina e miosina) com consequente encurtamento e posterior relaxamento da fibra miocárdica. Esse processo, também conhecido como acoplamento excitação-contração, será revisto com mais detalhes a seguir e representa a base para a compreensão da fisiologia da atividade elétrica e mecânica cardíaca.

Estrutura dos cardiomiócitos

Podemos destacar três estruturas dos cardiomiócitos que têm papéis fundamentais no processo de contração cardíaca que devemos conhecer: as miofibrilas, o sarcolema e o retículo sarcoplasmático.

Miofibrilas

Este é um grupo de miócitos unidos por tecido conjuntivo colágeno (principal componente da matriz extracelular), onde se encontram as unidades contráteis denominadas sarcômeros. Por meio da análise das fibras musculares estriadas pelo microscópio eletrônico foi possível determinar

um padrão de bandas e linhas resultante de múltiplos sarcômeros em série. O sarcômero tem em sua constituição miofilamentos.

Os miofilamentos grossos são formados por moléculas de miosina e são responsáveis pela interação ou acoplamento aos filamentos finos. Cada cabeça de miosina é a parte terminal de uma cadeia pesada. Os corpos dessas duas cadeias entrelaçam-se alongando a miosina.

Já os miofilamentos finos são formados por:

Actina: formada por polímeros de proteína globulares que se entrelaçam em forma de hélice e possuem sítios de ligação com a cabeça da miosina (pontes cruzadas). Os filamentos finos de actina estão ligados às linhas Z em cada uma das extremidades do sarcômero. Durante a contração, as cabeças de miosina se ligam à actina e puxam os filamentos de actina no sentido do centro sarcômero, encurtando o sarcômero. A energia para esse encurtamento é fornecida pela quebra de ATP, sintetizada principalmente nas mitocôndrias presentes na cabeça da miosina. Em relação à interação entre miosina e a actina, isso ocorre quando há liberação de cálcio no citoplasma (proveniente do retículo sarcoplasmático), sendo este processo chamado de ciclo "cross- bridge" ou das pontes cruzadas.

Troponinas (C,T,I): as troponinas são estruturas que compõem os filamentos finos e participam do processo de contração. Existem três tipos de troponinas, cada qual com a função específica.

- **Troponina C**, liga ao cálcio.
- **Troponina T**, liga à tropomiosina.
- **Troponina I**, inibe o sítio ativo da actina.

Tropomiosina: estrutura que envolve a actina, mantendo a forma helicoidal desta, e impede a ligação da miosina a actina em situações que o nível cistosólico de cálcio está baixo.

Titina: proteína miofibrilar extraordinariamente longa (maior proteína já descrita), flexível e delgada. Estende-se desde a linha Z até um pouco antes da linha M, conectando o filamento grosso à linha Z. É composta por dois

segmentos: um de ancoragem inextensível e um elástico extensível que se alonga à medida que o comprimento do sarcômero aumenta. Contribui para relação de estresse-esforço do músculo cardíaco e esquelético à medida que distende e relaxa. Tem como principais funções: estabilizar as proteínas contráteis (parte fixa), gerar força de restauração durante o processo de relaxamento da fibra miocárdica (parte móvel), gerar incremento na contração muscular (parte móvel) e pode transduzir distensão mecânica em sinais de crescimento.

Sarcolema

É a membrana plasmática do cardiomiócitos que se invagina para formar uma grande rede tubular (túbulos transversos ou T), que entende o espaço extracelular para o interior das células. Sua importância no processo de contração dos cardiomiócitos está relacionado à presença de canais iônicos em sua superfície que permitem o trânsito de íons essenciais para a despolarização, contração muscular e repolarização da fibra miocárdica.

Retículo Sarcoplasmático (RS)

É o retículo endoplasmático do cardiomiócitos e anatomicamente é composto por uma fina rede interconectada de membrana lipídica que se espalha pelos miócitos. Atua como reservatório de cálcio intracelular que é liberado para o citoplasma durante o processo de contração miocárdica e é composto pelas seguintes estruturas:

- **Receptor Rianodina:** receptores do RS que promovem a liberação do cálcio do interior do RS para o citoplasma;
- **Calsequestrina e Calreticulina:** estruturas nas quais o cálcio se mantém ligado aos RS;
- **Serca 2:** proteína transportadora que repõe cálcio do citoplasma para o RS após a contração muscular, sua atividade é controlada pela proteína fosfolambam.

Vasos sanguíneos e circulação linfática

Os vasos sanguíneos, mesmo localizados em diferentes tecidos, têm características e princípios semelhantes da função vascular. A função das artérias é transportar o sangue para os tecidos, sob alta pressão. Por essa razão, as artérias têm paredes vasculares resistentes e o sangue flui rapidamente por elas. As arteríolas são os últimos ramos pequenos do sistema arterial, atuando como válvulas controladoras, através das quais o sangue é liberado para os capilares. A arteríola tem as paredes vasculares fortes e tem a capacidade de alterar intensamente o fluxo sanguíneo para os capilares, em resposta às necessidades dos tecidos.

A função dos capilares é realizar a troca de eletrólitos, hormônios e líquidos entre o sangue e o líquido intersticial, sendo possível devido à parede do vaso ser formada por uma camada única de células endoteliais que possuem poros capazes de realizar essa troca.

As vênulas coletam o sangue dos capilares, gradualmente se unindo e formando veias progressivamente maiores. As veias transportam o sangue dos tecidos de volta ao coração e também atuam como reservatório de sangue. A pressão no sistema venoso é baixa, mas também possui a capacidade de se adaptar às diferentes situações.

O sistema linfático representa uma via acessória pela qual o líquido pode fluir dos espaços intersticiais para o sangue. E, mais importante, os linfáticos podem transportar proteínas e material particulado grande para fora dos espaços teciduais, nenhum dos quais poderia ser removido por absorção diretamente pelos capilares sanguíneos.

Quase todos os tecidos do corpo têm canais linfáticos que drenam o excesso de líquido diretamente dos espaços intersticiais. As exceções incluem as porções superficiais da pele, o sistema nervoso central, o endomísio dos músculos e os ossos. Mesmo esses tecidos têm canais intersticiais diminutos chamados pré-linfáticos, e esse líquido acaba se esvaziando nos vasos linfáticos ou, no caso do cérebro, no líquido cefalorraquidiano e, então, diretamente de volta ao sangue.

A linfa do corpo acaba fluindo pelo canal torácico e desaguando no sistema venoso na junção da veia jugular interna esquerda e da veia subclávia. A linfa do lado esquerdo da cabeça, do braço esquerdo e de partes da região torácica também entra no canal torácico antes que ela se esvazie nas veias. A linfa do lado direito do pescoço e da cabeça, do braço direito e de partes do lado direito do tórax entra no canal linfático direito, que então deságua no sistema venoso na junção da veia subclávia direita e da veia jugular interna direita.

Atividade elétrica e mecânica cardíaca

Cinética do cálcio

A cinética do cálcio envolve todo o processo desde a despolarização e contração da fibra muscular até a repolarização do miócito.

Despolarização

O evento inicial que leva à contração miocárdica é a despolarização da fibra miocárdica por meio da abertura de canais de sódio, potássio e cálcio na superfície da membrana, alterando o gradiente elétrico transmembrana, gerando assim o potencial de ação.

- **Fase 0:** os canais de sódio permitem que esse eletrólito saia do meio extracelular e entrem para o meio intracelular;
- **Fase 1:** os canais de potássio permitem que esse eletrólito saia do meio intracelular para o meio extracelular;
- **Fase 2:** os canais de cálcio se abrem e o cálcio se direciona para o meio extracelular;
- **Fase 3**: novamente, os canais de potássio se abrem e o potássio sai para o meio extracelular;
- **Fase 4:** por fim, ocorre a repolarização, fase em que o sódio sai da célula, o potássio entra e o cálcio sai da célula.

A contração miocárdica se inicia a partir da despolarização da fibra muscular. Essas células possuem a capacidade de alterar o gradiente elétrico transmembrana de forma espontânea (por meio de canais de membrana

específicos), permitindo que se atinja o limiar de voltagem da célula, gerando assim um potencial de ação. Tal propriedade da célula miocárdica é denominada de automatismo. O mecanismo iônico subjacente à automacidade das células do nó sinusal é motivo de controvérsia. Alguns grupos defendem o modelo no qual os canais de íons regulados por nucleotídeos cíclicos ativados por hiperpolarização constituem o regulador principal da frequência cardíaca. Já outros grupos sugerem um modelo no qual as oscilações de cálcio iônico intracelular afetam os canais de íons sensíveis ao cálcio e os transportadores de íons na membrana externa originam despolarizações diastólicas da membrana que, por sua vez, desencadeiam a propagação de um potencial de ação do nó sinusal.

O estímulo habitual para a contração do músculo cardíaco se inicia no sistema de condução em células especializadas do nó sinusal (NS). Por possuírem a capacidade de se "autodespolarizar" de forma mais rápida (maior frequência) do que do restante das demais células do coração, o NS assume a função de marca-passo natural do coração, pois é a partir dele que se gera uma corrente de despolarização que inicia todo o processo de contração miocárdica. Uma vez iniciada a corrente de despolarização, o potencial de ação é transmitido para todo o miocárdio (princípio do "tudo ou nada" e a condutibilidade deste estímulo célula a célula é possível por meio de conexões entre elas denominadas discos intercalares (células em série) e hiatos juncionais (células em paralelo).

Contração Muscular

Após a despolarização da fibra miocárdica, uma sequência de eventos ocorre:

- **Etapa 1:** abertura de canais lentos de cálcio na superfície da membrana e entrada de cálcio para o interior da célula.
- **Etapa 2:** pequena parte desse cálcio que entrou na célula irá participar do processo de contração.
- **Etapa 3:** a maior parte do cálcio que entrou na célula a partir dos canais de cálcio presentes nos túbulos T do Sarcolema se ligará ao

receptor de rianodina presentes na superfície do retículo Sarcoplasmático (RS) liso do miócito.

- **Etapa 4:** ativação dos receptores de Rianodina.
- **Etapa 5:** fluxo de grande quantidade de cálcio armazenado no RS para o citoplasma.
- **Etapa 6:** grande quantidade de cálcio proveniente do RS juntamente com a pequena quantidade de cálcio proveniente do meio extracelular participará diretamente do processo de contração.
- **Etapa 7:** o cálcio dentro do sarcômero irá se ligar à Troponina C que altera sua conformação estrutural, e o acoplamento da cabeça de miosina à actina, dando início ao encurtamento da fibra miocárdica.
- **Etapa 8:** após a contração dos sarcômeros, a cabeça de miosina é fosforilada com consumo de energia (gasto de ATP).
- **Etapa 9:** após a fosforilação, o cálcio proveniente do citosol ligado à troponina C é reduzido, ocorrendo o desacoplamento dessa estrutura para que se ocorra relaxamento.

Repolarização

Por fim, o retorno do gradiente elétrico transmembrana ao seu estado basal ocorre para que o miócito se prepare para o próximo batimento cardíaco. Além dos transportadores de cálcio citados acima, nesta fase entra em ação um transportador iônico extremamente importante: a proteína transportadora de sódio/potássio ATPase. Este canal, também chamado de "bomba de sódio – potássio", elimina o sódio da célula em troca de íons potássio durante o processo de repolarização.

Este canal pode influenciar de forma indireta na intensidade da contração muscular. Essa modulação ocorre, pois, esse canal controla a quantidade de sódio intracelular dentro do miócito, e isto pode interferir na quantidade de cálcio disponível dentro do citoplasma. Caso ocorra menor ação deste transportador durante a repolarização, haverá uma maior quantidade de sódio dentro do citoplasma. O excesso deste íon passará a

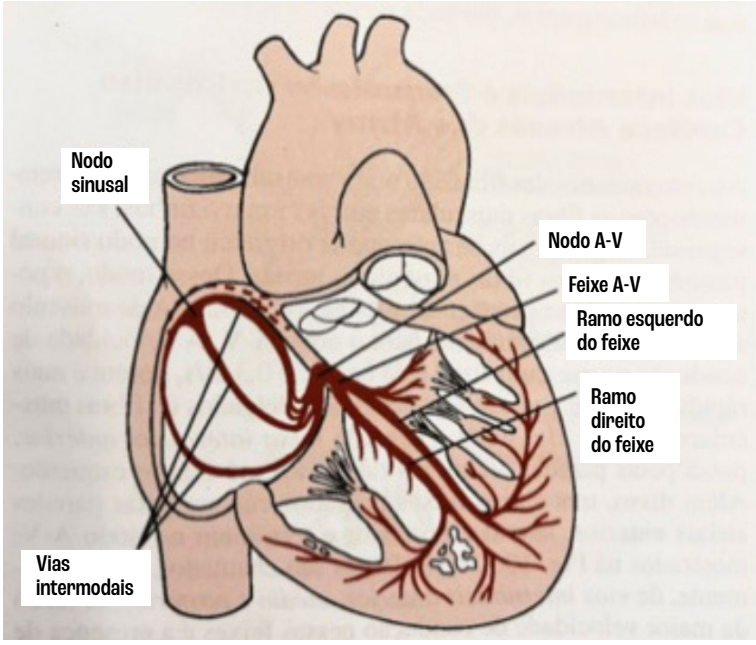
ser eliminado pelo transportador sódio/cálcio (sódio em troca do cálcio). Quanto maior a quantidade de cálcio disponível, maior será a intensidade da contração e vice-versa.

Excitação e condução do coração

Estrutura do sistema de condução cardíaco

O sistema especializado excitatório e de condução do miocárdio é composto pelo nó sinusal, vias intermodais, nó atrioventricular, feixes atrioventriculares e os feixes direito e esquerdo das fibras de Purkinje (Figura 1.1).

Figura 1.1. Sistema de condução do coração.



Fonte: Guyton, AC. e HALL JE. Tratado de fisiologia médica

O nó sinusal, também conhecido como nó sinoatrial, está localizado na parede superior póstero-lateral do átrio direito, imediatamente abaixo da desembocadura da veia cava superior. As fibras sinusais conectam-se às fibras intermodais que permitem a propagação do estímulo elétrico pela parede muscular atrial. As fibras do nó sinusal exibem capacidade de autoexcitação, processo que pode produzir descarga e contração rítmica automáticas. Sendo assim, o nó sinusal controla a frequência dos batimentos cardíacos.

Esse mecanismo de ritmicidade do nodo sinusal ocorre porque o potencial de repouso da membrana das fibras sinusais, entre as descargas, tem negatividade máxima de apenas -55 a -60 mV, bem menor quando comparadas às fibras ventriculares, que exibem negatividade em torno de -85 a -90 mV. Essa menor negatividade das fibras sinusais é naturalmente vazante para os íons de sódio e as cargas positivas dos íons de sódio, o que causa elevação no potencial de repouso da membrana. Quando esse potencial se eleva até a voltagem limiar de cerca de -40 mV, os canais de cálcio-sódio são ativados, provocando a entrada rápida de íons cálcio e sódio, gerando potencial de ação.

Após a despolarização do nó sinusal, ocorre a condução do estímulo elétrico até o nó atrioventricular, onde ocorre um atraso na transmissão do impulso cardíaco dos átrios para os ventrículos, permitindo assim, que os átrios esvaziem seu sangue nos ventrículos, antes da contração ventricular.

As fibras de Purkinje saem do nó atrioventricular, passam pelos feixes atrioventriculares e chegam aos ventrículos. São fibras muito grossas, que permitem a condução dos potenciais de ação através de velocidades muito elevadas, cerca de seis vezes a do músculo ventricular, permitindo assim a condução quase imediata do impulso cardíaco para todo o músculo ventricular. Uma vez que o impulso atinja as extremidades das fibras de Purkinje, ele é transmitido através da massa muscular ventricular, pelas próprias fibras musculares ventriculares em velocidades mais baixas.

Efeitos da estimulação parassimpática (Vagal)

A estimulação parassimpática faz com que a acetilcolina seja liberada nas terminações vagais, causando dois grandes efeitos no coração. Primeiro, diminui a frequência rítmica do nó sinusal e, segundo, diminui a excitação das fibras juncionais atrioventriculares, entre a musculatura atrial e o nó atrioventricular, lentificando assim a transmissão do impulso cardíaco para os ventrículos.

A estimulação vagal leve ou moderada reduz a frequência até a metade do normal; no entanto, a estimulação intensa pode interromper completa-

mente a excitação rítmica do nó sinusal ou bloquear a transmissão do impulso cardíaco através da junção atrioventricular. Em ambos os casos, os estímulos deixam de ser transmitidos para os ventrículos. Com isso, algumas fibras de Purkinje, normalmente da porção septal ventricular do feixe atrioventricular, desenvolvem ritmo próprio, conhecido como escape ventricular, e provocam contração ventricular com frequências menores, em torno de 15 a 40 batimentos por minuto.

Efeitos da estimulação simpática

No geral, a estimulação simpática provoca os efeitos opostos aos da estimulação vagal no coração, levando ao aumento da frequência cardíaca, aumento na velocidade de condução do impulso e aumento da excitabilidade em todas as regiões do coração, levando ao aumento da contratilidade miocárdica.

A estimulação máxima pode quase triplicar a frequência dos batimentos e pode duplicar a força contrátil miocárdica.

Ciclo cardíaco

O ciclo cardíaco compreende todos os eventos elétricos, mecânicos, sonoros e de fluxo sanguíneo que ocorrem durante o batimento cardíaco.

A sístole fisiológica inicia-se no período do início da contração do ventrículo (contração isovolumétrica) quando a pressão do ventrículo esquerdo excede a pressão atrial até o pico da fase de ejeção. A sístole cardiológica, por sua vez, começa no fechamento da valva mitral, que ocorre quase simultaneamente à sístole fisiológica, e vai até o fechamento da valva aórtica. Portanto, a sístole cardiológica inicia-se fracionalmente mais tarde do que a sístole fisiológica, terminal significativamente mais tarde, mas é mais alinhada com o tempo de ejeção.

A diástole fisiológica tem início quando a pressão do VE começa a cair. Nesse período, o cálcio é transportado novamente para o interior do retículo sarcoplasmático, de forma que o relaxamento do miócito domina sobre a contração, e a pressão do VE começa a diminuir. A diástole cardiológica

corresponde ao período após o fechamento da valva aórtica até antes do fechamento da valva mitral.

Regulação da função cardíaca

Débito cardíaco e mecanismos regulatórios

O débito cardíaco é a quantidade de sangue bombeada pelo coração para a aorta a cada minuto. O débito cardíaco basal de uma pessoa em repouso é em torno de 4 a 6 litros de sangue por minuto. Durante qualquer esforço e aumento de demanda do músculo cardíaco, esse valor pode ser alterado por meio de alguns mecanismos pelos quais o volume de sangue é regulado.

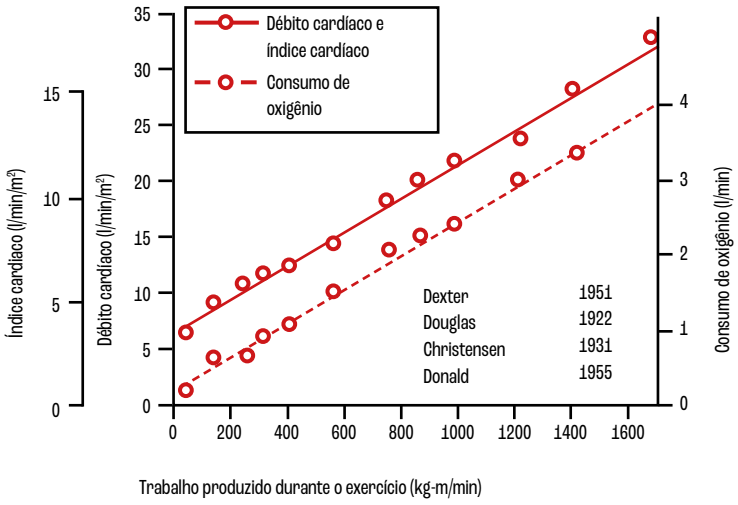
Acredita-se que o débito cardíaco varie proporcionalmente à área de superfície corporal, por esse motivo, frequentemente utiliza-se o termo índice cardíaco, que é o débito cardíaco por metro quadrado de área de superfície corporal. A quantidade de sangue que é ejetada pelo coração em cada batimento cardíaco (volume sistólico) e o número de batimentos por minuto (frequência cardíaca) são diretamente proporcionais ao débito cardíaco.

Débito cardíaco = Volume sistólico x Frequência cardíaca

O volume sistólico pode ser alterado por 3 fatores: pré-carga, contratilidade e pós-carga. Neste sentido, a contratilidade miocárdica é modulada por mecanismos intrínsecos e extrínsecos da regulação cardíaca que serão abordados mais adiante.

A pré-carga é a força ou carga exercida no miocárdio no final da diástole (estiramento da fibra), estando relacionada diretamente ao retorno venoso e consequentemente à pressão diastólica final do ventrículo. Sendo assim, a volemia do indivíduo é um importante fator nesse processo. A regulação do débito cardíaco, então, acaba sendo uma soma de todas as regulações dos fluxos sanguíneos locais, que determinam assim, o retorno venoso para o miocárdio. Conforme a demanda e consumo de oxigênio de cada tecido aumenta, ocorre consequentemente o aumento do fluxo sanguíneo tecidual, do retorno venoso e do débito cardíaco, conforme figura abaixo (Figura 1.2).

Figura 1.2 Representação gráfica do índice cardíaco em resposta ao trabalho produzido durante o exercício.



Fonte: Guyton, AC. e HALL JE. Tratado de fisiologia médica

Além do retorno venoso, outro fator importante para o controle do débito cardíaco é a resistência vascular (pulmonar ou sistêmica), que determina a impedância ou resistência que os ventrículos sofrem, interferindo assim na pós-carga do coração. Quando ocorre o aumento da resistência periférica total, o débito cardíaco cai; inversamente, quando a resistência periférica cai, o débito cardíaco aumenta. Além disso, o volume e a massa de sangue ejetados, bem como o tamanho e a espessura das paredes dos ventrículos, também podem interferir na pós-carga. No que se refere à resistência gerada pela própria parede ventricular, a partir da Lei de Laplace definida por:

Força = pressão x raio / espessura x2

Podemos definir que a força é diretamente proporcional ao tamanho da cavidade e inversamente proporcional à espessura da parede.

Outros mecanismos regulatórios, que não dependem da autorregulação cardíaca, conhecidos como mecanismos extrínsecos, também são de fundamental importância na manutenção da pressão arterial sistêmica e manutenção do débito cardíaco.

Mecanismos intrínsecos (autorregulação)

Mecanismo de Frank-Starling

O mecanismo cardíaco de Frank-Starling estabelece que a capacidade que o músculo cardíaco tem de se adaptar ao volume variável de sangue que retorna pelas veias até o átrio direito para bombear novamente pelas artérias depende da distensão do músculo cardíaco durante seu enchimento, ou seja, do comprimento diastólico do sarcômero. Quanto maior for, maior será a força de contração e quantidade de sangue ejetado para a circulação sistêmica.

Este mecanismo, característico de todos os músculos estriados, e não somente do miocárdio, ocorre porque com a distensão da fibra muscular ao seu comprimento máximo, os filamentos de actina e miosina são trazidos a um grau de interdigitação mais próximos do ótimo para geração de força, além de ocorrer aumento na sensibilidade de miofilamentos ao cálcio.

No entanto, existe um "limite" fisiológico para o estiramento das fibras miocárdicas, controlado pela titina. Sua estrutura possui uma parte dobrada que funciona como "mola", permitindo um incremento na força de contração da sístole seguinte. A partir do momento em que o comprimento ultrapassa esse limite, valores maiores determinam queda do volume ejetado, uma vez que parte da energia gasta na contração muscular acaba sendo utilizada para vencer a tensão aumentada da parede do ventrículo esquerdo.

Efeito de Bodwit

O efeito de Bodwith (relação força-frequência) descreve o aumento da força de contração muscular frente ao aumento da frequência cardíaca, que pode ser explicado pela elevação do número de potenciais de ação, aumento de cálcio intracelular e consequentemente da contratilidade miocárdica.

Distensão da parede atrial

Outro mecanismo que interfere na contratilidade miocárdica está relacionado à distensão e contração atrial, que é responsável por aumentar em torno de 10 a 20% do débito cardíaco. O estiramento do nó sinusal na

parede do átrio direito, a partir da distensão atrial, inicia um reflexo nervoso chamado de reflexo de Bainbridge, que após estimular o centro vasomotor do cérebro, volta ao coração pelos nervos simpáticos e vagais, aumentando também a frequência cardíaca.

Mecanismos extrínsecos

Efeito da estimulação simpática e parassimpática sobre o ritmo cardíaco.

Um dos mecanismos adaptativos mais importantes a fim de manter a homeostase cardiovascular é a ativação do sistema nervoso autônomo simpático, que ocorre de forma precoce. O sistema nervoso autônomo interfere na modulação da contratilidade miocárdica, a partir da estimulação de receptores agonistas beta adrenérgicos existentes na membrana dos cardiomiócitos.

Essa estimulação ocorre especificamente nos receptores beta-1 que aumentam a entrada do cálcio disponível no citoplasma para dentro do cardiomiócito, utilizando o AMP cíclico como segundo mensageiro, a partir do aumento da entrada de Ca++ pelos canais L, aumento da atividade da SERCA a partir da fosforilação da Fosfolambam e do aumento da liberação de Ca++ pelo retículo sarcoplasmático pela rianodina.

Dessa forma, o sistema nervoso autônomo atua modulando a resistência vascular sistêmica, o inotropismo e a frequência cardíaca, a partir da estimulação para produção de catecolaminas endógenas (adrenalina e noradrenalina), que atuam tanto em receptores alfa (alfa 1 e alfa 2) quanto em receptores beta.

Os receptores alfa 1 estão associados à proteína GQ e promovem ativação da Fosfolipase C e do trifosfato de inositol (IP3). Esses mediadores produzem efeitos por meio do aumento intracelular de Ca++, que resulta na maior contração do músculo liso dos vasos sanguíneos (aumento na pós-carga).

Os receptores alfa 2, por outro lado, associam-se à proteína Gi, resultando em inibição da adenilato ciclase que determina redução AMPc, do Ca+ intracelular e maior relaxamento do músculo liso (redução da pós-carga).

Os receptores beta, particularmente os receptores beta 1, estão associados à proteína G e aumentam o Ca++ intracelular, pois também aumentam o AMPc, levando ao aumento da contratilidade (aumento do inotropismo), além de aumento da frequência cardíaca.

O sistema nervoso autônomo parassimpático, por sua vez, estimula a produção de acetilcolina, que se liga aos receptores muscarínicos (M1 a M5).

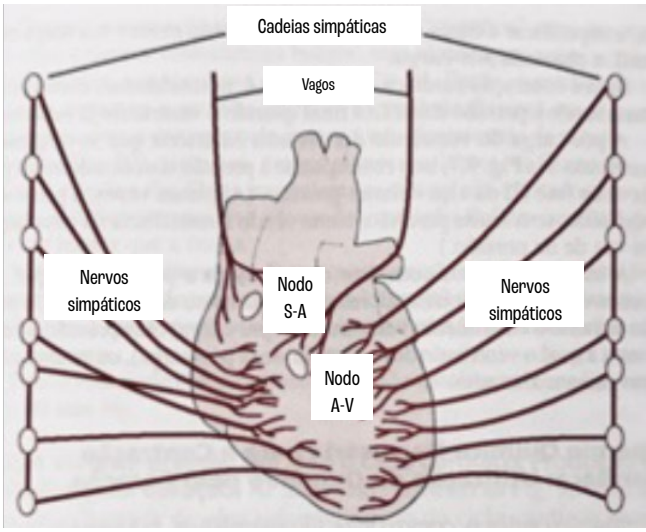
Os receptores muscarínos M2 associam-se à proteína Gi, que atua inibindo a adenilato ciclase, portanto, reduzindo a contratilidade a partir da redução do cálcio intracelular. Como a inervação vagal é maior no nó sinusal e atrioventricular, a ativação destes receptores reduz a frequência cardíaca (redução do inotropismo e da frequência cardíaca).

Já os receptores muscarínicos M3 utilizam o trifosfato de inositol (IP3), o diacilglicerol (DAG) e o GMPc como segundos mensageiros e promovem vasodilatação (redução da pós carga).

A estimulação simpática é responsável pelo aumento da frequência cardíaca, agindo diretamente no débito cardíaco a partir do aumento de força na contração cardíaca, do volume sistólico e pressão de ejeção. Em contrapartida, a inibição do sistema nervoso simpático reduz tanto a frequência cardíaca quanto a contratilidade.

Quando ocorre estimulação vagal intensa, os batimentos do coração podem ser interrompidos por alguns segundos, até que o coração apresente um ritmo de escape com frequência em torno de 20-40 bpm. Isso pode fazer com que ocorra uma queda na contratilidade e no débito cardíaco. Como as fibras vagais estão mais localizadas nos átrios do que nos ventrículos (Figura 1.3), a estimulação vagal está mais relacionada à queda de frequência cardíaca do que propriamente com a redução da contratilidade.

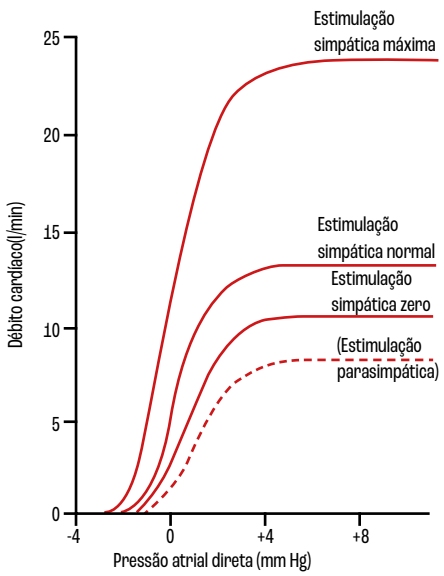
Figura 1.3. **Nervos do coração.**



Fonte: Guyton, AC. e HALL JE. Tratado de fisiologia médica

As curvas da figura abaixo (Figura 4) demonstram que, de acordo com a pressão atrial direita, o débito cardíaco aumenta com a estimulação simpática máxima e diminui com o aumento da estimulação parassimpática, mostrando como a frequência cardíaca exibe importante expressão no débito cardíaco.

Figura 1.4. **Débito cardíaco de acordo com a pressão atrial direita a partir de estimulação simpática e parassimpática.**



Fonte: Guyton, AC. e HALL JE. Tratado de fisiologia médica

Efeito da temperatura

Tanto o aumento como a redução da temperatura podem interferir na contratilidade miocárdica, pois interferem diretamente na frequência cardíaca, que aumenta em vigência de temperaturas elevadas e diminui frente à hipotermia. Isso ocorre porque o calor aumenta a permeabilidade iônica da membrana do músculo cardíaco, resultando na aceleração do processo de autoexcitação. Inicialmente, o aumento da temperatura pode aumentar a contratilidade miocárdica, porém a manutenção de elevadas temperaturas pode exaurir os sistemas metabólicos do coração, podendo levar à depressão miocárdica.

Regulação da pressão arterial

A pressão arterial é determinada pelo produto do débito cardíaco e da resistência vascular periférica, sendo o resultado da força que o miocárdio exerce sobre as paredes das artérias durante o ciclo cardíaco. Os valores normais da pressão arterial são determinados pela complexa interação dos sistemas nervoso, humoral, cardiovascular e renal. Distúrbios nesses sistemas e de seus mecanismos reguladores podem alterar a pressão arterial e causar problemas, como a hipertensão.

Barorreceptores

Um dos mais importantes mecanismos de controle da pressão arterial, que respondem com extrema rapidez à mudança desta variável, ocorre a partir da estimulação de barorreceptores, que transmitem um sinal ao sistema nervoso central. Como resposta, sinais de feedback negativo são enviados via sistema nervoso autônomo para normalização da pressão arterial, buscando o retorno a valores normais.

Os barorreceptores são terminais nervosos localizados na parede das grandes artérias sistêmicas, e quando estirados, frente ao aumento da pressão arterial, são estimulados. São extremamente abundantes na artéria carótida interna, pouco acima da bifurcação carotídea (seio carotídeo), e na parede do arco aórtico. Os sinais transmitidos a partir do seio carotídeo percorrem o nervo de Hering até o nervo glossofaríngeo, e então para a área bulbar do tronco cerebral. Já os sinais

provenientes do arco aórtico são transmitidos através do nervo vago.

Com isso, sinais secundários inibem o centro vasoconstritor do bulbo e excitam o centro parassimpático vagal, tendo como consequência a vasodilatação das veias e arteríolas e de todo o sistema circulatório periférico, e a diminuição da frequência cardíaca e da força de contração cardíaca.

Quimiorreceptores

Os quimiorreceptores são células quimiossensíveis sensíveis à falta de oxigênio, ao excesso de dióxido de carbono ou ao excesso de íons de hidrogênio. Localizam-se na artéria carótida comum e na aorta. Por estarem intimamente relacionados ao fluxo de sangue arterial, a queda da pressão arterial ativa os quimiorreceptores tanto pela baixa oferta de oxigênio, como pelo acúmulo excessivo de dióxido de carbono e íons de hidrogênio, que ocorrem em consequência da queda da pressão arterial e do fluxo sanguíneo lentificado.

Os quimiorreceptores levam à excitação das fibras nervosas, que juntamente com as fibras do barorreceptores, passam pelos nervos de Hering e pelos nervos vagos até o centro motor do tronco cerebral.

Sistema renina-angiotensina-aldosterona (SRAA)

Com uma ativação um pouco mais tardia que o sistema nervoso autônomo, o SRAA é ativado a partir do hipofluxo renal, diminuição de sódio filtrado que chega na mácula densa do túbulo distal e aumento da estimulação simpática do rim, levando ao aumento na liberação de renina pelo aparelho justaglomerular.

A renina converte o angiotensinogênio em angiotensina I e esta serve de substrato para que a enzima conversora de angiotensina catalise a formação de angiotensina II. A angiotensina II, por sua vez, estimula a produção de aldosterona pelas glândulas suprarrenais. A angiotensina II atua a partir de sua ligação aos receptores acoplados à proteína G denominados AT1 e AT2. A ativação do receptor AT1 (principalmente relacionado à vasculatura) promove vasoconstrição, crescimento celular, secreção de aldosterona e liberação de catecolaminas. Já os receptores AT2, que predominam no miocárdio, promovem vasodilatação, inibição do crescimento celular, natriurese e liberação de bradicinina.

A aldosterona produzida no córtex das adrenais aumenta a reabsorção de sódio, sobretudo nos túbulos coletores corticais, levando ao consequente aumento na reabsorção de água e excreção de potássio.

Vasopressina

A vasopressina é produzida nos núcleos supraópticos e paraventriculares do hipotálamo, e através do trato hipotalâmico-hipofisário conduz este peptídeo até a neuro-hipófise, de onde é secretado. Em indivíduos saudáveis, o aumento da osmolaridade sanguínea promove sua liberação para que ocorra a vasoconstrição e retenção hídrica, de forma que a concentração plasmática retorne aos níveis normais. Após sua secreção, sua ação é definida a partir do receptor ativado: V1a, V1b e V2, cada um com sua ação específica. Os receptores V1a são mais frequentemente encontrados na musculatura lisa dos vasos sanguíneos e promovem a vasoconstrição destes, além de estarem relacionados à agregação plaquetária e produção de fatores de crescimento locais. Os receptores V1b são encontrados no sistema nervoso central e são responsáveis pela modulação do ACTH pela adeno-hipófise. Os receptores V2 estão presentes nas células epiteliais do ducto coletor, mediando efeitos antidiuréticos e levando à retenção hídrica e consequente hiponatremia.

Outras substâncias vasoativas

Existem outras substâncias produzidas pelo organismo que participam da regulação da pressão arterial. A seguir destacaremos algumas destas substâncias.

Óxido nítrico

O óxido nítrico é sintetizado a partir da L-arginina e do O2 molecular, mediado pela enzima NO sintetase (NOS), podendo apresentar-se em três diferentes isoformas: neuronal, induzível e endotelial, estando essas três isoformas presentes no coração.

O óxido nítrico atua na ativação da guanilato ciclase solúvel, aumentan-

do a produção de GMPc, que por sua vez ativa a proteína quinase G e uma cascata de sinalização diferentes, entre eles a redução da concentração de cálcio intracelular e o relaxamento da musculatura lisa dos vasos.

Existe uma quantidade fisiológica de NO em indivíduos saudáveis, através do equilíbrio em sua produção. Em situações patológicas, como choque séptico ou cardiogênico, pode ocorrer uma produção excessiva de NO pela enzima indutível, tornando-se deletério para o organismo.

Peptídeos natriuréticos cardíacos

Os peptídeos natriuréticos são formados por um conjunto de 5 moléculas similares estruturalmente conhecidos como ANP, Urodilatina (isoforma do ANP), BNP, CNP e DNP. Tanto o ANP quanto o BNP são produzidos em resposta ao aumento da tensão das paredes cardíacas, no entanto, fatores neuro-humorais e fisiológicos podem também desempenhar um papel na sua regulação.

O ANP é secretado em pulsos curtos em resposta a alterações agudas da pressão arterial, enquanto a ativação do BNP é regulada em resposta ao aumento crônico da pressão arterial e ventricular.

Os peptídeos natriuréticos estimulam a produção intracelular do segundo mensageiro GMPc através da ligação ao peptídeo natriurético ao seu receptor, levando à natriurese, relaxamento ventricular, inibição da secreção de renina e aldosterona, inibição da fibrose e aumento da capacidade de relaxamento ventricular.

Bradicinina

As bradicininas são vasodilatadores formados a partir de quininogênios. Sua ativação ocorre por meio da ação de enzimas proteolíticas denominadas calicreínas. As ações biológicas das cininas são definidas a partir da ligação com seus receptores, B1 ou B2. A maioria das ações cardiovasculares está relacionada aos receptores B2, responsáveis pela vasodilatação.

Endotelina

É um mediador químico produzido pelas células endoteliais com grande capacidade de vasoconstrição. Os receptores de endotelina tipo A promovem vasoconstrição, proliferação celular e hipertrofia ventricular patológica, fibrose e aumento da contratilidade, enquanto os receptores de endotelina tipo B estão relacionados à depuração da endotelina tipo 1, a liberação de NO e prostaciclina.

Rins

O sistema renal atua no controle da pressão arterial. Um dos mecanismos ativados pelo sistema neuro-humoral é a retenção de sódio e água pelos rins, que ocorre pela menor perfusão renal e/ou aumento da pressão venosa renal, favorecendo a transudação de sal e de água a partir do intravascular para o compartimento extravascular.

Estudos apontam que o aumento na ingestão de sal tem muito mais probabilidade de elevar a pressão arterial do que o aumento da ingestão de água. A razão disso é que a água pura é, normalmente, excretada pelos rins quase tão rapidamente quanto é ingerida, enquanto o sal não é excretado com tanta facilidade. Sendo assim, a quantidade de sal que se acumula no organismo constitui o principal determinante do volume de líquido extracelular. Como pequenos aumentos do líquido extracelular e do volume sanguíneo podem, frequentemente, elevar de maneira acentuada a pressão arterial, o acúmulo de quantidade adicional de sal no organismo, até mesmo pequena e quase indetectável, pode resultar em elevação considerável da pressão arterial.

Neste sentido, os determinantes primários do nível de pressão arterial a longo prazo, que trabalham a fim de manter o nível médio da pressão, buscam um equilíbrio entre a quantidade de excreção renal de água e de sal em direção à determinada pressão, bem como o nível de ingestão de água e de sal.

Fisiologia respiratória

Nos próximos tópicos, revisaremos as estruturas que compõem o sistema respiratório, bem como suas funções. A principal função do sistema

respiratório é realizar a troca gasosa de oxigênio e dióxido de carbono. Para isso, dois processos essenciais precisam ocorrer: ventilação, que representa o influxo e efluxo de ar entre a atmosfera e o alvéolo, e a própria troca gasosa no espaço alvéolo-capilar.

Aspectos estruturais

O sistema respiratório é constituído pelo nariz, faringe, laringe, traqueia, brônquios e pulmões. Além de destas estruturas, a pleura visceral cobre a superfície dos pulmões, enquanto a pleura parietal cobre o mediastino, o diafragma e a parede torácica.

Os pulmões contêm a árvore brônquica, as ramificações das vias aéreas dos brônquios primários até os bronquíolos terminais. A zona respiratória dos pulmões é a região que abrange os bronquíolos respiratórios e os alvéolos, que são pequenos sacos formados por células epiteliais achatadas (tecido epitelial pavimentoso) e cobertos por capilares sanguíneos, no final dos menores bronquíolos. É o local onde ocorre a hematose pulmonar, a troca de oxigênio e dióxido de carbono entre o meio ambiente e o organismo, através da membrana alvéolo-capilar, que separa o ar do sangue.

Mecânica ventilatória

A ventilação é o movimento repetitivo de entrada e saída do ar quando a troca gasosa ocorre na interface alvéolo-capilar. O funcionamento adequado desse simples processo é necessário e sua falha pode levar à hipoxemia e/ou hipercapnia, com consequente insuficiência respiratória.

A respiração ocorre com a inspiração e a expiração. A inspiração, que ocorre através da contração do diafragma e dos músculos intercostais, proporciona a entrada de ar para a zona de troca gasosa dos pulmões. A expiração, que acontece através do relaxamento do diafragma e dos músculos intercostais, proporciona a saída de ar do organismo. De forma mais detalhada, na inspiração ocorre contração dos músculos inspiratórios, expansão torácica em todos os sentidos, diminuição da pressão alveolar com consequente entrada (Fluxo) do ar para os pulmões. Já na expiração ocor-

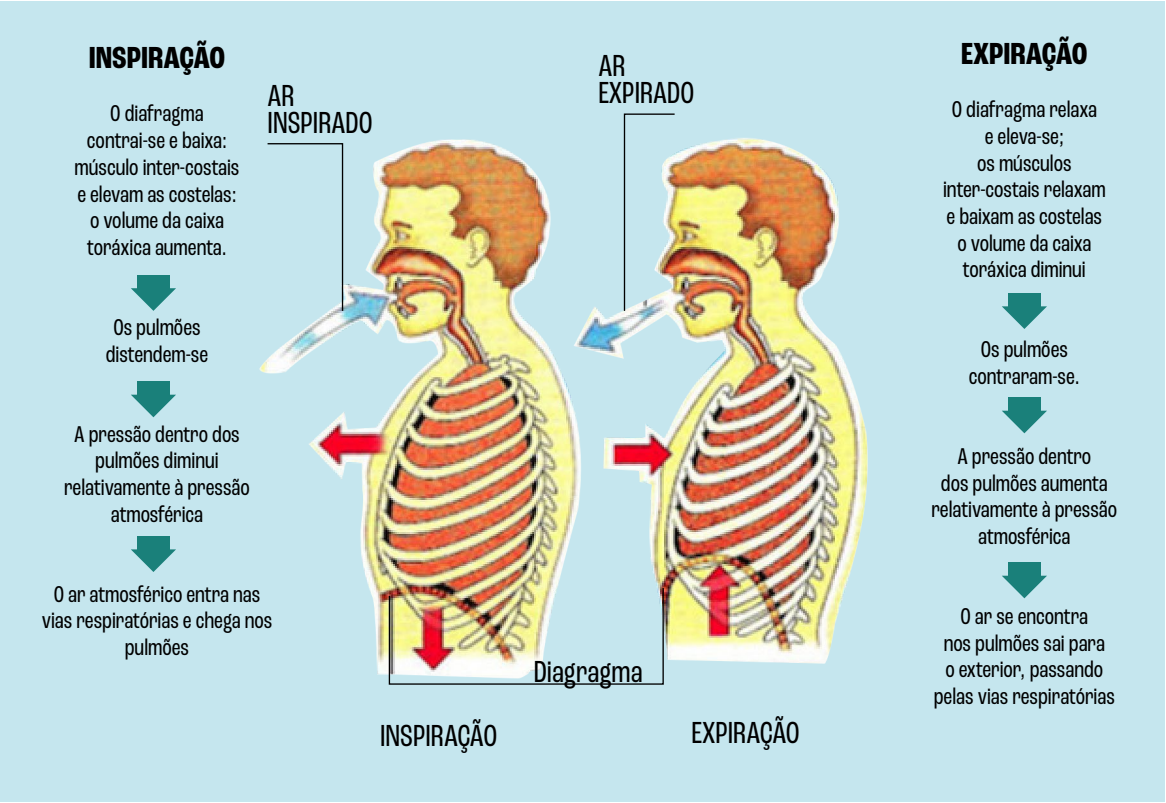
re relaxamento dos músculos inspiratórios, retração do tórax, aumento da pressão alveolar com consequente saída de ar para o ambiente (Figura 1.5).

O processo cíclico de respiração envolve trabalho mecânico por parte dos músculos respiratórios para vencer forças de oposição, quais sejam: 1) Forças elásticas (complacência pulmonar e da caixa torácica) e 2) Forças resistivas (vias aéreas).

Os pulmões têm movimentos passivos, sempre dependentes de forças externas. Na respiração espontânea, os músculos respiratórios geram a força capaz de levar o ar aos pulmões. Na respiração artificial, uma máquina gera a diferença de pressão entre o sistema de ventilação e a via aérea, fazendo com que o ar chegue ao alvéolo pulmonar. Em ambos os casos o fenômeno físico do movimento pulmonar, fazendo com que o pulmão receba ou libere um certo volume de gás, é influenciado pela impedância do sistema respiratório. Esta impedância se desenvolve em função da resistência elástica dos tecidos, da interface gás/líquido do alvéolo e do atrito entre a parede da via aérea e o fluxo de ar. Fontes menores de impedância (desprezíveis) são a inércia dos gases e dos tecidos e a fricção da deformação tecidual.

Devido à sua estrutura elástica, os pulmões são capazes de sofrer variações de volume de acordo com a tensão exercida sobre sua massa tecidual. As variações de volume relacionadas às variações de pressão exercidas são conhecidas como complacência. Elastância é a recíproca da complacência. O pulmão rígido tem baixa complacência, expressa em mililitros por centímetros de água ou quilo pascal. O pulmão rígido tem alta elastância, expressa em centímetros de água ou quilo pascal por mililitro. Vale destacar que o pulmão tem na estrutura alveolar, especialmente no revestimento interno, a base para o seu mecanismo de retração elástica.

Figura 1.5. **Mecânica ventilatória, destacando principais ações durante a inspiração e expiração.**



Fonte: http://educacao.globo.com/biologia/assunto/fisiologia-humana/respiracao.html

Além disso, a massa fluida que reveste a superfície interna do alvéolo, sendo um material ativo de superfície, recebe o nome de surfactante e exerce influência nas forças que determinam a mecânica pulmonar. É constituído por fosfolipídios que têm 4 núcleos químicos básicos: ácido graxo, glicerol, fosfato e base nitrogenada. Os ácidos graxos são hidrófobos e a base nitrogenada é hidrófila. Os ácidos graxos ficam em contato com o gás, enquanto a base fica no meio aquoso. O surfactante favorece o aumento da complacência pulmonar, evita colapso alveolar e reduz o extravasamento de fluido dos capilares pulmonares.

É importante destacar que o surfactante opõe resistência à transudação (passagem de água do capilar para o alvéolo) e sua ausência facilita o edema pulmonar.

Diferenças regionais de ventilação

A ventilação não é distribuída equitativamente em todos os alvéolos pulmonares. Os que oferecem maior resistência recebem menor volume na unidade de tempo. A localização do alvéolo também é um fator determinante em sua ventilação. É um conceito clássico que os alvéolos da parte superior do pulmão são menos ventilados do que os da parte inferior. Com o indivíduo na posição vertical (em pé ou sentado), a base do pulmão recebe maior volume de ar do que o ápice. Da mesma forma, a base também recebe maior volume de sangue do que o ápice. Entretanto, a diferença entre o volume de sangue da base e do ápice é muito menor do que a diferença de volume de ar da base para o ápice. Por este motivo, diz-se que o ápice é mais ventilado do que perfundido, ou, melhor explicando, da base para o ápice, o pulmão se torna mais ventilado do que perfundido.

O fenômeno da distribuição preferencial da ventilação para a base tem algumas explicações. A primeira delas é a gravidade, mesmo o gás tendo um menor peso por volume, também sofre a ação da gravidade. A segunda explicação é que a base mantém um maior volume de gás após a expiração (volume residual), provavelmente devido ao fechamento da via aérea antes do final da expiração (volume de oclusão), por influência da pressão pleural menos negativa em relação à atmosfera na parte inferior do pulmão, estabelecendo menor gradiente de pressão transmural que exerce maior estímulo nos bronquíolos terminais para que efetuem o fechamento aparentemente precoce. Sendo a base do pulmão mais ventilada e mais perfundida, realiza maior volume das trocas gasosas e por isso suas alterações causam maiores repercussões sobre outras funções vitais do organismo como um todo.

É descrito que em virtude de o homem permanecer a maior parte do tempo na posição ereta (em pé ou sentado), por ação da gravidade os tecidos pulmonares se dirigem mais para baixo. Então, na base, há um número maior de unidades alvéolo-capilares funcionantes.

Propriedades elásticas da parede torácica

A caixa torácica é constituída de uma estrutura com propriedades elásticas, devido à distribuição das costelas, com espaços intercostais amplos, e à presença de tecidos elásticos como músculos, pleuras e fáscias de tecido conjuntivo. Devido à sua elasticidade, durante a inspiração, a caixa torácica aumenta os diâmetros torácicos vertical, anteroposterior e lateral, inflando os pulmões. O fluxo de ar do meio ambiente, a partir da boca e do nariz, se dirige até o alvéolo, devido ao gradiente de pressão transmural e à diferença entre a pressão alveolar e a pressão intratorácica (pleural).

Durante a expiração, os diâmetros torácicos diminuem, o gradiente de pressão transmural também reduz e o gradiente de pressão boca-alvéolo se inverte. Então, o fluxo passa a ser do alvéolo para a boca. Há situações clínicas em que a elasticidade da caixa torácica pode estar diminuída. Estas estão geralmente relacionadas com doenças osteomusculares ou neuromusculares. As osteomusculares são encontradas nas calcificações das articulações costovertebrais, costoesternais e em grandes deformidades torácicas. As neuromusculares são as neuromiopatias, geralmente congênitas, que dificultam a contração muscular.

A complacência da caixa torácica pode ser medida por vários métodos utilizando a relação volume/pressão. O volume corrente pode ser utilizado como o volume, e a diferença entre a pressão intrapleural e a ambiente como a pressão. Pode ser usado o método da impedância, que mede a variação de volume do tórax, na inspiração e em repouso, dividindo o valor pela diferença das pressões pleural e ambiente. A pressão intrapleural pode ser dita como o valor medido da pressão esofágica.

A complacência pulmonar do recém-nascido é semelhante à do adulto quando comparadas em valores relativos (complacência/capacidade residual funcional). Entretanto, a complacência da caixa torácica é bem maior no recém-nascido (0,58 ml/cmH2O/L) do que no adulto (0,07 ml/cmH2O/L). Isto ocorre, certamente, devido à estrutura tecidual do tórax do recém-nascido.

O esqueleto é muito cartilaginoso, as articulações ainda em formação facilitam bastante os movimentos, os tecidos musculares e subcutâneos

pouco desenvolvidos não exercem muito peso sobre o gradil costal. Estas condições são bem diferentes das do adulto, que tem esqueleto de consistência mais rígida, musculatura torácica e tecido subcutâneo mais abundantes. Obviamente, no recém-nascido, ao inflar os pulmões é mais fácil movimentar seu tórax e alterar seu volume. Por esta razão, a complacência e a elastância da caixa torácica são mais elevadas.

Resistência das vias aéreas

Ao receber o fluxo de ar pelas vias aéreas, o pulmão infla, se deforma e altera seu volume. Isto é a impedância pulmonar. A resistência devido à impedância, ou seja, a resistência imposta ao fluxo de ar decorrente da deformação tecidual do pulmão, somada à resistência das vias aéreas, eram conhecidas anteriormente como resistência pulmonar. Posteriormente, a resistência pulmonar foi separada em resistência das vias aéreas e resistência dos tecidos pulmonares, esta última já descrita acima como complacência e elastância pulmonares.

Deve ser esclarecido que existem também como resistência pulmonar, no conceito amplo, a inércia tecidual que é a resistência não elástica e a inércia do gás. Apenas em situações especiais de doença pulmonar a inércia tecidual pode ser considerada. Da mesma forma, a inércia do gás necessita também de condições especiais da árvore traqueobrônquica que modifiquem as características do fluxo de gás para alterar sua distribuição molecular, interferindo então com a inércia. O gás flui de uma área de maior pressão para outra de menor pressão.

A diferença de pressão entre duas áreas ou regiões é diretamente proporcional ao fluxo, ou seja, o fluxo é dependente da diferença de pressão. A relação precisa entre o fluxo e a diferença de pressão depende da natureza do fluxo. Este pode ser laminar, turbulento ou misto. Isto depende da organização e movimento molecular dos gases. Na via aérea há vários tipos de fluxo descritos. No fluxo laminar, por exemplo, o gás flui em um tubo reto, sem ramificações, como se fosse uma série de cilindros concêntricos, sendo que o cilindro central se movimenta mais rapidamente.

Isto significa que no fluxo laminar o gás flui mais rápido na parte central do tubo enquanto, nas partes mais externas ele é mais lento, por sofrer a resistência do atrito com a parede do tubo.

Os músculos respiratórios não são aderidos à superfície dos alvéolos para tracioná-los, portanto, os alvéolos não se expandem por conta própria. Os alvéolos se expandem passivamente em resposta a aumentos da pressão de distensão através da parede pulmonar. A alteração de volume dos pulmões depende do gradiente de pressão transmural (pressão transpulmonar) gerado pelos músculos da inspiração. Neste sentido, a resistência das vias aéreas é normalmente baixa, porém estímulos nervosos e fatores químicos podem mudar o diâmetro dos bronquíolos, alterando a resistência e o fluxo de ar. Portanto, a distensibilidade pulmonar é normalmente alta devido ao componente elástico do tecido pulmonar e à habilidade do surfactante em reduzir a tensão superficial do líquido alveolar.

Aumento na resistência da via aérea

De acordo com Nunn, há quatro graus de resistência da via aérea bem definidos:

- **Grau 1:** Resistência Leve, é aquela contra a qual o paciente pode manter a ventilação alveolar normal indefinidamente;
- **Grau 2:** Resistência Moderada, é aquela contra a qual o paciente necessita desenvolver maior esforço para respirar, a fim de manter a ventilação alveolar. Dispnéia é observada. Os gases sanguíneos são mantidos em valores normais;
- **Grau 3:** Resistência Grave, é aquela contra a qual nenhum paciente é capaz de preservar sua ventilação alveolar. A PaCO2 é aumentada e há redução significativa na PaO2;
- **Grau 4:** Obstrução Respiratória, é aquela na qual a resistência respiratória está aumentada de tal forma que é incompatível com a vida.

Entre as causas de aumento na resistência da via aérea, para sistemas biológicos como a condutância de gases em tubos, é importante saber que, de um modo geral, a obstrução ou redução do diâmetro do tubo pode ocorrer por: 1) material dentro do lúmen; 2) estreitamento ou contração da parede do tubo; 3) pressão externa ou sucção na passagem do gás. As causas descritas a seguir referem-se a situações anormais da via aérea e estão relacionadas com estas condições gerais mencionadas acima.

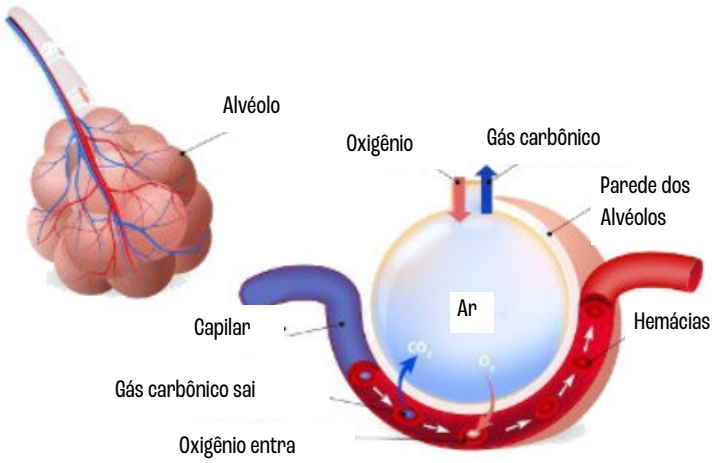
Trocas gasosas

As leis dos gases mostram a relação entre pressão parcial, solubilidade e concentração gasosa. Assim, os gases difundem através dos gradientes de pressão parcial, de regiões de alta pressão parcial para regiões de baixa pressão parcial.

A eficiência das trocas gasosas depende de vários fatores, incluindo a área de superfície, o gradiente de pressão parcial, o fluxo sanguíneo e o fluxo de ar. Durante a respiração externa, a relação ventilação-perfusão mantém o fluxo de ar e o fluxo sanguíneo em proporções próprias para trocas gasosas eficientes.

Vale lembrar que a hematose é o processo que acontece nos alvéolos pulmonares e garante que o sangue rico em gás carbônico seja oxigenado. O oxigênio que passa para o sangue entra nas hemácias e se liga à hemoglobina. Ao se ligar a ela, a oxi-hemoglobina é formada. Esta garante o transporte de oxigênio para as células. O sangue oxigenado segue em direção ao coração, onde será impulsionado. O gás oxigênio difunde-se para o sangue nos capilares sanguíneos ao seu redor e o gás carbônico, que está no sangue dos capilares, difunde-se para o interior dos alvéolos. Portanto, o oxigênio e o gás carbônico passam entre alvéolos e capilares pulmonares por difusão, através da membrana respiratória (fina) (Figura 1.6).

Figura 1.6. **Trocas gasosas, destacando íntimo contato da estrutura alvéolo-capilar pulmonar para troca de oxigênio e dióxido de carbono.**



Fonte: https://brasilescola.uol.com.br/biologia/hematose.htm

Desta forma, a respiração é o conjunto de processos de troca do organismo com o ambiente externo que permite a obtenção de gás oxigênio (O_2) e a eliminação do dióxido de carbônico (CO_2). Trocas gasosas ocorrem principalmente nos alvéolos: ocorrem por difusão simples, gases difundem-se de áreas de alta pressão para as de baixa pressão A difusão dos gases depende do seu coeficiente de solubilidade (pressão, solubilidade e temperatura).

Transporte de O_2 /Co_2 pelo sangue

O oxigênio é transportado por dois caminhos: dissolvido no plasma ligado à hemoglobina, como oxihemoglobina (HbO_2). O oxigênio tem baixa solubilidade em soluções aquosas, por isso a maior parte é carregada pela hemoglobina. Há pouco oxigênio no plasma, sendo que 95% a 100% é a porcentagem de saturação da hemoglobina em oxigênio - oxihemoglobina: HbO_2. Nas células, a hemoglobina libera seu oxigênio. A saturação da hemoglobina por O_2 é afetada por: PO_2, pH, temperatura, PCO_2, 2,3-difosforoglicerato, sendo este efeito denominado Efeito Bohr.

O CO_2 é transportado por três caminhos: dissolvido no plasma, ligado à hemoglobina como carboxihemoglobina ($HbCO_2$), e convertido em íons bicarbonato, que é transportado pelo plasma.

O transporte de O_2 facilita a liberação de CO_2 pela hemoglobina. Isto é conhecido como Efeito Haldane. O transporte de CO_2,, através da formação de íons hidrogênio, facilita a liberação de O_2 pela hemoglobina.

Controle da respiração

A respiração é realizada pela contração e relaxamento da musculatura estriada envolvida neste processo, que tem um controle automático no sistema nervoso central. Até o início do século passado, imaginava-se que o cérebro tinha o comando do automatismo respiratório, quando surgiram os primeiros trabalhos experimentais que se notabilizaram pelas explicações da fisiologia respiratória, especialmente o controle nervoso central, com base nos resultados de estudos realizados em animais de laboratório.

O ritmo respiratório basal é mantido pelo centro respiratório, localizado no bulbo. Outros centros respiratórios, localizados no bulbo e ponte também controlam a respiração. Além disto, quimiorreceptores centrais e periféricos controlam a PCO_2, pH e PO_2 do sangue arterial e alteram o ritmo respiratório.

Vale destacar que o CO_2 refletido pelas mudanças no pH é o mais importante estímulo do controle respiratório, sendo em grande parte este controle exercido pela ativação dos quimiorreceptores centrais. Mudanças no pH por acidose metabólica também altera a ventilação. Além disto, reduções na pressão de oxigênio estimulam a respiração apenas quando a PO_2 sanguínea é muito baixa.

Controle central da respiração

Os centros respiratórios foram localizados através de estudos laboratoriais que evidenciaram modificações ou registraram atividade após estímulos. Desta forma, foram observadas quatro técnicas principais utilizadas nessas pesquisas: 1) remoção cirúrgica; 2) estímulo elétrico local em vários pontos dos órgãos encefálicos e registro da atividade respiratória; 3) registro da atividade espontânea com microeletrodos, procurando relacionar a atividade elétrica com alterações respiratórias; 4) pesquisa de potencial

evocado em pequenos grupos de células através de estímulos aferentes vagais ou de estruturas envolvidas na função respiratória. Atualmente, após inúmeros estudos realizados nesses dois últimos séculos, é conhecido um controle central do automatismo respiratório que funciona paralelamente ao controle voluntário. Ou seja, o indivíduo respira normalmente sem perceber e, a qualquer momento, pode assumir o controle voluntário da respiração. Desta forma, pode-se relacionar vários padrões respiratórios normais e anormais, voluntários e involuntários, alguns destes descritos a seguir.

- **Eupnéia:** ventilação normal, ciclos rítmicos, repetidos sem pausa, inspiração ativa e expiração passiva, mecanismo automático e involuntário.
- **Hiperpnéia:** ventilação aumentada, maior expansão pulmonar, com aumento do volume corrente, geralmente voluntária.
- **Taquipnéia:** aumento da frequência respiratória, geralmente involuntária.
- **Hipoventilação**: redução na ventilação alveolar, podendo ser de causa central, depressão dos centros respiratórios com alteração da frequência ou amplitude respiratória, geralmente involuntária.
- **Apnéia:** parada respiratória involuntária, em posição basal, ao final da expiração.
- **Apneuse:** parada respiratória involuntária na posição inspiratória.
- **Respiração Apnêustica:** apneuse interrompida por expiração, involuntária.
- **Respiração de Cheyne-Stokes:** ciclos respiratórios involuntários com aumento e diminuição gradativos do volume corrente.
- **Respiração de Biot:** respiração irregular com espasmos inspiratórios uniformes e profundos, seguidos de pausas.

O controle do automatismo respiratório é feito geralmente por via medular, com participação bulbar e modulação pontina. Atualmente, alguns

fisiologistas preferem chamar os centros respiratórios descritos no século passado e início deste século simplesmente de neurônios, denominando neurônios medulares, bulbares e pontinos. Assim, na medula há simplesmente um arco reflexo para alternar a inspiração e a expiração; no bulbo há os centros inspiratórios e expiratórios; e na ponte o centro apnêustico e o centro pneumotáxico.

O centro inspiratório inicia a inspiração imediatamente, parando a expiração que é passiva. O centro expiratório inibe o inspiratório e faz com que a expiração ocorra. O centro apnêustico é estimulado por alguns reflexos e pelo centro inspiratório para prolongar a inspiração, e é inibido pelo centro pneumotáxico e, eventualmente, pelos impulsos eferentes do reflexo de insuflação por via vagal. O centro pneumotáxico é modulador, não é um marcapasso. Ele modula e regulariza o ritmo respiratório automático, podendo inibir e estimular os centros bulbares inspiratório e expiratório, e o centro apnêustico.

Sensores

Existem sensores (receptores) respiratórios distribuídos em algumas partes do corpo. Eles geralmente estimulam a respiração quando ocorrem alterações fisiológicas importantes. São reconhecidos os sensores químicos, os de pressão, os de inflação e deflação, os de estiramento pulmonar, os dos fusos musculares e os dos estímulos das vias aéreas superiores.

Quimiorreceptores

Os sensores químicos, conhecidos como quimiorreceptores, são classificados como periféricos e centrais. Os periféricos estão localizados na croça da aorta e bifurcação da carótida. Estes sensores têm resposta rápida à elevação da pressão parcial de CO_2 e queda da pressão parcial de O_2 no sangue arterial e aumento da concentração de H+ ou ainda redução da perfusão sanguínea destes elementos. Os valores limites nos quais os sensores são ativados variam com os indivíduos. Em indivíduos normais, a redução de 20 mmHg da PaO_2 ou a elevação de 10 mmHg da $PaCO_2$ já estimulam os

sensores 1,13. Os sensores centrais são localizados nas áreas dos órgãos encefálicos do sistema nervoso central e podem ser estimulados através das variações de $PaCO_2$, PaO_2 e pH no sangue e no líquor. O estímulo, quando produzido pela redução do pH, é feito por via liquórica e é crescente a cada 0,1 unidade de queda de seus valores a partir de 7,332.

Barorreceptores

Além dos quimiorreceptores, os barorreceptores, localizados no seio aórtico e seio carotídeo, são estimulados quando ocorre queda brusca da pressão arterial, levando a mensagem aos centros respiratórios bulbares, o que resulta em hiperventilação. O mesmo mecanismo pode ocorrer quando há elevação da pressão arterial, com consequente hipoventilação. Esses sensores podem ser inibidos pela ação de anestésicos.

Sensores de estiramento

Atualmente, admite-se que existem outros sensores distribuídos em toda a via aérea e alvéolos, que originam estímulos respiratórios, a exemplo dos sensores do reflexo de inflação e deflação. Estes sensores podem estar relacionados aos reflexos de inflação ou a outros reflexos, mas sempre são estimulados por estiramento das vias aéreas ou dos alvéolos.

Sensores de inflação e deflação alveolar

O reflexo de inflação alveolar foi descrito por Hering e Breuer em 1868. Este reflexo foi estudado em coelhos. Há uma lenda na qual um dos autores observou que conduzindo os coelhos pelos pés traseiros, de cabeça para baixo, eles morriam. Então, passou a estudar o problema com a ajuda do outro, resultando na descrição de um mecanismo que inibe a inspiração após a inflação alveolar. Em seguida, foi estudado também o reflexo inverso, no qual, ao final da expiração, há um mecanismo estimulador da inspiração, estando este relacionado à deflação alveolar. Há relatos que, no coelho, o reflexo de deflação pode ser bloqueado por anestésico local aplicado em forma de aerossol.

Sensores da musculatura esquelética

O trabalho muscular de contração e estiramento, notadamente o de estiramento, em que o músculo fica em forma de fuso, produz um estímulo respiratório chamado reflexo do fuso muscular, que tem características de arco reflexo medular monossináptico com participação dos centros respiratórios bulbares a qualquer instante. A resposta é a inibição da contração muscular que resulta na expiração, sendo esta inibida quando o fuso perde a tensão. O estímulo é conduzido por fibras A-γ e a resposta por fibras A-γ.

Sensores da via aérea superior

Estímulos de água, amônia e de fumaça de cigarro no nariz podem causar apneia súbita como o reflexo do mergulho. Na faringe, receptores mecânicos são estimulados por pressão e tato. O mesmo ocorre na laringe, que também pode ser estimulada por pressão subatmosférica. Estímulo mecânico e químico causam tosse, fechamento da laringe e broncoconstrição. Os reflexos de tosse têm origem em estímulos originados principalmente na laringe, traqueia e brônquio fonte.

Outros sensores pulmonares

Estímulos originados no alvéolo alteram o ritmo respiratório na embolia pulmonar e no pneumotórax, produzindo respiração rápida e superficial. Há redução no volume corrente, elevação da frequência respiratória e, consequentemente, pode haver também aumento do espaço morto.

Efetores

Há três grupos de neurônios motores superiores (bulbares e pontinos) que convergem para as células do corno anterior medular, onde se ligam aos neurônios inferiores que suprem os músculos respiratórios. A integração entre esses neurônios que controlam a respiração acontece no corno anterior medular e pontino bulbar. O primeiro grupo de neurônios motores pertence ao grupo ventral respiratório do bulbo e está envolvido com a res-

piração rítmica involuntária. Eles chegam à medula e ficam no quadrante ventrolateral. O segundo grupo está encarregado do controle da respiração voluntária, especialmente da fala e da ginástica respiratória. Eles chegam à medula e ficam nos quadrantes dorsolateral e ventrolateral.

O terceiro grupo está envolvido com a respiração involuntária não rítmica, tosse, soluço e deglutição. Esse grupo não tem uma localização compacta na medula. As fibras dos neurônios motores são A-γ e A-γ. As fibras A-γ são as mais utilizadas para as respostas rápidas, especialmente na respiração voluntária. Há integração entre os controles motores centrais involuntários e voluntários. O controle voluntário pode se sobrepor ao involuntário, no entanto, ao cessar sua ação, o controle involuntário começa automaticamente.

O organismo se adapta a processos agudos ou crônicos, aumentando o fluxo sanguíneo para compensar a redução de oxigênio e aumentar a concentração de hemoglobina. Assim, quando exposto às grandes altitudes, o organismo se adapta e produz respostas fisiológicas em vários sistemas, em função das alterações ocasionadas pela baixa oferta de O_2. Tanto na exposição a altitudes reais quanto na simuladas com câmeras hipobáricas, a diminuição da saturação de O_2 é decorrente da diminuição da PaO_2, que diminui conforme a altitude aumenta. Isso compromete as funções de vários sistemas, incluindo o sistema cardiovascular, o respiratório, o muscular e o cerebral. Assim, pode ser observada hipóxia hipobárica ou hipoxêmica, que resulta da queda da PaO_2 encontrada em altas altitudes, aumento do débito cardíaco, hipotermia, hipohidratação e hipoglicemia.

As adaptações crônicas dependem principalmente da altitude e da individualidade biológica. Permanecer por longos períodos em altitudes proporciona adaptações que ocorrem de maneira mais tardiamente para melhorar a tolerância à hipóxia, como um equilíbrio acidobásico dos líquidos corporais, um aumento no número de hemácias e maior concentração de hemoglobina. Uma permanência adequada na altitude desenvolve uma série de alterações fisiológicas que visam um melhor transporte de oxigênio.

Neste capítulo foi revisada a fisiologia do sistema cardiorrespiratório, que por meio do funcionamento eficiente e coordenado entre coração, pul-

mões e demais estruturas, garante o fornecimento de oxigênio aos tecidos do corpo e remoção de dióxido de carbono e resíduos. Além dos órgãos centrais, coração e pulmões, o sistema de distribuição, que correspondem aos vasos sanguíneos, tem capacidade de responder rapidamente às diversas demandas metabólicas de cada um dos tecidos do corpo.

O conhecimento dos mecanismos que garantem a homeostasia do corpo é de fundamental importância para compreender os efeitos fisiológicos da atividade aeroespacial no organismo. Neste sentido, vale destacar que mudanças físicas e fisiológicas que ocorrem nos níveis atmosféricos onde ocorrem as atividades de voo, como por exemplo a redução da pressão do ar com o aumento da altitude e consequente redução da pressão parcial de O_2, podem levar a hipóxia na tripulação de voo e nos passageiros. Portanto, essas condições, seja por estímulos intrínsecos ou extrínsecos, desencadeiam ajustes fisiológicos em grande parte mediados pela interação dos sistemas nervoso, humoral e cardiorrespiratório que nos permitem responder aguda e cronicamente às alterações de demanda, conforme veremos nos próximos capítulos.

Referências bibliográficas

GUIMARÃES, H. et al. **Manual de terapia intensiva**. São Paulo: Atheneu, 2014.

GUYTON, A C. & HALL J E. **Tratado de fisiologia médica**. 13.ed. Rio de janeiro: Elsevier, 2017.

KLABUNDE, Richard E. **Cardiovascular physiology concepts**. 2.ed. [S.l.]: Lipincott, 2011.

MANN, Douglas L. et.al. **Braunwald tratado de doenças cardiovasculares**. 13.ed. Rio de Janeiro: Elsevier.2018.

SARAIVA, Renato Ângelo. Mecânica respiratória e controle da ventilação. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, São Paulo, v. 46, n. 3, 1996.

WEST, John B. **Fisiologia respiratória**: princípios básicos. 9. ed. São Paulo: Artmed, 2013.

A EXPLORAÇÃO HUMANA DO ESPAÇO E SEUS DESAFIOS PARA A MEDICINA

Dr. Roseni de Faria Lima
e Drª. Lorena de Cecco Beolchi

Orientadora:
Profa. Drª. Thais Russomano

introdução

O SER HUMANO, EM BUSCA DO DESCONHECIDO, NOS LEVA AOS MISTÉRIOS DO COSMOS. ESTE DESEJO INDISCRETO DE SABER É UMA CARACTERÍSTICA DO SER VIVO RACIONAL. HÁ MILHARES DE ANOS, DIFERENTES CULTURAS PROCURARAM ENCONTRAR O SEU PRÓPRIO SIGNIFICADO DO UNIVERSO E, AOS POUCOS, FORAM DESCOBRINDO O CONHECIMENTO DOS COSMOS.

Desde o lançamento do Vostok I, em 12 de abril de 1961, a primeira viagem espacial com Yuri Gagarin a bordo, seguindo o impulso ininterrupto de chegar a Marte e a posteriori a industrialização do espaço.

A indústria e a tecnologia aeroespacial, cada vez mais avançadas, associadas a laboratórios em órbita, técnicas médicas e farmacêuticas, uso de matérias-primas tem sido testadas e cogita-se que, por volta do ano de 2050, seria possível trabalhar e viver no espaço e, com muita audácia, o turismo espacial cada vez mais perto de podermos escolher em que data iremos viajar. Ainda assim, nosso corpo humano exposto ao ambiente adverso da microgravidade nos condiciona a variações fisiológicas, logo de imediato ou tardiamente, podendo acarretar sintomatologia mesmo depois do retorno à Terra. A maioria destes eventos que ocorrem são reversíveis após alguns dias a meses de retorno ao campo gravitacional terrestre.

O corpo humano está sujeito a anomalias ambientais como a radiação (raios cósmicos e partículas solares), adversidades como temperatura, privação sensorial, pressão barométrica, exposição a ruídos e vibrações constantes e, especialmente em nosso capítulo, não menos importante, a microgravidade - matematicamente, o prefixo micro significa uma parte em um milhão. Além disso, há alterações bruscas da aceleração tanto na decolagem quanto na reentrada, chegando a 27 mil km/hora. Adaptações fisiológicas podem ocorrer no organismo humano, sujeitas a sintomas e patologias.

A Bioastronáutica é um novo ramo da ciência que estuda os efeitos biológicos e médicos nos organismos vivos quando viajam para o espaço, tendo como objetivo o risco inerente à exploração espacial.

No ambiente de microgravidade, podem ocorrer alterações cardiovasculares, musculoesqueléticas, gastrointestinais, endócrinas, urinárias, respiratórias, dermatológicas, neurológicas e do ritmo circadiano. Distúrbios psicológicos podem também ocorrer devido ao isolamento com afastamento de familiares e amigos, bem também como ao confinamento exposto em um ambiente pequeno, restrito a perigos e desafios diários.

Essas adaptações fisiológicas em um micro-habitat evoluem e manifestam-se como anomalias que podem perdurar durante o retorno à Terra,

colocando o astronauta em um período de reabilitação.

As atuais viagens espaciais, cada vez mais frequentes, vêm aumentando na última década e, à medida que são estudadas, permitem-nos passar cada vez mais tempo nesse tipo de ambiente hostil, desde curto prazo até um ano, e em breve o primeiro ser humano pousará em Marte. Cada vez mais cidadãos comuns estão podendo ter essa experiência de ser um astronauta em voos comerciais recentes.

Organismo humano em ambiente de microgravidade

Praticamente todos os sistemas do nosso organismo são afetados de alguma maneira durante as adaptações fisiológicas no âmbito da microgravidade. Registros médicos de astronautas foram evidenciados com relatos de distúrbios mais comuns: traumas, queimaduras, *rash* cutâneos, congestão nasal, rinites e faringites, cefaleias e insônias, etc. Todos nós experimentamos enjoo de movimento de uma forma ou de outra, seja durante uma longa viagem em estradas tortuosas nas montanhas ou durante um passeio de montanha-russa. Conheço pessoas que até têm enjoo de movimento em escadas rolantes. Portanto, não é exagerado imaginar que a leveza no espaço também possa causar enjoo de movimento aos astronautas.

De acordo com Heer e Paloski, cerca de 60-80% dos astronautas experimentam doença espacial, mais formalmente chamada de Síndrome de Adaptação Espacial, nos primeiros dias após a partida. Os sintomas, assim como o enjoo de movimento na Terra, incluem náuseas, dores de cabeça, vertigem e vômitos em casos graves. Embora a doença persista na maioria dos casos nos primeiros três dias, ela pode ocorrer a qualquer momento durante sua permanência no espaço.

O enjoo de movimento no espaço é um obstáculo para os astronautas realizarem seu trabalho. O Instituto Nacional de Pesquisa Biomédica Espacial, criado em 1997, está trabalhando para ajudar a compreender as causas e efeitos do enjoo espacial, bem como sua prevenção.

Alterações celulares

Começaremos a nível celular das anomalias apresentadas em nosso organismo em ambiente de microgravidade. Pouco se sabe sobre as alterações da dinâmica celular, das alterações metabólicas e da síntese proteica. As primeiras análises celulares no espaço ocorreram nos anos 1970, quando foi identificada alteração na expressão de genes que regulavam o ciclo celular, a morfologia da célula e a apoptose (morte celular programada, processo pelo qual células problemáticas causam a própria morte). Efeitos da "gravidade zero" que podem surgir nas células incluem alterações no volume celular e no citoesqueleto (conjunto de proteínas responsável por manter a forma da célula e conter seu citoplasma e organelas).

Ritmo circadiano em missões espaciais

O ritmo circadiano, que regula o ciclo do sono ao período de rotação da Terra em 24 horas, é uma variável constantemente avaliada em viagens ao espaço, já que o sol se põe a cada 90 minutos e isso regula o sistema claro-escuro. Na ausência do relógio biológico do hipotálamo, o ritmo circadiano torna-se assíncrono com o relógio solar. A alteração do ritmo circadiano afeta o ciclo do sono e pode conduzir a perturbações do próprio sono e consequências no comprometimento cognitivo durante a vigília. Há alguns casos descritos em estudos de mudanças no sistema endócrino, térmico e comportamental. O sono dos astronautas nunca é tão reparador, com períodos menores (6 horas) do que os habituais e com menos qualidade, o que leva à diminuição da fase REM. Como resultado, pode haver comprometimento do desempenho, levando a alterações na cognição, memória, capacidade de decisão e atividade psicomotora.

Alterações da pele no espaço

A elasticidade e a espessura da epiderme diminuem com a exposição à microgravidade, sendo assim, a derme e o tecido celular subcutâneo são mais expostos às radiações UV e cósmicas, que de outra forma não penetrariam profundamente. Constatou-se também o aumento do colágeno

epidérmico em mais de 100%, reversível no campo gravitacional terrestre. Foi evidenciado ainda rash cutâneo e hipersensibilidade cutânea muito frequentes devido à desregulação na imunidade. Lesões como eczema, psoríase, urticárias, dermatofitoses e acne simples podem ocorrer.

Aspectos alimentares nas missões espaciais

A microgravidade altera a ingestão de alimentos, desde a forma como é preparada e ingerida. Pode-se ingerir alimentos desde o processo de mastigação até a ingestão neste ambiente gravitacional, mesmo os alimentos em forma líquida ou pastosa. Não podemos esquecer que alguns alimentos podem se depositar na orofaringe e, por serem flutuantes, ser conduzidos às vias nasais ou vias aéreas respiratórias. Após este trajeto, a deglutição segue sem alterações até o trânsito intestinal, onde se mantém inalterado. Devido à congestão nasal provocada pela distribuição cefálica, os sabores dos alimentos são afetados, por essa razão, os astronautas preferem alimentos mais temperados.

A função cardiopulmonar na microgravidade

O reflexo de Gauer-Henry (um mecanismo regulador do volume sanguíneo) não explica as mudanças no volume plasmático no espaço, uma vez que a PVC diminui.

A composição artificial do ar da atmosfera do ônibus espacial / ISS (Estação Espacial Internacional) e a baixa pressão barométrica podem expor toda a tripulação a hiper ou hipóxia, hipercapnia, atelectasia e descompressão pulmonar.

A redução do volume sanguíneo no espaço é o resultado de um balanço negativo devido à diminuição da ingestão de líquidos e à menor produção de urina; deslocamentos de fluido do espaço intravascular para o intersticial, como resultado de uma menor pressão transmural após a redução da compressão de todo o tecido por forças gravitacionais, especialmente dos arcos costais. O fluido muda do espaço intravascular para o intersticial muscular devido ao menor tônus muscular necessário para manter a postura corporal.

Foi demonstrado um aumento inicial na frequência respiratória e um retorno à normalidade após algum tempo no espaço. A difusão de membrana pulmonar aumenta em ambiente de microgravidade, sugerindo que há mais superfície para trocas gasosas e que o volume e a distribuição de perfusão e ventilação pulmonar são mais uniformemente distribuídos.

Sistema imunológico no espaço

O sistema imunológico, gânglios e órgãos linfáticos sofrem alterações na microgravidade, sobretudo em missões prolongadas; em especial, a imunidade celular. Foi verificada a diminuição do número e da função de células T (principalmente células T natural killer CT NK), por sua vez responsável pela morte de células infectadas por vírus e células tumorais. Também a imunidade humoral é afetada: foi sugerido que a hiper mutação somática estaria reduzida, o que se verificaria pela diminuição da função dos monócitos e granulócitos. Todas essas alterações conduzem a resposta infecciosa e inflamatória alteradas. Contudo, pode ser comprometida a capacidade de defesa contra microrganismos externos, aumentando a suscetibilidade a infecções virais e/ou bacterianas. Algumas infecções foram observadas como herpes vírus e infecções fúngicas devido à umidade e condicionamento do ar-condicionado. Foi observado também que as bactérias se comportam de maneira diferente em ambiente de microgravidade, sendo necessárias maiores concentrações de antibióticos para erradicar infecções em comparação com a Terra.

A capacidade de adaptação das bactérias, em conjunto com a imunossupressão, pode resultar em contágio fácil (confinamento), resultando em uma piora em viagens longas. As infecções ainda continuam sendo a enfermidade mais frequente entre os astronautas. Ainda sobre o sistema imunológico, as cicatrizações de feridas cutâneas e reparação de lesões intrínsecas são afetadas. Estudos evidenciaram que a microgravidade afetaria na diminuição da capacidade de formação da matriz extracelular, colágeno no tecido cicatricial, comprometendo a fase de angiogênese e migração ineficaz dos queratinócitos.

Alterações neuro vestibulares no ambiente espacial

Em relação aos distúrbios envolvendo o sistema nervoso central, ainda se tem muito a investigar e pouco se sabe sobre os efeitos funcionais e morfológicos secundários à microgravidade. Porém, alguns distúrbios neurovestibulares, alteração da percepção sensorial e da função cognitiva, deslocamento do líquido cefalorraquidiano e distúrbios psicológicos como a depressão podem ocorrer durante e após o voo espacial.

Essas alterações secundárias à exposição à microgravidade merecem atenção especial devido à reorganização da informação processada a nível do SNC (sistema nervoso central) em relação à informação visual, vestibular e somatossensorial.

Sabe-se que a exposição à microgravidade causa alteração da configuração do globo ocular muito rapidamente nos casos dos astronautas por achatamento. Eles transportam vários pares de lentes oculares para corrigir déficit de refração. As referências visuais são importantes para que o astronauta mantenha a "orientação" e, em conjunto com o sistema vestibular, pode tornar-se confuso devido à desorientação espacial do astronauta também conhecida como Síndrome da Adaptação Espacial. Essa adaptação do astronauta ao novo ambiente causa distúrbios de coordenação, visão, movimento podendo apresentar ilusões de movimento.

Uma variação dessa síndrome em relação ao distúrbio de movimento é a SMS (Space Motion Sickness) com incidência de 35-70%, a qual apresenta sintomas diversos como rubor, anorexia, náuseas (mais comuns em astronautas), vômitos e vertigens. Esses distúrbios de rotação tendem a diminuir parcialmente após período de sono, uso de medicação e restrição de movimentos da cabeça. Mudanças sensoriais, posturais e da marcha podem também ser explicadas por modificações anatomofuncionais do cerebelo (responsável pelo controle fino da marcha, coordenação e equilíbrio). Algumas alterações como ataxia, distúrbio da marcha e da capacidade de coordenação podem persistir no retorno do astronauta ao campo terrestre gravitacional.

O deslocamento do líquor pode causar aumento da pressão intracraniana, déficit visual (SANS: Spaceflight Associated Neuro-Ocular Syndrome), além de alterações na oxigenação e no fluxo cerebral.

Sugere-se que a orelha interna e o Sistema Vestibular sejam os responsáveis por minimizar o enjoo de movimento. Da mesma forma, são usados óculos especialmente projetados em uma pista de obstáculos para ajudar a percepção do cérebro a se desenvolver e treinar para as futuras viagens espaciais.

Alterações no sistema musculoesquelético na microgravidade

A resistência à gravidade é a força que confere potência, resistência e durabilidade aos músculos e ossos. Em condições de microgravidade, as funções ósseas de suporte, proteção mecânica e regulação homeostática são praticamente inexistentes, resultando em um aumento da reabsorção óssea pelos osteoclastos e diminuição dos osteoblastos, distúrbios conhecidos como “spaceflight osteopenia”. Ocorre também distribuição uniforme da matriz mineral de ossos longos, aumentando a suscetibilidade a fraturas. Normalmente, as mulheres perdem 1% da massa óssea anualmente na fase pós-menopausa, enquanto a perda dos astronautas é de 1-2% mensalmente. Por essa razão, os astronautas praticam diariamente 2h30 de exercícios aeróbicos e de resistência associados a suplementos alimentares e bifosfonatos.

A função muscular é afetada, verificando-se a diminuição da massa, força e resistência musculares com efeitos mais intensos nos músculos dos membros inferiores (músculos gastrocnêmicos e quadríceps), evoluindo com atrofias independentemente da duração da viagem espacial. Experiências realizadas em ambiente de microgravidade demonstraram que a osteopenia e a atrofia muscular, sobretudo a musculatura postural, associam-se a alterações das curvaturas fisiológicas da coluna (lordose lombar inferior) e instabilidade postural, chegando a 2/3 dos astronautas com lombalgia. Verifica-se ainda um aumento da estatura corporal de 3 a 7 cm no espaço, possivelmente pelo desgaste por estiramento dos tecidos moles ao redor das vértebras, como músculos, ligamentos e tendões, bem como por distensão dos discos intervertebrais.

Alterações urológicas

O distúrbio hidroeletrolítico em ambiente de microgravidade apresenta aumento da osmolalidade urinária condicionada pela elevação da fração excretada de sódio, potássio, cálcio e fósforo causada pela diminuição da liberação de ADH. Essas alterações relatadas retornam à normalidade com o retorno à Terra.

Casos relatados de distúrbios urinários são descritos envolvendo balanço negativo do cálcio, onde ocorre o aumento da reabsorção óssea, aumento da excreção de cálcio urinário. A redução de pH e citrato associado podem predispor a formação de cálculos renais, como consequência de infecções do trato urinário e cólica renal. Uma diminuição do volume plasmático leva ao aumento do hematócrito (aumento da concentração) causando a diminuição de eritropoietina, como resposta compensatória. Assim, um novo estado de equilíbrio é rapidamente atingido, descrito como "anemia of spaceflight".

Conclusões

Embora a humanidade tenha sonhado há muito tempo em voar para o espaço, só agora estamos prestes a ver essas possibilidades se tornarem realidade para mais do que alguns privilegiados. Até recentemente, o voo espacial era limitado a astronautas, cosmonautas e taikonautas patrocinados por governos, bem como vários cidadãos que poderiam arcar com o custo multimilionário de viagens espaciais.

No entanto, agora estamos embarcando em uma nova era na qual muitas pessoas terão a oportunidade de viajar para o espaço.

Com o objetivo de minimizar o desconforto em ambiente de microgravidade, a medicina aeroespacial atenta-se na prevenção de alterações orgânicas e psíquicas dos seus astronautas após uma avaliação seletiva e rigorosa deles quando expostos a ambientes ameaçadores no espaço. Uma boa forma de manter a saúde física e mental dos astronautas é cultivar hábitos saudáveis de sono e alimentação associados ao exercício diário durante as missões espaciais.

A NASA e alguns especialistas acreditam que a única maneira de resolver os transtornos causados pela quase gravidade "zero" seria criar uma gravidade "artificial" através da construção de naves espaciais que possam girar como a "força centrífuga", uma forma de simular a ação da força gravitacional terrestre. Os engenheiros já conseguem girar uma porção da nave espacial, mas devido aos altos custos e à complexa engenharia envolvida, seguem estudos para avaliar a real possibilidade de inserção de uma gravidade artificial em toda a nave espacial.

Estudos atuais observaram que o surgimento da indústria comercial de voos espaciais humanos afetará significativamente o campo da medicina espacial. No futuro, profissionais como médicos e cientistas espaciais serão confrontados com problemas de saúde relacionados a voos orbitais e suborbitais com diferentes perfis e durações. A pesquisa em órbita englobará ampla atividade inter e multidisciplinar, envolvendo laboratórios industriais, instalações de montagem, reparo e provisionamento em órbita, diferentes capacidades médicas e de saúde, bem como o suporte da missão em terra.

Referências bibliográficas

1. BLABER, Elizabeth; MARÇAL, Helder; BURNS, Brendan P. Bioastronautics: the influence of microgravity on astronaut health. **Astrobiology**. v.10, n.5, p. 463-473, jul.2010. Disponível em: https://www.liebertpub.com/toc/ast/10/5

Acesso em: 16 maio 2022.

2. FISHMAN, Charles. Up in the air. **Smithsonian**. jun.2017. Disponível em: https://www.smithsonianmag.com/science-nature/future-zero-gravity-living-is-here-180963243/

Acesso em: 16 maio 2022.

3. PELIGRA, Salvatore; GOSSMAN, William G. Aerospace, health maintenance, wellness. **StatPearls.** jul. 2017.

4. CETRON, Martin et al. **Travelers 'health, emerging infectious diseases**. [s.n.] v.4, n. 3, jul-sep. 1998.

5. VAN OMBERGEN, Angelique et al. The effect of spaceflight and microgravity on the human brain. **Journal of Neurology**. v.264,Suppl.1, p. 18-22, mar.2017.

6. STEWART, Lowan H.; TRUNKEY, Donal; REBAGLIATI, G. Steve. Emergency Medicine In Space. **The Journal of Emergency Medicine**. v. 32, n. 1, p. 45–54, 2007.

7. ARORA, Sandeep. Aerospace dermatology. **Indian Journal of Dermatology**. v.62, p. 79-84, 2017.

8. VERNIKOS, Joan. Human Physiology in Space. **BioEssays.** v.18 n.12, p.1029-1037, 1996.

9. HIDES, Julies et al.; Parallels between

astronauts and terrestrial patients: taking physiotherapy rehabilitation "To infinity and beyond". **Musculoskeletal Science and Practice**. p. 1-6, 2016.

10. DI GIOVANNI Jr., Cleto; CHAMBERS, Randall M. Physiologic and Psychologic aspects of the gravity spectrum. **The New England Journal of Medicine**. jan.1964.

11. TABUSSE, L.; PANNIER, R. **Physiopathologie et Pathologie Aéronautiques et Cosmonautiques.** Paris: Editons Doin, 1969.

12. HACKNEY, Kyle J. et al. The astronaut-athlete: optimizing human performance in Space. **Journal of Strength and Conditioning Research.** v.29, n.12 p.3531–3545, dez.2015.

13. LINNARSSON, Dag et al. Effects of an artificial gravity countermeasure on orthostatic tolerance, blood volumes and aerobic power after short-term bed rest (BR-AG1 Journal of applied physiology. v.118, n.1, p. 29-35, jan.2015. Disponível em:

https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/japplphysiol.00061.2014?rfr_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org

Acesso em: 16 maio 2022.

14. GRIGORIEV, A. I. Health in space – and on Earth. **World Health Forum.** v.13, p. 144-150, 1992.

15. PACE, Nello. Weightlessness: A Matter of Gravity. **New England Journal of Medicine.** v.297 p. 32-37, 7 jul.1977.

16. HALLGREN, Emma et al. Decreased otolith-mediated vestibular response in 25 astronauts induced by long-duration spaceflight. **Journal of Neurophysiology**. V.115, n.6, p.3045–3051, 2016. Disponível em:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4922620/?report=reader

Acesso em: 16 maio 2022.

17. MIZUNO, Koh et al. Sleep patterns among shift-working flight controllers of the

international space station: an observational study on the JAXA Flight Control Team. **Journal of Physiological Anthropology**. v.35, n.19, 2016. Disponível em:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5007844/

Acesso em: 16 maio 2022.

18. REYNOLDS RJ, D AY SM. Mortality among U.S. astronauts: 1980– 2009. **Aviation Space and Environmental Medicine**. v.8, n.11 p.1024 – 1027, nov.2010.

19. REYNOLDS RJ, D AY SM, N URGALIEVA ZZ. Mortality among Soviet and Russian cosmonauts: 1960 – 2013. **Aviation Space and Environmental Medicine.** v.85, n.7, p. 750 – 757.

20. RUSSOMANO, Thais. **Fisiologia aeroespacial**: conhecimentos essenciais para voar com segurança. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012. ISBN 8-539-70228-2

21. RUSSOMANO, Thais; VERNIKOS, Joan. **A gravidade, esta grande escultora**: como usar a gravidade terrestre a sau favor. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2009. ISBN 8-574-30902-8

22. HARGENS, Alan. Fisiología espacial. **Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas**. v.38, n.3, e266, 2019.

23. CALLEJA, Gustavo Zubieta. Space travel in a high altitude environment: biology by-passing the pressure laws of physics and biospace forming. **Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas**. v.38, n.3, e292, 2019.

24. **Space tourism market demand revisited**. Futron Corporation. 2006.

25. SPOTTS, Peter N. **Space tourism industry is lifting off, from the x prize to civilian trips to the moon, private space flight is attracting more interest among investors and would-be voyagers.** The Christian Science Monitor. 26 jul.2007 edition.

3

ADAPTAÇÕES DO ORGANISMO A ALTITUDE

Drª. Daniela Rancan e Dr. Lucas Gonzaga

Orientadora:
Profa. Drª. Vânia E. R. Melhado

introdução

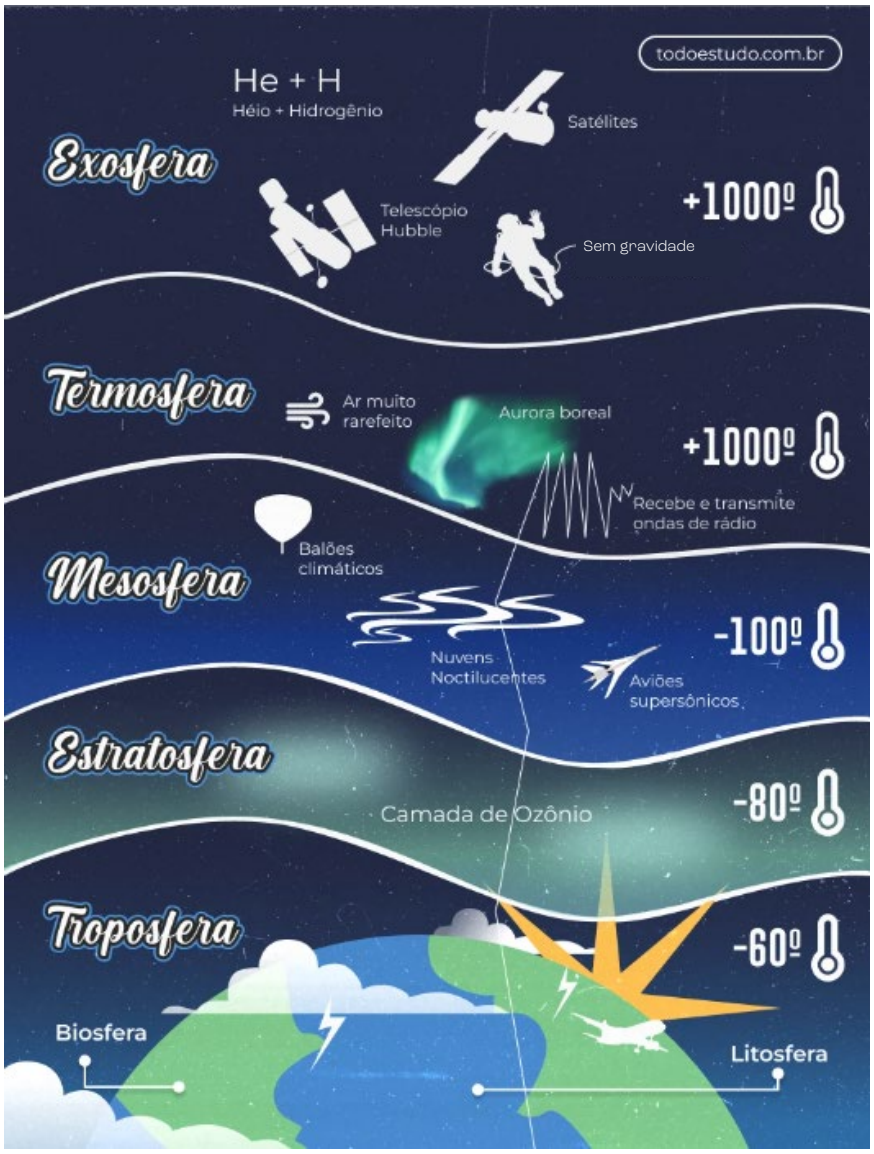
AS MUDANÇAS NO ORGANISMO HUMANO EXPOSTO AO AMBIENTE HIPOBÁRICO E À MICROGRAVIDADE SÃO CONSEQUÊNCIAS ADAPTATIVAS DA ALTITUDE ONDE ESTE INDIVÍDUO SE ENCONTRA, QUER SEJA COM OU SEM TRAJES OU VEÍCULOS PROTETIVOS.

PARA QUE TAL ADAPTAÇÃO SEJA COMPREENDIDA, CONSIDERAREMOS A DIVISÃO DIDÁTICA DAS CAMADAS DA ATMOSFERA, PELA DIFERENÇA DE CALOR, POIS, COMO SE TRATA DE MEIO FLUIDO, A CAMADA NÃO TEM LIMITES DEFINIDOS.

Atmosfera terrestre

A atmosfera terrestre é classificada em cinco camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera (ver Figura 3.1).

Figura 3.1. Atmosfera terrestre



Fonte: https://www.todoestudo.com.br/geografia/termosfera

Troposfera: é a camada mais próxima da crosta terrestre. Chega a atingir cerca de 17 km nas regiões tropicais e pouco mais que 7 km nas regiões polares.

Estratosfera: pode chegar a até 50 km de altura e contém a Camada de Ozônio, barreira de proteção dos raios ultravioleta. Dividida em inferior (até 25km) e superior (de 25-50km).

Mesosfera: até 80km, é caracterizada por ser muito fria, com temperaturas que oscilam em torno dos -100ºC.

Termosfera: é a mais extensa, podendo alcançar os 500 km de altura. Absorve facilmente a radiação solar, atingindo temperaturas próximas a 1000ºC, sendo a camada mais quente da atmosfera.

Exosfera: é a camada mais longe da Terra, alcançando os 800 km de altura.

A atmosfera terrestre é uma camada gasosa que é mantida ao redor do nosso planeta pela ação da força da gravidade. A composição dos gases da atmosfera é mantida constantemente, independentemente da altitude, na seguinte proporção: nitrogênio (78,08%), oxigênio (20,95%), argônio (0,93%), gás carbônico (0,036%), entre outros em mínima porcentagem. Esses gases exercem pressão sobre a superfície da Terra, que é denominada pressão atmosférica. Ela é responsável pela vida na Terra, como fonte de oxigênio, água (chuva), proteção contra radiação cósmica, regulação do clima, entre outras coisas.

As variações nas propriedades do ar se estendem para cima a partir da superfície da Terra. O sol aquece a superfície da Terra, e parte desse calor aquece o ar próximo à superfície. O ar aquecido é então difundido ou movimentado pela atmosfera. Assim, a temperatura do ar é mais alta perto da superfície e diminui à medida que a altitude aumenta. A pressão do ar diminui à medida que aumentamos a altitude. A densidade do ar depende tanto da temperatura quanto da pressão e também diminui com o aumento da altitude.

Na troposfera, onde estamos, a temperatura diminui linearmente e a pressão diminui exponencialmente.

Para cada zona há equações específicas que determinam a temperatura, pressão, altitude e densidade do ar. Para os seres humanos, a adapta-

ção principal é referente à pressão e todo o raciocínio clínico é baseado nas leis dos gases relacionadas a ela.

Considerando o comportamento dos gases na atmosfera, é possível estabelecer a relação entre a variação de pressão, volume e temperatura em condições ideais.

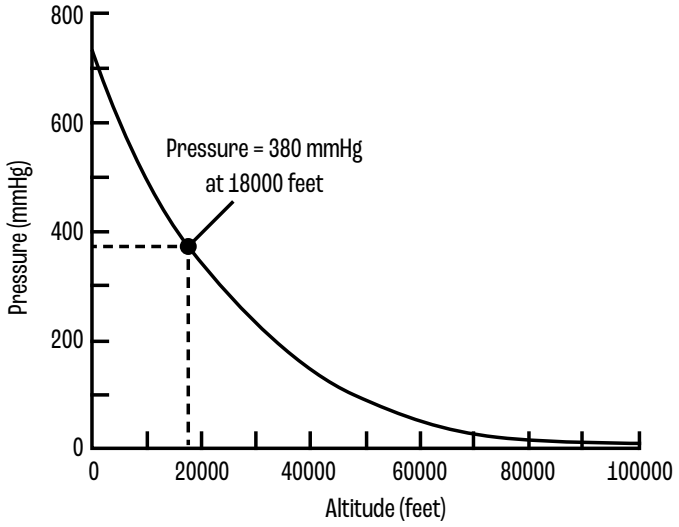
A tabela 3.1 explica numericamente a relação entre a altitude, a pressão atmosférica, o volume gasoso, a temperatura ambiente e a pressão parcial do oxigênio.

Tabela 3.1. Características da Atmosfera terrestre padrão.

Altitude (pés- m) 1pé=0,3048m	Pressão (mmHg)	Temperatura (oC)	Volume	Po2 (mmHg)
0 (nível do mar)	760	15	1	159
8mil = 2438,4	565	-0,9	1,35	118,1
10mil = 3048	523	-5	1,5	109,3
25mil=7620	282	-34.5	2,69	59
35mil = 10668	178,7	-54	4,25	37,4
40mil=12192	141	-56.5	5,39	29,4

Fonte: Adaptação da tabela de *Gong H. Advising pulmonary patients about commercial air travel. J Respir Dis 1990; 11:484.*

Figura 3.1



Fonte: Elaboração dos autores

Efeitos adaptativos da altitude no organismo

Até 10 mil pés (3048m), indivíduos saudáveis são capazes de se adaptar, sem apresentar alterações perceptíveis.

O limite para um voo sem pressurização é de 25 mil pés, mas para evitar desconforto aos passageiros, os voos sem pressurização limitam-se geralmente entre 10 a 12 mil pés. Os voos comerciais ocorrem entre 30-40 mil pés, os jatos voam entre 40-50 mil pés e os jatos supersônicos voam a 60 mil pés. Todas estas aeronaves possuem a cabine de voo pressurizada em torno de 8 mil pés (2438,4 metros), pressão na qual há uma melhor relação entre a performance do avião, a resistência da fuselagem ao diferencial de pressão e o conforto dos passageiros. Em todas estas condições, o organismo sofre adaptações reativas às leis dos gases como veremos a seguir:

Lei dos Gases

O comportamento dos gases é afetado diretamente pela pressão (P), volume (V) e temperatura (T). Algumas propriedades físicas descrevem o comportamento dos gases sob variadas condições.

Lei de Boyle-Mariotte

A lei de Boyle-Mariotte refere-se à relação Pressão *versus* Volume de um gás, onde o volume da massa de um gás é inversamente proporcional à pressão exercida sobre esse gás, quando a temperatura é constante. Ou seja, quando um diminui o outro aumenta. (T constante $P1xV1=P2xV2$).

Implicações aeromédicas: aerodilatação, durante exposições à baixa pressão barométrica, o volume de um gás normalmente presente nas cavidades do corpo (orelha interna, seios da face e trato gastrointestinal) aumenta e pode causar sintomas.

Lei de Gay-Lussac

A lei de Gay-Lussac determina a relação entre o volume e a temperatura de um gás, onde o volume da massa de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta, quando a pressão é mantida constante. Ou seja, os gases expandem-se na mesma proporção para o mesmo aumento de temperatura. (P constante V1/T1 =V2/T2) e (V constante P1/T1=P2/T2).

Implicações aeromédicas: hipotermia. Esta lei explica a diminuição na pressão suplementar de oxigênio durante a exposição a ambientes de baixas temperaturas e altas altitudes.

Lei de Henry

A lei de Henry refere-se à solubilidade dos gases em um meio líquido sob determinada pressão. "A soma dos gases contidos em um líquido é diretamente proporcional à pressão parcial que cada gás exerce sobre este líquido". Essa lei explica a rápida formação de bolhas nos líquidos que contêm gás durante a exposição à baixa pressão barométrica (aumento da altitude).

Implicações aeromédicas: doença descompressiva, causada pela rápida exposição a baixa pressão barométrica, ocorre devido ao fato de mais de 60% do corpo humano ser composto por líquidos, e gases voláteis (principalmente o nitrogênio) que estão presentes nas soluções do corpo e nos tecidos deslocam-se atingindo os vasos e ganhando a corrente sanguínea.

Lei de Dalton

A lei de Dalton refere-se à pressão total do gás, que é composta pela soma das pressões parciais dos gases. Essa lei explica por que a pressão parcial de cada gás diminui com o aumento da altitude, mas a proporção de cada gás na mistura permanece constante.

Implicações aeromédicas: hipóxia. Com a diminuição da pressão barométrica, ocorre uma diminuição da pressão parcial do oxigênio.

Efeitos da altitude no organismo

Hipóxia da altitude (hipóxica)

Com a diminuição da pressão do oxigênio no ar inspirado, ocorre a diminuição da tensão do oxigênio no sangue arterial e, consequentemente, a diminuição do fornecimento de oxigênio para as células, explicada pelas leis dos gases.

A hipóxia, na maioria das vezes, desenvolve-se de forma silenciosa e gradual. As células do sistema nervoso são as mais sensíveis à falta de oxigenação, por isso, os principais sintomas estão relacionados ao sistema nervoso.

1º estágio (até 2 mil metros) - Estágio Indiferente: ocorre perda gradativa da visão noturna (cerca de 10%).

2º estágio (2 mil a 4 mil metros) - Estágio Compensatório: o sistema circulatório e respiratório começa a realizar as adaptações do organismo para melhorar a oxigenação, como aumento da frequência cardíaca, respiração mais ofegante (curta e rápida), tontura, cefaleia e sonolência, que estão entre os sintomas que podem ocorrer.

3º estágio (4 mil a 6 mil metros) - Estágio Prejudicado: os sintomas tornam-se mais acentuados, ocorre piora da cefaleia, perda da visão periférica, fadiga, sonolência, enjoo, parestesias, cianose, hiperventilação (com diminuição da concentração de gás carbônico no sangue (pCO2)) com maior dificuldade respiratória. É necessário, ao piloto, suplementar com oxigênio com pressão positiva ou baixar a altitude da aeronave, pois alguns minutos sob estas condições, os sintomas podem deixá-lo incapacitado.

4º estágio (acima de 6mil metros) - Estágio Crítico: com convulsão e perda da consciência.

Na aviação comercial, as principais causas de hipoxia hipóxica são a descompressão de uma cabine pressurizada ou falha nos sistemas de oxigenação da cabine e em voos não pressurizados acima de 10 mil pés (diurno) e 5 mil pés (noturno).

Alguns fatores podem influenciar no aparecimento e intensidade dos sinais e sintomas da hipoxia: altitude (do voo ou atividade na montanha), duração da exposição a baixa pressão atmosférica, velocidade de subida, temperatura do ambiente (temperaturas extremas de frio ou calor), temperatura corporal e fatores individuais, tais como o uso de álcool, drogas psicoativas, preparo físico inadequado, fadiga e presença de comorbidades.

Doença da Altitude

No contexto aeromédico, quando nos referimos a alterações fisiológicas na altitude, não podemos deixar de falar da doença de altitude (ou Doença Aguda das Montanhas, DAM), tanto na forma crônica quanto, principalmente, na aguda.

Algumas pessoas são condicionadas ao ambiente da altitude, como os moradores de montanhas, e assim apresentam adaptações em seus organismos. Porém, em indivíduos não condicionados previamente e/ou com doenças crônicas, podem ocorrer alterações agudas a fim de compensar a hipoxemia. Os sintomas mais comuns são: cefaleia, alterações visuais, alteração da memória espacial, tontura e formigamento em membros superiores e inferiores, podendo apresentar alucinações e até perda da consciência com a elevação da altitude.

Embora não se saiba tudo sobre as alterações moleculares e celulares, o processo de aclimatação pode ser iniciado em geral com um up-regulation de fator-1 induzido pela hipóxia, para compensá-la, incluindo aumento da ventilação pulmonar levando a um aumento na saturação de oxigênio, diurese reduzida, redução do volume plasmático de forma que mais oxigênio seja carregado por unidade de sangue, maior fluxo sanguíneo e entrega de oxigênio aos tecidos e, eventualmente, uma maior massa de hemoglobina circulante. A aclimatação seria o estágio final de como o ser humano pode melhor se ajustar à hipóxia. Mas uma aclimatação ótima leva de dias a semanas, e até meses. É nessa fase, entre a exposição inicial à hipóxia e o início da aclimatação, onde ocorre a Doença Aguda das Montanhas, podendo levar ao conhecido Edema Cerebral das Altas Altitudes. O grau de hipóxia, mais a taxa de mudança da normóxia, prediz o grau de gravidade e a possibilidade de desenvolver Edema Cerebral das Altas Altitudes.

Hipotermia

Com a elevação da altitude, as temperaturas vão diminuindo proporcionalmente, e este é outro fator agravante aos efeitos da hipóxia, caso não haja uma proteção adequada.

A vasoconstrição periférica está presente como forma de adaptação/proteção, seguida por broncoespasmo e urticária, podendo ocorrer isquemia grave. A inalação de gás frio tende a aumentar o grau de resfriamento do corpo, devido à grande superfície de troca gasosa dos pulmões. O frio pode afetar o desempenho cognitivo e psicomotor, pois o resfriamento dos tecidos prejudica a força muscular, diminui a velocidade de condução nervosa e reduz a mobilidade articular, geralmente abaixo de 20°C.

Disbarismo

A alteração de pressão, decorrente da alteração de altitude, pode provocar efeitos resultantes da ação mecânica da pressão sobre as células e espaços corporais, conforme já visto na lei dos gases de Boyle-Mariotte. Suas consequências são a aerodilatação (incluindo o barotrauma) e a embolia traumática pelo ar. Os efeitos secundários ocorrem devido às alterações fisiológicas produzidas em decorrência das pressões parciais dos gases absorvidos pelo organismo, como a doença descompressiva.

Aerodilatação

A aerodilatação ocorre devido à variação barométrica e refere-se aos problemas gerados pela expansão e retração gasosa nas cavidades corporais. A expansão do volume dos gases nas cavidades corporais apresenta sintomas quando ocorre restrição parcial ou total ao aumento do volume do gás ou quando não ocorre equalização entre a pressão interna e a externa. As principais cavidades afetadas são: orelha média, seios paranasais, cavidades dentárias e aparelho digestivo (estômago e intestinos).

Barotite ou barotrauma da orelha média

Durante a equalização da pressão interna com a externa na membrana timpânica, conforme a altitude aumenta, o volume gasoso na orelha média

aumenta e escapa pela trompa de Eustáquio para o meio externo pela cavidade oral. Já na diminuição da altitude, na maioria das pessoas, o ar não consegue entrar na orelha média pela trompa de Eustáquio, que não permite a entrada do ar da orofaringe para a orelha média, e o aumento da pressão externa em relação à interna faz com que a membrana timpânica fique abaulada em direção à orelha média.

A falta de equalização das pressões dentro da orelha média leva à sensação de orelha cheia e diminuição da audição e, caso continue, pode ocorrer um barotrauma (barotite) com dor intensa (lesão na membrana timpânica), zumbidos, surdez, vertigem (por afetar a orelha interna também). A intensidade dos sintomas dependerá do trauma sofrido e pode persistir por até 48 horas.

Esses sintomas são facilmente percebidos durante a descida da aeronave, mergulho, ida à praia, descida de montanhas. A melhor maneira de evitar o barotrauma é através da realização de manobras para aumentar a pressão na nasofaringe, abrindo a trompa de Eustáquio e equalizando as pressões, algumas vezes durante a descida. Na maioria das vezes, basta engolir a saliva, mastigar algo ou abrir e fechar a boca. Em bebês, amamentar ou dar mamadeira. Quando não é suficiente, deve-se realizar a Manobra de Valsalva, que é a expiração forçada com a boca e o nariz fechados, mantendo os músculos da bochecha contraídos, sem inflá-las. Quando a manobra não é eficaz, pode-se tentar associar movimentação da mandíbula e inclinação de cabeça para os lados.

Barossinusite ou barotrauma dos seios paranasais

Assim como na barotite, na presença de infecções de vias aéreas superiores, sinusites ou crises de rinite, ocorre congestão nasal, com edema da mucosa e obstrução dos orifícios por onde a comunicação entre o ar dos seios da face e ambiente externo deveria ocorrer. Quando mudanças repentinas na pressão ambiente não são compensadas por mecanismos de equalização de força dentro dos seios paranasais, ocorre o barotrauma.

Na descida e no mergulho, assim como na orelha média, quando a pressão externa fica maior que a interna, ocorre uma sucção nas mucosas que

revestem os seios da face, provocando danos na mucosa, resultando mais comumente em dor facial e/ou pressão sobre os seios afetados (92%), dor de cabeça, lacrimejamento, odontalgia e, em casos mais graves e raros, epistaxe. Os seios frontais pareados são mais comumente afetados, seguidos pelos seios maxilares e, mais raramente, os seios esfenoidais. Não há casos relatados de barossinusite etmoidal, provavelmente devido à sua localização e configuração anatômica circundante.

Battisti et al. revisou estudos de mergulho e aviação e mostrou que a prevalência de barossinusite varia de 34% em mergulhadores a 19,5% a 25% em pilotos, e na presença de infecção das vias aéreas aumenta para 34% em pilotos de caça e 55% em pilotos de voos comerciais. Assim como na barotite, a melhor maneira de prevenir o barotrauma é não voar ou mergulhar na presença de infecções das vias aéreas, principalmente sinusites. Caso apresente rinite, trate-a antes de viajar, pois o ar seco e frio dentro das aeronaves pode desencadear crises alérgicas de rinite. O uso de vasoconstritores nasais pode aliviar os sintomas durante o voo e antes do procedimento de descida.

Aparelho digestivo

Os gases no estômago são provenientes da aerofagia, concomitante à deglutição de alimentos e na fala, da liberação de gás carbônico por fermentação dos alimentos pelas bactérias da flora intestinal e da troca gasosa entre os tecidos corporais e o sangue. Normalmente, esses gases vão sendo eliminados simultaneamente com a ascensão da aeronave, tanto pela via oral quanto anal. A 10 mil pés, o volume aumenta 50%. Os sintomas mais frequentes da dilatação são o desconforto abdominal, cólicas e distensão abdominal. Em alguns casos, a dor pode tornar-se insuportável, com associação de dor torácica e falta de ar. O tratamento é a liberação dos gases através da flatulência e eructações. A prevenção é feita com movimentação na aeronave, que ajuda na distribuição dos gases, assim como uma dieta balanceada antes do voo, evitando alimentos que provocam mais formação de gases e bebidas gasosas. E não viajar de avião na vigência de infecções intestinais (gastroenterites).

Dentes

Problemas odontológicos, como abscessos dentários ou problemas de canal, são temporariamente incapacitantes e o voo é contraindicado, até que o tratamento esteja finalizado. Pois a dilatação dos gases aprisionados nos canais dentários e abscessos causam dores intensas.

Doença descompressiva

A doença descompressiva é causada pela formação de bolhas gasosas nos tecidos e fluidos corporais devido à diminuição da pressão atmosférica com a elevação da altitude. Isso é explicado pelas leis dos gases de Henry e Boyle-Mariotte.

A importância da doença descompressiva ultrapassa o âmbito da aviação. Mergulhadores recreativos e profissionais, trabalhadores em minas subterrâneas, todos precisam ter conhecimento sobre a descompressão e recompressão, bem como os sintomas de embolia gasosa para poderem reconhecê-los e preveni-los. A doença descompressiva ocorre em cerca de 2 a 4/10.000 mergulhadores recreativos. A incidência é maior entre mergulhadores comerciais, que muitas vezes têm pequenas lesões musculoesqueléticas. Os fatores de risco incluem: mergulhos em baixa temperatura (a vasoconstrição retarda a circulação e a liberação do nitrogênio), desidratação, exercício após o mergulho, fadiga, voar depois de mergulhar, obesidade, idade avançada, mergulhos prolongados ou profundos e subidas rápidas. Como o excesso de nitrogênio permanece dissolvido nos tecidos do corpo durante pelo menos 12 horas depois de cada mergulho, mergulhos repetidos têm maior probabilidade de causar doença descompressiva.

Os sintomas geralmente iniciam-se gradualmente e incluem mal-estar, fadiga, perda de apetite e cefaleia. Os sintomas ocorrem em superfície em até 50% das pessoas dentro de 1 hora e em torno de 90% em até 6 horas. Mais raramente, os sintomas podem se manifestar tardiamente, de 24 a 48 horas após a chegada à superfície, geralmente após exposição a altitude depois do mergulho (como em uma viagem aérea), sem cumprir o tempo mínimo de espera após emergir à superfície.

Na forma leve da doença (osteoarticular e cutânea), o sintoma agudo mais comum é a dor articular nos ombros, cotovelos e joelhos. Inicialmente, ela é leve e intermitente, mas pode aumentar progressivamente a intensidade e tornar-se incapacitante, sem dor à palpação local, sem sinais de inflamação local, sem restrição de mobilidade e de difícil descrição de como é a dor. Ocorre pela formação de bolhas de ar nos tendões juntos às articulações e intra-articular. Dentre os efeitos tardios, a osteonecrose no úmero e fêmur podem causar dor intensa e incapacitação. E dependendo do tempo de evolução, podem ser irreversíveis. O prurido pode ser intenso, com erupção cutânea e marmoreamento cutâneo (pele mosqueada), principalmente no tronco e coxas, pela obstrução dos capilares da pele. Pode ocorrer dor abdominal e enfisema subcutâneo, pela formação gasosa no subcutâneo.

Na forma grave (neurológica, pulmonar e circulatória), os sintomas neurológicos podem variar de uma leve dormência a uma disfunção cerebral. No acometimento do sistema nervoso central, a cefaleia é a principal manifestação, mas pode ocorrer confusão mental, dificuldade para falar, diplopia. A perda de consciência é rara. Pode acometer o nervo óptico e ocorrer alteração visual, com visão borrada, escotomas, hemianopsia. A fadiga pode ser extrema. A medula espinhal é particularmente o local mais vulnerável e sintomas como parestesias (formigamentos), dormência, fraqueza podem preceder uma paralisia irreversível se o tratamento for tardio ou inadequado.

A incapacidade de urinar ou incapacidade de controlar a micção ou a defecação também pode ocorrer. Quando acometem os nervos periféricos, pode levar a nevralgias. Os nervos da orelha interna podem ser afetados e causar vertigem intensa com vômitos, perda auditiva, zumbido. A forma mais grave da doença ocorre pela obstrução disseminada dos vasos sanguíneos pulmonares pelas bolhas de nitrogênio, provocando tosse, dor no peito, sudorese e agravam progressivamente a dificuldade para respirar, podendo levar à morte.

O tratamento nas formas mais graves deve ser imediato, diminuindo a altitude, se estiver em altitude elevada, ministrando oxigênio e realizando o quanto antes a recompressão em uma câmara com oxigenioterapia hiper-

bárica. É fundamental que aviadores, mergulhadores e unidades de resgate tenham conhecimento da localização da câmara hiperbárica mais próxima. A prevenção durante a realização do mergulho é a melhor maneira de evitar complicações.

Microgravidade

A exploração espacial traz um imenso desenvolvimento tecnológico para que astronautas possam viajar ao espaço, permanecer e trabalhar na estação espacial e, nos últimos anos, indivíduos comuns podem viajar ao espaço. A vida não é possível sem trajes protetores e cabines seladas nesse ambiente

Apesar de ainda não existirem mecanismos seguros em órbita que simulem a gravidade, o que torna inevitável as alterações fisiológicas adaptativas decorrentes da sua ausência, as contramedidas resolutivas adotadas são parcialmente eficazes.

As adaptações do corpo humano neste complexo novo sistema vão desde a clássica e conhecida perda osteomuscular, até a distensão de átrios e ventrículos, aumento do diâmetro torácico, redução do volume plasmático, anemia, aumento da atividade simpática, calciúria, fosfatúria, natriurese, edema óptico, desorientação neurovestibular e alterações no sistema imunológico, entre outras.

A maior parte destas adaptações permanece durante o período em que o indivíduo esteja no ambiente de microgravidade, porém casos pontuais vêm se apresentando com permanência prolongada, necessitando de tratamento médico.

Referências bibliográficas

BATTISTI, Amanda S.; LOFGREN, Daniel H.; LARK, Jarratt. **Barosinusitis**. [S.l.]: StatPearls Publishing LLC, c2022. E-book Diponível em:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470207/

Acesso em: 19 abr. 2022.

BERNARDES, Luana. **Termosfera.** Todo Estudo. Disponível em: https://www.todoestudo.com.br/geografia/termosfera. Acesso em: 19 abr. 2022.

Mundo Educação. Camadas da atmosfera. Disponível em:

https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/camadas-atmosfera.htm

Acesso em: 19 abr. 2022.

DAVIS, Jeffrey R. *et al*. **Fundamentals of Aerospace Medicine**. 4th ed. [S.l]: Lippincott, 2008.

GONG H. Advising pulmonary patients about commercial air travel. **Journal of Respiratory Diseases and Medicine**. v.111, p.349-351,1 set 1989.

GRADWELL, David P.; RAINFORD, David J. (ed.). **Ernsting's aviation and space medicine**. 5th ed. [S. l.: s. n.], 2016.

IMRAY Chris, et al. Acute mountain sickness: pathophysiology, prevention, and treatment**.** **Progress in Cardiovascular Diseases**. v.52, n.6, p.467-8, maio/jun. 2010 doi: 10.1016/j.pcad.2010.02.003.

LUKS, A.M.; HACKETT P.H. Medical conditions and Hight-Altitude Travel. **The New England Journal of Medicine**. v.386, n.4, p.364-373, 7 jan. 2022. Doi: 10.1056/NEJMra2104829

RUSSOMANO, Thais; CARVALHO, João. **A fisiologia humana no ambiente aeroespacial**. InnovaSpaceBook: Londre, 2020. *E-book* ISBN: 9780463285633

TANAKA, K., NISHIMURA, N. & KAWAI, Y. Adaptation to microgravity, deconditioning, and countermeasures. **The Journal of Physiologual Sciences**. V.67, p.271–281, 2017.

https://doi.org/10.1007/s12576-016-0514-8

WAGNER, Peter D. Altitude Physiology then (1921) and now (2021): meat on the bones. **Physiological Reviews**. v.1, n.102, p.323-332, 15 nov. 2021. DOI: 10.1152/physrev.00033.2021 Disponível em:

https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/physrev.00033.2021?rfr_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org

Acesso em: 19 abr. 2022.

4

EMERGÊNCIA MÉDICA A BORDO E CONTRAMEDIDAS EFETIVAS

Dr. André Di Guimarães
e Drª. Mayan Monzillo

Orientadores:

Profa. Nétye N. Brusamarello
e Profa. Drª. Vânia E. R. Melhado

introdução

ESTE CAPÍTULO APRESENTA O CONCEITO E DISCUSSÃO CIENTÍFICA SOBRE AS EMERGÊNCIAS MÉDICAS A BORDO DE AERONAVES UTILIZADAS PARA VOOS COMERCIAIS E ABORDA AS CONTRAMEDIDAS PARA ATENUÁ-LAS.

Como se trata de situações que devem ser compreendidas como complexas devido à interação de vários fatores, como a doença desencadeante, rota, medicação, aeroporto, ambiente hipobárico, suporte básico à vida, primeiros socorros, avaliação médica em voo presencial e remota, entre outras, este capítulo será desenvolvido em seis seções.

Conceito

Emergência médica a bordo trata-se de uma ocorrência em voo que envolve algum cuidado para a manutenção/preservação da saúde do passageiro, podendo variar no grau de gravidade de menos grave a muito grave, sendo mais bem definida como Ocorrência Médica em Voo a fim de não se confundir com as emergências médicas em outros ambientes, como os avançados no suporte à vida. Devido a aviação comercial ter como objetivo operacional o transporte do passageiro saudável, é muito importante entender a complexidade desta ocorrência médica, pois temos aqui algumas situações/fatores que certamente contribuem para esse desfecho inesperado em voo. São eles: aeroporto com carga de estresse físico e mental, estado de saúde do indivíduo, alteração posológica de medicação, ambiente hipobárico da aeronave, entre outros. (2)

Epidemiologia e estatísticas para ocorrências médicas a bordo

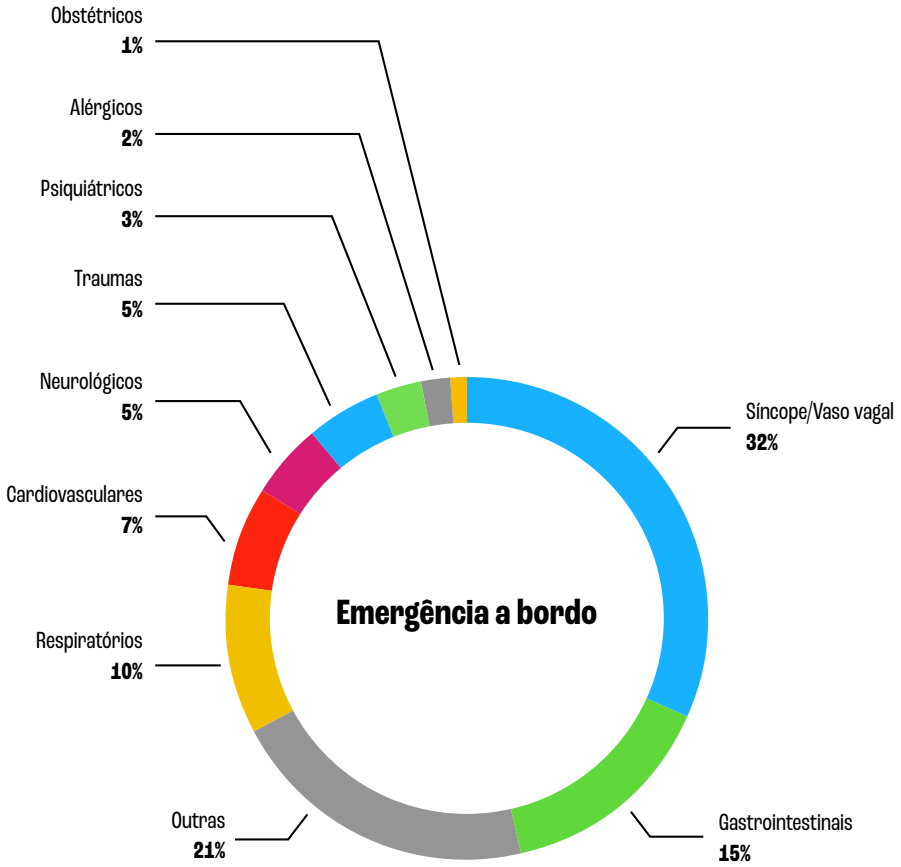
Embora o número exato de ocorrências médicas a bordo seja difícil de se ter devido às diferentes regulamentações e à multicomplexidade envolvida na operação aérea, ter como indicador de gravidade o número de mortes em voo e voos alternados parece ser um bom indicador. Considerando a IATA como fonte de dados e ainda usando os dados referentes ao período pré-pandemia, pois o impacto desta foi muito grande no transporte aéreo, a ocorrência médica em voo é baixa, em torno de 1 ocorrência médica para 18 milhões de RPK (Revenue Passenger Kilometers), sendo que a tradução mais próxima possível se refere a quilômetros voados por passageiro pagante. E a morte em voo varia em torno de 1 morte para 5,7 milhões de RPK, ou 0,02 a 0,05/RPK, mostrando que é incomum.

Em porcentagem, Mustafa et al. analisaram 10.100.000 passageiros voando na rota Europa/Ásia e encontraram que a ocorrência médica foi em torno de 0,013% (1).

Embora o número e a gravidade sejam muito baixos nesse tipo de operação, as contramedidas para evitá-las devem ser constantemente revisadas, pois o impacto nesse tipo de operação é gravíssimo. Assim, iremos agora conhecer as síndromes mais frequentes em voo.

Segundo Martin-Gill et al., onde 49.100 ocorrências médicas em voo foram analisadas em cinco empresas aéreas internacionais, a síncope vasovagal foi a que teve maior prevalência, seguida de eventos gastrointestinais, respiratórios, cardiovasculares, neurológicos, entre outros (2).

Figura 4.1



Fonte:

Outro fator que parece ser relevante é a duração do voo.

De acordo com Alves et al., da *Med Aire Inc*, observou-se que em voos de curta a média duração (até quatro horas), houve predominância das causas cardiológicas, ligadas à dor torácica, insuficiência coronária aguda, entre outras. Por outro lado, em voos de longa duração, as maiores causas estão associadas a outras de origem cardíaca em geral, até mesmo parada cardíaca (3).

No que se trata de causas neurológicas, observa-se um aumento progressivo sustentado pelos casos de convulsão e estado mental alterado, com destaque para este último que foi responsável por mais de 40% dos casos em voos de longa duração com rota alternada. Já a incidência de Acidente Vascular Cerebral diminuiu progressivamente de quase 30% nos voos de curta duração para em torno de 10% nos voos de longa duração.

Novamente, chama a atenção os casos médicos diagnosticados como Síncope Vaso-Vagal, os quais se mantiveram em números estáveis considerando voos de curta, média e longa duração.

Desta forma, podemos afirmar que embora a operação aérea seja desenhada para o passageiro saudável, as ocorrências médicas com conotação de emergência médica ocorrem e, assim, as contramedidas são de extrema necessidade, tais como análise de documentação médica prévia de triagem para liberação de passageiros enfermos, avaliação constante do tipo de ocorrência médica, medicação e aparelhos de suporte, treinamento da tripulação, entre outras, como veremos abaixo.

Fatores contribuintes e contramedidas para ocorrências médicas em voo

Ambiente Hipobárico

Para o indivíduo saudável, as adaptações do organismo humano em aeronave pressurizada em torno de 2438,4 metros (8000 pés) são imperceptíveis. Porém, para indivíduos com doenças pré-existentes, estas adaptações, principalmente com baixa concentração de oxigênio, podem ser significativas. Condições como, por exemplo, doença pulmonar crônica, doença isquê-

mica cardíaca e pós-operatórios também devem ser observadas. Algumas destas, como a adaptação em doenças pulmonares crônicas, por exemplo, são de fácil predição clínica, outras necessitam de avaliações através de exames complementares ou testes de simulação à altitude.

Para essas situações de saúde, existem regulamentações específicas para liberação de passageiros enfermos. Médicos especialistas que prestam atendimento dentro das empresas aéreas geralmente fazem a validação dos passageiros que informam alguma condição desfavorável de saúde e estabelecem a liberação para o voo.

Contramedidas - análise de passageiro enfermo pré-voo

A Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA) recomenda o preenchimento de um formulário específico para avaliação das equipes médicas antes do embarque. Este formulário, descrito pela sigla MEDIF (*Medical Information Form*), é utilizado quando a solicitação é pontual, enquanto o FREMEC (*Frequent Traveller Medical Card*) é utilizado quando a condição de necessidade do cuidado da saúde do passageiro em voo é estável, com validade de no mínimo 365 dias. Em termos práticos, o passageiro descreve suas necessidades, o médico assistencial descreve a doença e as particularidades de seu paciente, e os médicos das empresas aéreas analisam o impacto da doença no ambiente hipobárico para liberação ou não do passageiro em questão para viagem. Este fluxo de informações é altamente relevante, pois é direcionado para a segurança do próprio passageiro com doença pré-existente e para o respaldo das companhias aéreas.

Algumas condições apresentam contraindicação para viagem por via aérea, como por exemplo casos de *Angina Pectoris*, insuficiência cardíaca congestiva instável, asma de difícil controle (instável e grave) e pós-operatórios recentes, por exemplo. Outras condições, devido à adaptação ao ambiente hipobárico, só serão possíveis com aparelhos médicos de suporte, tal como concentrador de oxigênio.

Contramedidas - atendimento a ocorrência médica a bordo, kit de primeiros socorros e suporte a vida

A grande maioria destas circunstâncias ou eventos, em termos de pronto atendimento, fazem parte do conteúdo de treinamento de emergências das Tripulações das aeronaves (Comissários de Voo), que de forma geral, são os primeiros a identificar situações anormais em termos de saúde dos passageiros. Por isso, a assistência primária é provida por esses profissionais que são treinados para tal. Porém, algumas limitações regulamentares trazem a necessidade de contar com profissionais da saúde, quando identificada a necessidade de algum procedimento diagnóstico seguido da aplicação de medicação por qualquer via.

Para casos de maior complexidade, é importante considerar que profissionais de saúde devem ser integrados à equipe colaborativa, seja presencial ou remotamente, de forma regulamentada.

Os regulamentos que regem esses dois itens também estabelecem que o Conjunto Médico de Emergência, Conjunto de Primeiros Socorros e Conjunto de Precaução Universal devem ser embarcados em cada aeronave, considerando a capacidade de passageiros (assentos disponíveis) e, com relação ao treinamento, todos os tripulantes de voo (Comissários e Pilotos).

Os assim denominados kits têm seus conteúdos determinados pelos regulamentos, além de itens que os Médicos das companhias aéreas acreditam ser colaborativos em um atendimento emergencial, baseados em incidentes vivenciados ou mesmo nas recomendações da indústria, desde que não gerem impacto negativo no armazenamento, interferência por pressão e qualidade do ar em ambiente hipobárico. Algumas companhias aéreas possuem juntos aos kits mencionados, desfibriladores portáteis a bordo.

No Brasil, este item é regulado pela ANAC através do Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil (RBAC) 121 anexo A. Como já mencionado, a quantidade de cada conjunto por aeronave segue também o regulamento acima citado, que considera a quantidade de assentos ofertados por aeronave. Abaixo, exemplo de quantidade de Conjunto de Primeiros Socorros por quantidade de assentos:

Tabela 4.1: N.º de assentos x n.º conjuntos de primeiros socrros

ASSENTOS	CONJUNTOS DE PRIMEIROS SOCORROS
0-100	1
101-200	2
201-300	3
301-400	4
401-500	5
Acima de 500	6

Fonte:

Contramedidas - Suporte Remoto a Emergências Médicas-GBMS

O Suporte Remoto a Ocorrências Médicas em Voo, conhecido pela sigla em inglês (GBMS) *Ground Based Medical Suport*, vem crescendo ultimamente, uma vez que suporta a tomada de decisão sobre voo alternado e oferece apoio operacional neste sentido.

Propedeutica médica em voo

O ambiente da aeronave não é projetado para emergências médicas. Assim, quando a atuação do médico voluntário se faz necessário, este encontra dificuldade na sua atuação somada ao ambiente básico de suporte com suas ferramentas de vida, o ruído inerente ao voo, iluminação insuficiente e vibração do voo. Assim, em ambiente simulado de voo durante treinamento de alunos de terceiro ano da graduação médica da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo (Melhado et al.), compararam a percussão e ausculta cardíaca e também a percussão e ausculta pulmonar. Estes alunos foram divididos em duplas, alternando-se na ausculta cardíaca e pulmonar e percussão de acordo com as práticas acadêmicas.

A simulação foi feita em silêncio e com ruído simulado do ambiente de voo, a medida usada foi o decibel (dB). Os resultados mostraram que a ausculta dos aparelhos cardíaco e pulmonar foi prejudicada no ambiente si-

mulado, enquanto a percussão do pulmão não se alterou, mostrando que a prática propedêutica da percussão pulmonar é efetiva neste ambiente (4).

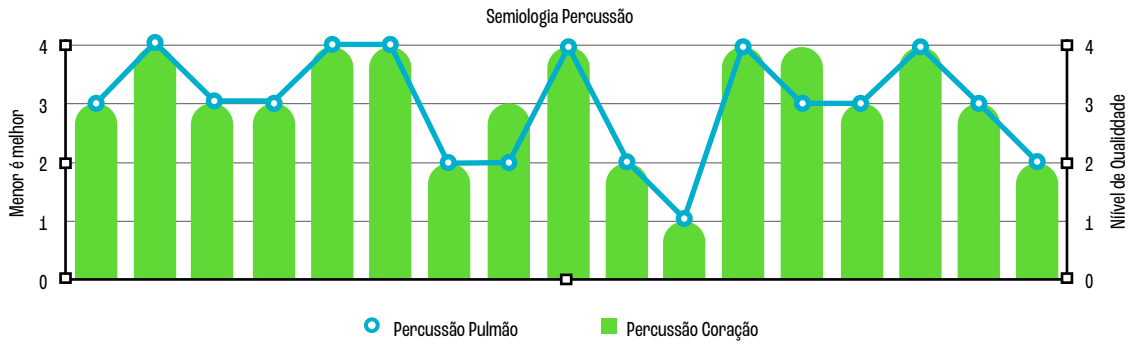
O método acima foi replicado agora com os 17 estudantes de pós-graduação Lato Sensu em Medicina Aeroespacial, onde estes médicos realizaram ausculta e percussão cardíaca e pulmonar em silêncio e com ruído simulando as condições de voo.

Para a ausculta, foram usados o estetoscópio e a percussão realizada segundo a prática da propedêutica médica. O ruído simulado variou de 120 dB durante a decolagem a 80 dB geralmente encontrado nos voos de cruzeiro.

O critério usado foi: (1) boa, (2) razoável, (3) quase nada e (4) nada.

Para percussão, o gráfico abaixo não evidenciou diferenças entre a semiologia cardíaca e pulmonar:

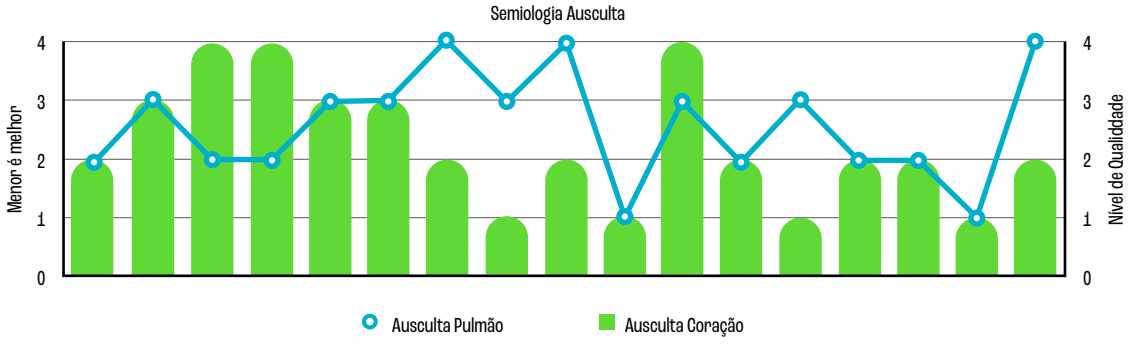
Figura 4.2



Fonte:

Já quanto a ausculta, evidenciou-se uma diferença da qualidade de ausculta entre a semiologia cardíaca e pulmonar:

Figura 4.3



Fonte:

Por fim, comparou-se a qualidade do exame físico quanto a ausculta e percussão verificando-se os resultados abaixo:

Figura 4.4.

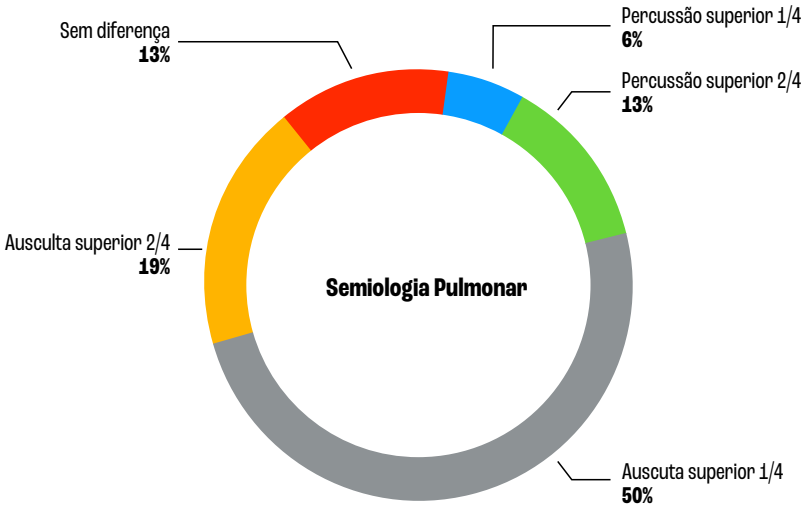
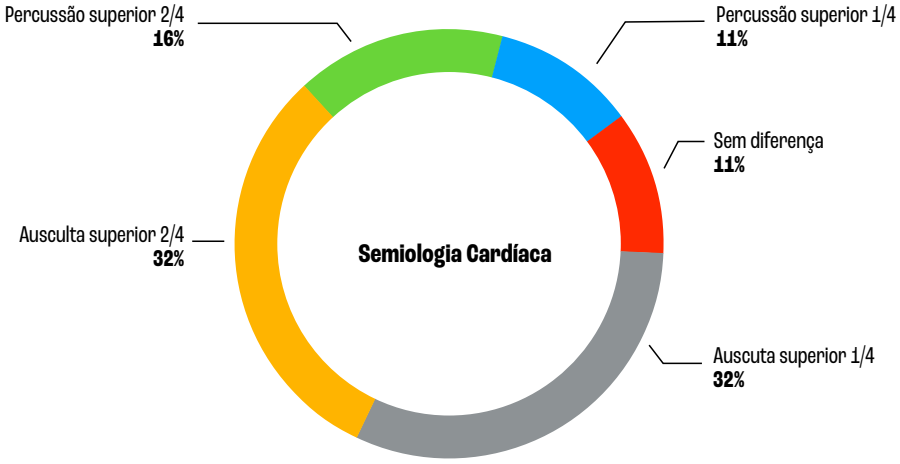


Figura 4.5.



Fonte:

Tanto na semiologia cardíaca quanto pulmonar, para este grupo de estudo, verificou-se que a ausculta foi superior (69% pulmonar e 64% cardíaca) nos resultados.

Mas isso significa que a ausculta é superior?

Não, um estudo semelhante foi realizado com estudantes de medicina durante o estágio de propedêutica médica, no qual o resultado obtido foi que a percussão pulmonar foi o melhor método diagnóstico. O que se pode inferir, além da necessidade de um número maior de participantes, é que a propedêutica cardiopulmonar depende da prática do médico examinador.

Conclusão

Emergência Médica em Voo é condição rara, a maior parte são ocorrências de sintomas com pouca ou nenhuma gravidade.

Dentre as emergências médicas mais comumente encontradas estão: síncope ou pré-síncope, sintomas do aparelho gastrointestinal, sistema respiratório, cardiovasculares e neurológicos.

Parada cadiorrespiratória em voo é evento raro.

A triagem dos passageiros declarados enfermos deve ser prática comum das empresas aéreas.

A propedêutica médica em voo deve ser considerada como parte do atendimento pelo médico, especialmente a percussão do aparelho respiratório.

Referências bibliográficas

1. MUSTAFA, K. *et al*. Inflight emergency during eurasian flights. **Journal of Travel Medicine.** v.22, n.6, p.361-367, nov. 2015. Disponível em:

https://academic.oup.com/jtm/article/22/6/361/2635582?login=true

Acesso em: 16 maio 2022.

2.MARTIN-GILL, C.; DOYLE, T.J; YEALY D.M. In-Flight Medical Emergencies: a review. **JAMA**. v.320, n.4, p. 2580-2590. Disponível em:

https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2719313

Acesso em: 16 maio 2022.

3. ALVES, Paulo; FARNIE, David; NERWICH, Neil. **In-Flight medical events affecting crewmemebrs in ultra-long-haul flights**. International SOS. London, United Kingdom.

4.CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA.**Medicina Aeroespacial**: orientações gerais para médicos a bordo. Brasília, DF: CFM,2018. ISBN:9788587077561

5.IATA.**Medical Manual.** 12th ed. Montreal; Geneva: IATA, 2020. ISBN: ISBN 978-92-9264-250-1 Disponível em:

https://www.medicaltourismtraining.com/wp-content/uploads/2020/09/IATA-Medical-Manual-2020.pdf

Acesso em: 16 maio 2022.

5

TRANSPORTE AEROMÉDICO

Drª. Flavia Cristina Navarro
e Dr. Mario Eduardo Francisco Arguello

Orientador:
Prof. Dr. Ricardo Galesso

introdução

NESTE CAPÍTULO, ABORDAREMOS ASSUNTOS REFERENTES AO ATENDIMENTO DE PACIENTES DURANTE A TRANSFERÊNCIA INTER-HOSPITALAR ATRAVÉS DE AERONAVES, DESIGNADO COMO REMOÇÃO AEROMÉDICA (RAM). É IMPORTANTE RESSALTAR ASPECTOS PECULIARES SOBRE A LEGISLAÇÃO, FISIOLOGIA DA ALTITUDE, PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO, DINÂMICA DA ASSISTÊNCIA DO PACIENTE AEROTRANSPORTADO, ALÉM DA LEGISLAÇÃO VIGENTE. (1)

A utilização de aeronaves para missões de resgate foi desenvolvida durante os conflitos armados da humanidade, com relatos desde a Guerra Franco-Prussiana, em 1870, através de balões de ar quente, e posteriormente nas Guerras Mundiais (I e II), Coreia e Vietnã. Em 1973, com base na experiência militar, foi iniciado o primeiro serviço aeromédico civil em Maryland, nos Estados Unidos. O sucesso deste serviço serviu de base para a expansão do atendimento aeromédico para outros países, como Reino Unido, Alemanha e Japão. (2)

No Brasil, visando regulamentar e uniformizar os serviços de urgência do país, o Ministério da Saúde publicou, em 2002, a Portaria 2048 (3), que normatizou a classificação das ambulâncias segundo características operacionais. A "Aeronave de Transporte Médico" é considerada Tipo E e é caracterizada como aeronave de asa fixa ou rotativa utilizada para transporte inter-hospitalar de pacientes e aeronave de asa rotativa para ações de resgate, dotada de equipamentos médicos homologados pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

Para o atendimento desses pacientes e posterior remoção aeromédica, devemos enfatizar a necessidade de estabelecer critérios de triagem que garantam a segurança de todo o processo, levando em consideração a estabilidade clínica e a segurança para o voo.

Transporte aeromédico: segurança em primeiro lugar

O atendimento realizado por aeronaves deve ser sempre considerado como de suporte avançado de vida e deve contar no mínimo com um piloto, um médico e um enfermeiro. Tratando-se de atendimento às urgências traumáticas em que sejam necessários procedimentos de salvamento, é indispensável a presença de profissional capacitado para tal (4,5). As medidas a serem tomadas antes de cada voo incluem: verificar a segurança das áreas de pouso e decolagem, compatibilizando, na medida do possível, as necessidades do paciente com as do voo.

O conceito de transporte inter-hospitalar refere-se à transferência de pacientes entre unidades não hospitalares ou hospitalares de atendimento

às urgências e emergências, unidades de diagnóstico, terapêutica ou outras unidades de saúde que funcionem como bases de estabilização para pacientes graves, de caráter público ou privado (3).

O Transporte Aeromédico poderá ser indicado em aeronaves de asa rotativa, quando a gravidade do quadro clínico do paciente exigir uma intervenção rápida e as condições de trânsito tornem o transporte terrestre muito demorado, ou em aeronaves de asa fixa, para percorrer grandes distâncias em um intervalo de tempo aceitável diante das condições clínicas do paciente. A operação deste tipo de transporte deve seguir as normas e legislações específicas vigentes.

Legislação

Conforme a legislação vigente, ninguém pode operar uma aeronave transportando passageiros, a menos que essa aeronave possua a bordo equipamentos de emergência (kit de primeiros socorros) que devem ser prontamente acessíveis aos tripulantes, cuidadosamente guardados em local seguro e livre de poeira, umidade ou temperaturas que possam danificá-los (6).

Por meio da participação de entidades do setor aéreo, Conselho Federal de Medicina (CFM) e Conselho Federal de Enfermagem (COFEN), conforme disposto na Portaria 4.696, de 31 de março de 2021, da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), foi criado o Comitê Técnico de Serviço de Transporte Aeromédico (CT-STA), cujo trabalho sustentou a criação da Instrução Suplementar (IS) nº 135-005A, de abril de 2022, que simplificou e modernizou o processo de autorização de transporte aeromédico, com foco nos aspectos de segurança operacional. Atualmente, os procedimentos e treinamentos desenvolvidos podem ser incluídos nos manuais e programas já existentes da empresa, sem exigir manual específico (MAMED) (6, 14).

Capacitação específica dos profissionais de transporte aeromédico (3)

Os profissionais devem ter noções de aeronáutica e de fisiologia de voo. Essas noções de aeronáutica e noções básicas de fisiologia de voo de-

vem seguir as determinações da Diretoria de Saúde da Aeronáutica, e da Divisão de Medicina Aeroespacial.

Ambulâncias

Define-se ambulância como um veículo (terrestre, aéreo ou aquaviário) que se destine exclusivamente ao transporte de enfermos.

TIPO E – Aeronave de Transporte Médico: aeronave de asa fixa ou rotativa utilizada para transporte inter-hospitalar de pacientes.

Responsabilidades/atribuições da equipe de transporte

Ficam estabelecidas as seguintes responsabilidades/atribuições à Equipe de Transporte:

a) Acatar a determinação do médico regulador quanto ao meio de transporte e tipo de ambulância que deverá ser utilizado para o transporte;

b) Informar ao médico regulador caso as condições clínicas do paciente no momento da recepção do mesmo para transporte não sejam condizentes com as informações que foram fornecidas ao médico regulador e repassadas por este à equipe de transporte;

c) Registrar todas as intercorrências do transporte no documento do paciente;

d) Passar o caso, bem como todas as informações e documentação do paciente, ao médico do serviço receptor;

e) Comunicar ao médico regulador o término do transporte;

f) Conduzir a ambulância e a equipe de volta à sua base.

Resposta do organismo à atitude

Fisiologia na altitude

A concentração de oxigênio no ar atmosférico é constante, ou seja, 20,93%, independentemente da altitude, mas a pressão barométrica de oxigênio diminui à medida que a altitude aumenta, levando à hipóxia na fisiologia das grandes altitudes.

Ao nível do mar, temos uma pressão barométrica de 760 mmHg, uma PO2 no ar de 159 mmHg e uma saturação de oxigênio arterial de 97%. A 9000 metros, temos uma pressão barométrica de 226 mmHg e uma PaO2 no ar de 47mmHg, levando a uma saturação de oxigênio arterial de 24% (7).

Os efeitos agudos da hipóxia são observados a uma atitude de 3700 metros em indivíduos saudáveis (sonolência, prostração, fadiga, cefaleia, euforia) com progressão da sintomatologia até convulsões e coma.

Considerando a necessidade do transporte ágil e seguro do paciente a grandes distâncias, cabe à equipe do transporte aeromédico decidir sobre a necessidade de uma aeronave pressurizada para o transporte.

Devemos considerar ainda no ambiente hipobárico outros fatores que possam influenciar a fisiologia do corpo humano, como a expansão dos gases, efeitos da aceleração da aeronave, diminuição da umidade e alteração de temperatura. Todos esses fatores agem como dificultadores do transporte seguro (8).

A presença de ruídos da aeronave, além de fator estressante para o paciente e a equipe (9,10), impede a avaliação auscultatória eficiente, de forma que praticamente perdemos essa ferramenta semiológica tão importante no dia a dia da prática clínica. Já a percussão e palpação tornam-se essenciais na semiologia aérea.

O paciente enfermo na altitude

O principal motivo para a realização do transporte aeromédico é o acesso a recursos especializados. Em um país continental como o Brasil,

com concentração de recursos em grandes capitais, familiares, equipe médica ou o próprio doente solicitam a transferência para centros de referência. Porém, é de fundamental importância que o paciente esteja estável do ponto de vista de todos os sistemas para um transporte seguro e tranquilo.

A equipe de transporte deverá realizar a pré-avaliação antes de desencadear o início do transporte, e a comunicação com a equipe que atende ao paciente deve ser clara e eficaz, de forma que todos os recursos - equipamentos e medicações necessárias - estejam disponíveis de forma segura na aeronave.

Para uma sistematização da avaliação pré-transporte é importante que a equipe tenha as seguintes informações:

- **Anamnese** - história sucinta da condição clínica;
- **Comorbidades** (sistemas respiratório, circulatório, neurológico, ortopédico - presença de imobilizações);
- **Dispositivos** (cânula/número/fixação/drenos/gastrostomia/traqueostomia);
- **Acessos:** central/periférico;
- **Drogas vasoativas e medicações**;
- **Quadro neurológico/sedação**.

O transporte

É de fundamental importância o entendimento do paciente e da família que o transporte aeromédico é diferente do resgate aéreo, situação em que o paciente é retirado do cenário do trauma e transferido para uma unidade hospitalar. O transporte aeromédico é realizado de uma unidade hospitalar para outra unidade hospitalar, e para sua realização o paciente deve estar clinicamente estável.

Os objetivos do transporte aéreo são:

- Preparação adequada do paciente;

- Utilização adequada dos recursos disponíveis;
- Prevenção de atrasos durante os transportes;
- Provisão de um ambiente de transporte seguro para pacientes e pessoal;
- Monitoramento preciso em rota do paciente para mudanças de status;
- Entrega segura para o nível apropriado de cuidados;
- Resposta rápida e eficaz às mudanças na condição do paciente (8).

O doente e sua família devem ser informados de que o transporte só será realizado com o paciente estável, para sua própria segurança e segurança de voo. Fatores como a distância percorrida, possíveis locais para pouso de emergência e tipo de aeronave (asa rotativa ou fixa, pressurizada ou não) deverão ser previamente discutidos com a Coordenação de voo, equipe de transporte e clientes.

Funções do médico a bordo

Avaliação:

a) Avaliar a real necessidade de transporte do determinado paciente em questão.

b) Proporcionar a cada paciente o acesso ao centro médico capaz de prover o melhor tratamento.

c) Orientar o médico responsável para agilizar a estabilização do paciente através de medidas do protocolo do transporte aeromédico, para ganhar tempo.

d) Obter, junto ao médico responsável, transporte para a equipe aeromédica, do local do pouso da aeronave até o hospital em que o paciente se encontra.

e) Solicitar ao médico responsável um relatório detalhado sobre o caso.

f) Informar ao médico responsável o tempo previsto para a chegada da equipe aeromédica ao hospital de origem do chamado.

g) Definir, junto com os outros profissionais de saúde e o Comandante, o melhor modo de transporte para cada paciente, bem como as conexões necessárias.

h) Comunicar à equipe aeromédica para que possa planejar cuidadosamente o transporte, ou seja: checklist do equipamento, medicação específica e cuidados específicos.

O objetivo é obter a melhor estabilização possível, o que é facilitado em locais adequados e torna-se quase impossível em locais não apropriados, como aeródromos.

Preparação do paciente para o transporte (recebimento):

a) Respeitando as normas internas de cada instituição, a equipe de profissionais de saúde deve dirigir-se ao setor no qual se localiza o paciente, identificando-se ao responsável pelo individuo transportado.

b) Verificar e confirmar o quadro clínico do paciente.

c) Avaliar as condições gerais do paciente e repassar ao médico regulador conforme protocolo.

d) Observar e anotar quais medicações estão sendo administradas, incluindo rotulação, concentração, dosagem e velocidade de infusão.

e) Verificar o local da inserção do acesso venoso, checar sua integridade, qualidade e velocidade de infusão e, se necessário, proceder ao protocolo.

f) Observar e anotar os parâmetros vitais monitorados no momento.

g) Se o paciente estiver sob IOT (Intubação Oro-traqueal), proceder à ausculta pulmonar na intenção de perceber simetria da intubação e verificar o último raio-x do tórax PA.

h) Observar a existência de drenagens diversas, imobilizações, dispositivos especiais e, caso necessário, solicitar troca de recipientes, frascos e absorventes hospitalares.

i) Caso o paciente esteja sendo assistido por marca-passo temporário, trocá-lo pelo mais adequado para o transporte.

j) Não confiar em procedimentos realizados, é obrigatório checar.

k) Verificar a existência de curativos cirúrgicos em seu aspecto, secreção e complicações.

l) Monitorar o enfermo via aparelhagem portada da aeronave, seguindo o protocolo de monitoração mínima exigida.

m) Providenciar vestimentas adequadas ao enfermo, avental e pijama, por exemplo, para preservar o pudor do mesmo e manter sua temperatura adequada e confortável.

n) Solicitar a maca da viatura terrestre que transportará o enfermo até a aeronave.

o) Envelopar toda documentação pessoal e clínica do paciente mantendo-a consigo.

p) Despedir-se cordialmente dos profissionais da instituição e deslocar-se com o paciente.

q) Conduzir a maca dentro da aeronave.

Embarque do enfermo:

a) A aproximação para o embarque será efetuada pelo lado esquerdo frontal, evitando-se a área do rotor de cauda.

b) Nunca coloque objetos ou equipamentos (estetoscópio, canetas, tubos, seringas, lençóis, etc.) sobre a aeronave.

c) Exceto em casos excepcionais, todo o embarque e desembarque de paciente deverá ser feito com o motor parado.

d) O paciente deve ser colocado pela equipe de profissionais de saúde sobre a maca, com os cintos restritores atados.

e) Proceder à monitorização mínima exigida, utilizando os equipamentos ligados em suas baterias próprias (quando instalados).

f) Instalar, quando indicado, oxigenioterapia ou ventilação assistida ou controlada, conforme prescrição médica de origem ou conforme critério dos profissionais de saúde.

g) Fixar frascos, drenos e/ou coletores de urina ou drenagem gástrica na estrutura da maca, estes permanecendo próximos da equipe médica.

h) Posicionar o enfermo confortavelmente, mesmo quando inconsciente, sempre na posição original da maca, ou seja, com a região cefálica voltada para a cabine técnica ou voltada para a cauda, conforme solicitado. Checar a existência de medicação e efetivar o uso, quando necessário. A equipe de profissionais de saúde autoriza o embarque dos acompanhantes.

i) Comunicar aos pilotos que o enfermo e equipe estão prontos para decolagem.

Procedimentos de instalação dos equipamentos removíveis:

a) Todo material médico deve ser levado a bordo e fixado em seus locais de suporte, utilizando-se os dispositivos apropriados, conforme treinamento prático realizado.

b) No caso de o enfermo ter necessidade de outros equipamentos portáteis para o devido transporte, este somente poderá ser efetuado se o equipamento não comprometer a rotina operacional e a segurança do voo.

Desembarque do enfermo

a) A equipe de profissionais de saúde solicita aos familiares e/ ou acompanhantes que desembarquem da aeronave com seus pertences de mão, acompanhados por um membro da equipe, após autorização do comandante da aeronave.

b) A equipe de profissionais de saúde permanece junto ao paciente.

c) A equipe de profissionais de saúde agrupa os frascos de solução endovenosa, frascos de drenos e outros, acomodando-os por sobre o colo do enfermo.

d) Desconectar os cabos elétricos e as conexões de gases que estejam ligados.

e) A equipe de profissionais de saúde destrava a maca e procede à passagem para o exterior, sempre com os cintos restritores da maca atados.

Embarque e desembarque de enfermo com motor em funcionamento

Para os helicópteros, a aproximação será efetuada pelo lado esquerdo frontal (45º) com o piloto, evitando-se a área do rotor de cauda. Somente o enfermo e tripulação médica serão embarcados.

Exceto em casos excepcionais, todo embarque e desembarque de paciente deverá ser feito com os motores parados.

Equipamentos, monitorização, materiais e equipe

Equipamentos

- Conjunto aeromédico (homologado pela ANAC): maca ou incubadora; cilindro de ar comprimido e oxigênio com autonomia de pelo menos 2 horas; régua tripla para transporte; suporte para fixação de equipamentos médicos;

- Equipamentos médicos fixos: respirador mecânico; monitor cardioversor com bateria; oxímetro portátil; bomba de infusão; prancha longa para imobilização de coluna.

Ventiladores

Características ideais para um ventilador de transporte:

- Volume corrente variável (por exemplo, 100–1500 mL);
- Frequência do ventilador variável (2–30 respirações/min);
- Ventilação minuto variável (4–20 L/min);
- Ventilação mandatória intermitente e controlada.

Ventilação mecânica

- Alarmes de baixa e alta pressão;
- Pressão positiva contínua nas vias aéreas (1–20 cm H2O);
- Válvula de fluxo de demanda (por exemplo, taxa de fluxo de pico de 100 L/min em demanda);
- Monitoramento da pressão das vias aéreas (11).

Bombas de infusão

Embora os pacientes possam receber fluidos intravenosos por meio de um sistema passivo controlado por fluxo, qualquer alteração na pressão na bolsa de fluido intravenoso como resultado da expansão do gás pode afetar a quantidade de volume infundida. Embora isso não deva ser caracterizado como problema em altitudes normais de cabine, a descompressão da cabine pode alterar significativamente a taxa de fluxo. Dessa forma, as bombas de infusão são o método preferido de administração de fluidos de manutenção e medicamentos de emergência.

Apenas infusões estritamente necessárias deverão ser administradas durante o vôo, sendo as medicações de rotina (por exemplo, protetores

gástricos, antibióticos) infundidas nos hospitais de saída ou entrada. A concentração de drogas vasoativas deve ser checada e a velocidade de infusão revista pela equipe transportadora.

Monitorização

Devido a dificuldade em se aplicar a semiologia auscultatória devido ao ruido, movimentação da aeronave entre outros a monitorização eficaz e atenta dos dados vitais durante a operação do transporte aéreo é prioritaria.

O ruído do ambiente na cabine da aeronave também limitará a capacidade dos cuidadores de detectar alarmes auditivos, comuns em Unidades de Terapia Intensiva. Isso coloca maior ênfase nos alarmes visuais e nos dados apresentados pelos sistemas médicos de bordo, como ventiladores, monitores e outros equipamentos (8).

Quando trata se de monitorização, antes mesmo de entender qual aparelho utilizar, precisamos identificar qual fonte de alimentação de energia vamos utilizar dentro da aeronave, podendo ser interna ou externa aos aparelhos. Helicópteros e aviões de asa fixa geralmente não possuem uma fonte de energia compatível com equipamentos médicos. Eles, portanto, dependem de baterias internas ou de um nobreak.

Materiais

As aeronaves de Transporte Médico (3) são classificadas como Tipo E e deverão dispor, no mínimo, dos seguintes materiais, equipamentos ou similares com eficácia equivalente, tanto para aeronaves de Asas Fixas (Aviões) quanto para Aeronaves de Asas Rotativas (Helicópteros), para atendimento pré-hospitalar móvel secundário ou transporte inter-hospitalar:

- **Conjunto aeromédico (homologado pela ANAC)** - maca ou incubadora; cilindro de ar comprimido e oxigênio com autonomia de pelo menos 4 horas; régua tripla para transporte; suporte para fixação de equipamentos médicos;
- **Equipamentos médicos fixos** - respirador mecânico; monitor car-

dioversor com bateria com marca-passo externo não-invasivo; oxímetro portátil; monitor de pressão não-invasiva; bomba de infusão; prancha longa para imobilização de coluna; capnógrafo;

- **Equipamentos médicos móveis:** maleta de vias aéreas contendo cânulas endotraqueais de vários tamanhos, cateteres de aspiração, adaptadores para cânulas, cateteres nasais, seringa de 20 ml, ressuscitador manual adulto/infantil completo, sondas para aspiração traqueal de vários tamanhos, luvas de procedimentos, lidocaína geléia e spray, cadarços para fixação de cânula, laringoscópio infantil/adulto com conjunto de lâminas curvas e retas, estetoscópio, esfigmomanômetro adulto/infantil, cânulas orofaríngeas adulto/infantil, fios, fios-guia para intubação, pinça de Magill, bisturi descartável, cânulas para traqueostomia, material para cricotiroidostomia, conjunto de drenagem de tórax, maleta de acesso venoso contendo: tala para fixação de braço, luvas estéreis, recipiente de algodão com antisséptico, pacotes de gaze estéril, esparadrapo, material para punção de vários tamanhos, incluindo agulhas metálicas, plásticas e agulhas especiais para punção óssea, garrote, equipos de macro e microgotas, cateteres específicos para dissecção de veias tamanhos adulto/infantil, tesoura, pinça de Kocher, cortadores de soro, lâminas de bisturi, seringas de vários tamanhos, torneiras de 3 vias, equipo de infusão polivias, frascos de solução salina, Ringer lactato e glicosada para infusão venosa, caixa completa de pequena cirurgia, maleta de parto contendo: luvas cirúrgicas, clamps umbilicais, estilete estéril para corte do cordão, saco plástico para placenta, absorvente higiênico grande, cobertor ou similar para envolver o recém-nascido, compressas cirúrgicas estéreis, pacotes de gases estéreis e braceletes de identificação, sondas vesicais, coletores de urina, protetores para eviscerados ou queimados, espátulas de madeira, sondas nasogástricas, eletrodos descartáveis, equipos para drogas fotossensíveis, equipos para bombas de infusão, circuito de respirador estéril de reserva, cobertor ou filme metálico para conservação do calor do corpo, campo cirúrgico

fenestrado, almotolias com antisséptico, conjunto de colares cervicais, equipamentos de proteção à equipe de atendimento: óculos, máscaras e luvas.

Equipe

Tripulação aeromédica: refere-se às pessoas treinadas em assuntos aeromédicos e para fazer atendimentos médicos em voo.

Inclui

- **Médico de bordo:** médico com registro no Conselho Regional de Medicina, que tenha completado o Programa de Treinamento aprovado para o operador;
- **Enfermeiro de bordo:** profissional de nível superior de enfermagem com registro no Conselho Regional de Enfermagem, que tenha completado o Programa de Treinamento aprovado para o operador;
- **Piloto/ Copiloto**.

Doenças Infecciosas/ COVID: (13)

Recomenda-se que as aeronaves utilizadas em transporte aeromédico possuam pisos, paredes e teto laváveis. No caso de existência de superfícies de difícil limpeza na aeronave ou com revestimentos ou materiais que não permitam limpeza e desinfecção adequadas, como, por exemplo, carpetes não removíveis ou assentos acolchoados permeáveis, recomenda-se que tais superfícies sejam recobertas por proteção impermeável ou que permita fácil limpeza e desinfecção.

As aeronaves para transporte aeromédico devem contar com recipiente rígido fixo com tampa para suporte dos sacos plásticos brancos leitosos, com simbologia de material infectante, bem como possuir recipiente rígido fixo para o descarte de perfurocortantes. No caso de transporte de pacientes acometidos de doenças infectocontagiosas, todos os resíduos gerados pela aeronave devem ser considerados infectantes (Grupo A). Quanto

ao sistema de climatização, é importante a utilização de filtro HEPA e manutenção periódica do sistema de climatização, com verificação da saturação e trocas desses filtros sempre que necessário.

As aeronaves destinadas ao transporte aeromédico devem passar por procedimento de limpeza e desinfecção após cada atendimento, devendo ser realizada desinfecção de alto nível conforme a RDC nº 56, de 2008, com respectivo registro dessa atividade.

As atividades de limpeza e desinfecção e coleta de resíduos devem ser realizadas por trabalhadores devidamente treinados e protegidos com EPI adequado. Minimamente durante a vigência da pandemia, utilizar os equipamentos exigidos para limpeza e desinfecção de meio de transporte afetado que são luva nitrílica 33, máscara PFF2 ou N95, calçado impermeável, avental impermeável de tecido de gramatura mínima de 50 g/m2 e óculos de segurança. No transporte de caso suspeito ou confirmado de COVID-19, é recomendada a utilização dos equipamentos de proteção individual (EPIs) pela tripulação e profissionais assistenciais. Tais equipamentos são óculos de proteção ou protetor facial, máscara cirúrgica (ou trocar por máscara N95/PFF2 ou equivalente, e usar gorro descartável, caso seja realizado procedimento que possa gerar aerossóis), macacão do tipo impermeável e luvas de procedimento.

Conclusão

O estresse do voo somado à transferência de um paciente grave e com potencial chance de agravamento das condições clínicas quando submetido às condições de transporte aéreo requer uma programação e organização perfeitas. O conjunto aeronave, piloto e coordenação de voo, equipe médica treinada, sincronizada e com comunicação efetiva, e equipamento ideal e qualificado garantem a segurança da operação. A antecipação e prevenção de complicações potencialmente graves pelo monitoramento vigilante do paciente e início da terapia é responsabilidade de toda a equipe durante o transporte de “leito a leito”. O treinamento adequado em solo, a familiarização com os equipamentos e a legislação vigente proporcionarão aos membros da tripulação as melhores oportunidades de sucesso.

Referências bibliográficas

1.GENTIL, Rosana. Aspectos históricos e organizacionais da Remoção Aeromédica. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**. Dez.1997. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/reeusp/a/CBPDQcHT9yFd48LPPQvMWvG/?lang=pt

Acesso em: 16 maio 2022.

2.CARDOSO, Ricardo *et al*. Resgate Aeromédico a traumatizados: experiência na região metropolitana de Campinas Brasil. **Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões**. v.41, n.4, 2014. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/rcbc/a/yfL-c6YxmXdPWTg3H79hrrSs/?lang=pt

Acesso em: 16 maio 2022.

3.BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Comissão Intergestores Tripartite **Portaria GM-MS nº 2048,** de 5 novembro 2002. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2002/prt2048_05_11_2002.html

Acesso em: 16 maio 2022.

4.CARDOSO, Ricardo Galesso. **Resgate aeromédico a traumatizados na região metropolitana de Campinas – SP.** 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Ciências Médicas, Campinas, 2014.

5.BRASIL. República Federativa do Brasil Comando da Aeronáutica Departamento de Aviação civil Subdepartamento Técnico. **Normativa IAC No 3134-0799, de 09 de julho de 1999.** Instrução de Aviação Civil. [Dispõe sobre o transporte aéreo público de enfermos]. Disponível em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/iac-e-is/iac/iac-3134/@@display-file/arquivo_norma/IAC3134.pdf

Acesso em: 16 maio 2022.

6. AGÊNCIA NACIONAL DA AVIAÇÃO CIVIL – ANAC (Brasil). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC n. 135/Emenda n.00**. [Apresenta requisitos operacionais: operações complementares e por demanda]. Resolução n. 169, de 24 de agosto de 2010, publicada no **Diário Oficial da União**, S/1, p. 12, 25 ago. 2010. Disponível em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2010/33s1/rbac-135

Acesso em 16 maio 2022.

7.HALL, John E.; HALL, Michael E. **Guyton and Hall textbook of medical physiology**. 9th ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997.

8.HURD, William W.; JERNIGAN, John G. (ed.). **Aeromedical evacuation: management of acute and stabilized patients**. [s.l.]: Springer, 2003.

9.ASTNA Patient Transport: Principles and Practice. 4th ed. [s.l.]: Mosby, 2009. ISBN: 978-0-323-05749-3.

10.SMITH, S. D.; GOOMAN, J.R. GROSVELD, F.W. Vibration and acoustics. *In*: Davis, J.R. Johnson, R. (ed.). **Fundamentals of aerospace medicine.** 4.ed. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wikins, 2008.

11. Branson R.D, McGough E.K. Transport ventilators. **Prob Crit Care**. v.4, p. 254–274. 1990.

12. LOW, Adam; HULME, Jonathan. (ed.). **ABC of transfer and retrieval medicine**. 1st ed. [s.l.]: Wiley; Bmj Books, 2015.

13. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA – ANVISA. **Guia para Serviços de Transporte Aeromédico de Passageiros com COVID-19.** n. 53/2021, versão 1, de 08 de outubro de 2021. Disponível em:

http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/6339783/Guia+n%C2%BA+53_2021+-+vers%C3%A3o+1%2C+de+08+10+21.pdf/bb8b4be6-2b9e-4b0f-b02f-cf47e8e5d9c5

Acesso em: 16 maio de 2022

6

MEDICINA DO VIAJANTE / EMPORIATRIA

Drª. Helena Sottomaior Arzua Pereira dos Santos e Drª. Julia Gayoso Queiroz

Orientador:
Prof. Dr. Ricardo Cantarim

introdução

A MEDICINA DO VIAJANTE, OU EMPORIATRIA, É A ÁREA MULTIDISCIPLINAR QUE ESTUDA AS DOENÇAS INFECCIOSAS E NÃO INFECCIOSAS RELACIONADAS À VIAGEM, SUAS MEDIDAS DE PREVENÇÃO E AS REGULAMENTAÇÕES DE SAÚDE INTERNACIONAIS.

Em 2019, houve 1,5 bilhão de desembarques de turistas internacionais ao redor do mundo, segundo a Organização Mundial do Turismo (OMT); embora a pandemia de COVID-19 tenha impactado fortemente o turismo, ocasionando uma queda para 415 milhões de desembarques em 2020, ela trouxe também notoriedade aos riscos à saúde associados à viagem internacional. Mais do que nunca, ficou evidente o quanto a viagem globalizada participa da transmissão de doenças, o que representa um risco tanto para os indivíduos viajantes como para suas comunidades de origem.

Comparado com pessoas que ficam em casa, viajantes têm maior morbimortalidade, principalmente quando viajam para países em desenvolvimento. Acidentes automobilísticos, quedas, homicídios, ataques com animais, transporte de drogas, doenças relacionadas a esportes como mergulho (descompressão), infecções como malária, HIV, raiva, diarreia do viajante, descompensação de doenças psiquiátricas, dentre outros e até mesmo óbito podem ocorrer durante uma viagem. Mesmo com estes riscos, menos de 10% dos viajantes procuram um médico especialista antes de viajar, principalmente para destinos com maior índice de doenças relacionadas à viagem.

A origem da Medicina do Viajante não tem uma data bem definida, mas em 1960 o médico italiano Dr. Vicenzo Marcolongo, após tratar uma paciente canadense em situação crítica, criou um diretório global de médicos que falassem inglês, comprometidos a auxiliar viajantes, criando assim a Associação Internacional para Assistência Médica para Viajantes (IAMAT).

Na década de 80, a especialidade começou a se delinear, mas ainda era tratada de forma informal dentro dos serviços de Infectologia e Medicina Tropical. Em 1991, foi fundada a Sociedade Internacional de Medicina de Viagem (ISTM), responsável pela edição da revista bimestral *Journal of Travel Medicine*. Depois disso, diversas sociedades de Medicina de Viagem foram criadas ao redor do mundo. No Brasil, ainda é uma área médica tímida, mas desde 1997 teve o primeiro serviço especializado na área, o CIVES.

Esta área médica tem como foco principal o cuidado do indivíduo em dois momentos: o pré-viagem e o pós-viagem. A consulta médica pré-viagem

inicia-se com o levantamento dos riscos, tendo como base as características específicas da viagem, como roteiro, duração, o tipo de acomodação, as atividades pretendidas, comportamentos de risco, etc. O médico então orienta o indivíduo embasado no conhecimento epidemiológico atual, sobre quais medidas comportamentais, recursos e suprimentos serão necessários para a prevenção dos riscos que encontrará na localidade visitada. Além disso, o indivíduo é treinado a reconhecer os sintomas das principais doenças em questão, bem como quando é necessário buscar auxílio médico.

Na finalização da consulta são prescritas as vacinas recomendadas e os medicamentos para profilaxia ou autotratamento, quando indicados, além de orientações quanto ao uso de barreiras físico-químicas e comportamentais na prevenção de doenças. Também é importante que o médico avalie as doenças que o viajante possa ter e avalie possíveis alterações ou fatores de descompensação durante a viagem, orientando quanto às medicações que o viajante deve levar, armazenamento dessas medicações e condutas para situações de descompensação. O kit médico também deve ser discutido com o viajante, sempre orientando sobre quais medicações devem ser levadas, como analgésicos, antibióticos, antieméticos, protetor solar, repelentes, etc.

Para o viajante que retorna da viagem apresentando sintomas, especialmente febre, é recomendada a consulta pós-viagem. Essa avaliação médica tem a finalidade de diagnosticar, levando em consideração a epidemiologia do destino visitado. Nesses casos, o indivíduo deve ser avaliado por um médico infectologista ou especialista em Medicina Tropical para tratamento.

Estudos indicam que entre 20% e 70% dos viajantes relacionam um problema de saúde a uma viagem recente. Segundo estudo americano de vigilância epidemiológica ocorrido entre 1997 e 2011, mostraram que afecções gastrointestinais foram as doenças mais comuns no pós-viagem, sendo 22% diagnosticados com diarreia aguda, seguido de 14% com síndrome febril e 12% com lesões dermatológicas. Por outro lado, as principais causas de óbito são traumatismos e doenças cardiovasculares. Diante disso, fica clara a importância de estudar o impacto que o turismo globalizado tem na saúde individual e coletiva, assim como implementar soluções para mitigar os riscos.

Consulta Pré-Viagem

Anamnese pré-viagem

Durante a consulta pré-viagem é essencial que o médico realize a anamnese direcionada para o destino do paciente. Oferecer um tempo para preparar o viajante para as preocupações com a saúde durante sua viagem é imprescindível neste momento. A eficácia da consulta exige saber o histórico de saúde do viajante (contraindicações de vacinas, doenças de base e medicamentos de uso crônico), seu itinerário, padrões de comportamento (como hábitos alimentares), as atividades que serão realizadas, a duração da viagem, os riscos que ela pode trazer à sua saúde e orientar o viajante sobre riscos, como intoxicações alimentares, traumas, consumo de água contaminada, doenças transmitidas por vetores, transmissão de infecções respiratórias, sanguíneas ou sexuais.

Seus objetivos são:

- Realizar avaliação de risco individual;
- Comunicar antecipadamente os riscos à saúde do viajante;
- Fornecer medidas de gerenciamento de risco, tais como imunizações, profilaxias e medicamentos, se necessário.

O objetivo é realizar uma estratificação de risco individual. Detalhes minuciosos da viagem, como hospedagem, orçamento, duração da viagem, data e horário de partida, são úteis para o preparo do viajante. Certas situações têm maior propensão a uma viagem de risco, como viagens prolongadas, viagens de baixo orçamento, mochilões e indivíduos nascidos no exterior que retornam ao seu país. Na consulta pré-viagem, normalmente não é realizado exame físico, sendo assim, é ideal realizá-la através de telemedicina.

Explanação dos riscos e como gerenciá-los

Redução de danos é um conceito da medicina do viajante e vários elementos merecem consideração na avaliação do risco à saúde durante uma

viagem. Existem inúmeros fatores que devem ser levados em consideração para avaliar o risco à saúde do viajante.

Tabela 6.1. Histórico de saúde

Histórico médico	Idade, sexo, comorbidades, alergias (especialmente as relacionadas a vacinas, ovos ou látex) e medicamentos de uso contínuo.
Condições especiais	Gravidez (incluindo o trimestre), amamentação, imunocomprometidos, extremos de idade, condições psiquiátricas, epilepsia, intervenções cirúrgicas recentes, eventos cardiopulmonares ou cerebrovasculares recentes e história da síndrome de Guillain-Barré.
Histórico de imunização	Calendário vacinal.
Experiência prévia de viagem	Quimioprofilaxia da malária, altitude, mergulho e doenças relacionadas a viagens anteriores.

Fonte: Elaboração dos autores

Deve-se levar em conta as medicações de uso contínuo. O viajante deve viajar com uma receita médica que apresente todas as medicações bem descritas. Em caso de uso de insulina, é necessário descrever a necessidade de seringas e agulhas.

Condutas em medicina de viagem: orientação, profilaxia e imunização

Componentes essenciais de uma consulta pré-viagem são as profilaxias e as imunizações. O viajante deve ter ciência se há tempo suficiente para completar seu calendário vacinal corretamente antes da sua viagem. O destino e o objetivo da viagem serão o que indicará as vacinas específicas, além de ser um excelente momento para atualizar o calendário vacinal. As imunizações de rotina, como as de tétano, difteria, coqueluche, sarampo, caxumba, rubéola, varicela, pneumococo e gripe, devem ser revisadas e atualizadas conforme necessário.

Tabela 6.2. Vacinas de viagens

Hepatite A	A prevalência da Hepatite A varia conforme a região. Para o viajante que já mora em área endêmica, poderá ser realizado teste sorológico para saber se o paciente é imune.
Cólera	Ocorreram casos em viajantes que foram à República Dominicana e Haiti.
Raiva	A vacinação contra a raiva é recomendada para viajantes com risco ocupacional. A imunização pré-exposição contra a raiva simplifica a imunoprofilaxia pós-exposição.
Febre amarela	Existe maior risco em regiões da África e da região Amazônica, sendo necessário em alguns países o certificado de vacinação. É recomendada para todos os viajantes a partir de 9 meses.

Fonte: Elaboração dos autores

Dependendo do itinerário, duração da viagem e dos fatores de risco do viajante, será recomendada a vacinação adequada.

A malária é um problema de extrema importância a ser discutido em uma avaliação pré-viagem, pois é uma importante questão de saúde pública internacional. Sua transmissão ocorre em grandes áreas, como na região Amazônica (Acre, Amapá, Amazonas, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), África subsaariana, América Central, Ásia (sul e sudeste) e Oceania. É uma doença transmitida pela picada de um mosquito fêmea do gênero Anopheles. Entre as principais medidas de proteção estão o uso de mosquiteiros, roupas que protejam pernas e braços, telas em portas e janelas e uso de repelentes. No Brasil, não é indicada a quimioprofilaxia para a malária, pois há predominância de infecções por P. vivax, que tem uma baixa eficácia da profilaxia.

As orientações corretas e esclarecedoras são essenciais para o viajante. O objetivo desta consulta é minimizar o risco.

Tabela 6.3. Orientações

Doenças transmitidas pelas águas e por alimentos	Lave as mãos com frequência (com água e sabão ou solução degermante); ingira apenas água tratada em embalagens lacradas e de fonte segura ou, caso não seja possível, trate a água disponível com Hipoclorito de Sódio a 2,5% (2 gotas em 1 litro de água, aguarde 30 minutos para consumir) e de preferência também filtrada; não use gelo de procedência desconhecida; ingira alimentos bem cozidos; frutas lavadas e com a casca preservada e evite consumir alimentos de ambulantes.
Doenças transmitidas por mosquitos e carrapatos	Utilize roupas que cubram as pernas e os braços; use sapatos fechados; aplique repelente; evite estar em áreas livres nos horários em que os mosquitos estão mais ativos, como no final da tarde e use mosquiteiros.
Doenças transmitidas por outros animais	Evite contato próximo com animais mortos; caso tenha contato com mamíferos (domésticos ou silvestres) procurar atendimento médico imediato e lavar o local com água e sabão.
Doenças respiratórias	Lave as mãos constantemente; evite aglomerações em lugares fechados; cubra o nariz e boca ao espirrar ou tossir e não compartilhe objetos pessoais.
Profilaxia do tromboembolismo venoso 1,2	Hidratação regular; evitar ingestão de álcool, café ou chá (indutores da diurese); movimentação de pés e pernas, podendo deambular dentro da aeronave se as condições de segurança permitirem. Para indivíduos que tenham fatores de risco para tromboembolismo, a estratificação de risco deve ser realizada e, após, a indicação da medicação temporária.

Diarreia do viajante (≥3 evacuações de fezes não formadas em 24 horas), acompanhada por, pelo menos, um dos seguintes sintomas: febre, náuseas, vômitos, cólicas abdominais, tenesmo ou disenteria, que ocorre durante uma viagem ou até 10 dias após o regresso	Leve: não interfere nas atividades planejadas. O tratamento com antibióticos não é recomendado, devendo ser utilizados apenas medicamentos sintomáticos (como a Loperamida) e hidratação adequada. Moderada: interfere nas atividades planejadas. O tratamento com antibióticos pode ser recomendado, como fluoroquinolonas ou azitromicina. A Loperamida não é recomendada quando há presença de febre ou diarreia sanguinolenta. Grave: é incapacitante ou impede completamente as atividades planejadas. O tratamento com antibióticos pode ser recomendado, como fluoroquinolonas ou azitromicina. A hidratação adequada também é fundamental neste caso.
Outras recomendações	Use preservativo nas relações sexuais; Uso protetor solar e evite grande exposições ao sol;

Fonte: Elaboração dos autores

[1] Fatores de risco relacionados aos passageiros: antecedentes de obesidade, uso de ACO, cirurgia recente, câncer, trombofilias, trauma recente com imobilização, história prévia ou familiar de TEV.

[2] Fatores de riscos relacionados à viagem aérea: hipóxia, desidratação, imobilidade, tipo de classe e localização do assento.

Consulta pós-viagem

Grande parte dos viajantes para países de baixa ou média renda apresentam algum problema de saúde relacionado à viagem. A grande maioria das infecções aparece logo após o retorno, porém o período de incubação varia. Ao avaliar um paciente com uma provável doença relacionada a viagem, o médico deve considerar itens como: sinais e sintomas; início e local das queixas; se utilizou algum medicamento ou necessitou de hospitalização; local, duração e motivo da viagem; tipo de acomodações e transportes usados; atividades recreativas como safari, mergulho, *trekking*, caminhadas, *rafting*, piscinas, passeios turísticos e outros; exposição a insetos, alimentos e água contaminada; atividade sexual; realização de tatuagens ou *piercings*; uso de repelente; profilaxia da malária; comorbidades prévias; uso de medicação de uso contínuo; vacinas recebidas pré-viagem; histórico familiar e de viagens.

As síndromes clínicas mais comuns são respiratórias, dermatológicas, febris e diarreicas.

Febre

Na tabela abaixo veremos a febre e outros sintomas relacionados.

Tabela 6.4. Febre

Achados clínicos comuns	Infecções a considerar após viagem tropical
Febre + dor abdominal	Febre entérica, abscesso hepático amebiano ou piogênico
Febre + leucopenia	Dengue, malária, febre tifóide, chikungunya, Zika e HIV agudo
Febre + erupção cutânea	Dengue, chikungunya, zika, sarampo, febre maculosa, meningococcemia, infecção aguda pelo HIV e varicela
Febre + artralgia ou mialgia	Chikungunya, dengue e zika
Febre + sintomas respiratórios/infiltrados pulmonares	Influenza, pneumonia bacteriana ou viral, legionelose, tuberculose, esquistossomose aguda, leptospirose e histoplasmose aguda
Febre + icterícia	Hepatite viral aguda (A, B, C, E), febre amarela e outras febres hemorrágicas virais, malária grave e leptospirose
Febre + hemorragia	Febres hemorrágicas virais (por exemplo, dengue, febre amarela, ebola), meningococcemia e leptospirose

Fonte: elaboração dos autores

A Malária é uma doença com grande risco à vida e associada a febre em viajantes que retornam de áreas endêmicas como Caribe, América Central, América do Sul, África, Centro-sul e Sudeste da Ásia.

Infecções de pele e tecidos moles

São os sintomas mais frequentes em consultas pós-viagem, sendo a larva *migrans* cutânea, picadas de insetos e infecções bacterianas os mais frequentes.

- **Lesões papulares:** picada de artrópodes, escabiose (erupção papular pruriginosa generalizada ou regional em meio a eritema, escoriações abundantes e pústulas secundariamente infectadas) e dermatite de contato;
- **Lesões subcutâneas:** celulite, erisipela, furúnculo, foliculite, miíase e tungíase;
- **Lesões maculares:** tinea versicolor, tinea corporis, doença de Lyme e hanseníase;
- **Lesões lineares:** larva *migrans* cutânea;

- **Úlceras de pele:** leishmaniose cutânea, são transmitidos através da picada de flebotomíneos, fêmeas infectadas. Lesões cutâneas que se desenvolvem após semanas ou meses após o retorno do viajante, são lesões abertas com borda elevada e cratera central (úlcera), indolores, porém podem ser dolorosas se estiverem infectadas.

Infecções respiratórias

Os vírus são a causa mais comum, agentes como rinovírus, vírus sincicial respiratório, vírus influenza, vírus parainfluenza, metapneumovírus humano, sarampo, caxumba, adenovírus e coronavírus.

Diarreia persistente em viajantes

As principais causas de doenças diarreicas são virais e geralmente autolimitadas. Uma pequena porcentagem da diarreia do viajante não é aguda ou autolimitada, podendo ser uma infecção contínua ou coinfecção, ou até mesmo uma doença gastrointestinal não diagnosticada previamente. Os parasitas podem ser a causa, sendo a Giardia a mais comum. Para fazer o diagnóstico, usamos comumente a microscopia de fezes, a detecção de antígenos ou a imunofluorescência. O tratamento se baseia no uso de Metronidazol, Tinidazol, Secnidazol ou Imidazol.

Doenças sexualmente transmissíveis

Tabela 6.5. Doenças sexualmente transmissíveis

DST	APRESENTAÇÃO CLÍNICA	TRATAMENTO
Cancro mole	Úlcera genital irregular e dolorosa; linfadenopatia inguinal dolorosa e supurativa	Azitromicina 1 g VO dose única OU Ceftriaxona 250 mg IM dose única
Clamídia	Cervicite, uretrite	Azitromicina 1 g VO dose única OU Doxiciclina 100 mg VO x 7 dias
Gonorréia	Cervicite, uretrite	Ceftriaxona 250mg IM dose única E Azitromicina 1g VO uma vez
Sífilis	Primário: úlcera genital indolor, linfadenopatia regional; secundário: erupção cutânea maculopapular;	Penicilina G benzatina 2,4 U IM dose única (primária/secundária), 2,4 MU IM uma vez por semana por 3 semanas (infecção latente tardia ou sífilis latente de duração desconhecida)
Herpes	Vesículas que evoluem para úlceras	Aciclovir 400mg VO 8/8h por 7 dias

Fonte: Elaboração dos autores

Medicina do viajante e a aviação civil

A viagem aérea, por suas características inerentes, traz riscos à saúde dos passageiros, em especial para portadores de doenças crônicas, gestantes e imunodeprimidos. As principais preocupações relacionadas ao voo são exacerbações de doenças prévias, a imobilidade relativa durante o voo e a proximidade entre os passageiros.

Doenças graves ou morte são incomuns a bordo de voos comerciais. Estima-se que haja aproximadamente 0,3 mortes por milhão de passageiros, sendo dois terços destes casos por causa cardiovascular. Sintomas cardíacos representam apenas 8% dos casos de emergência a bordo.

Apesar de pouco frequente, a viagem aérea pode desencadear problemas de saúde em pessoas saudáveis. Entre as causas mais comuns de emergência a bordo estão síncope (37%), sintomas respiratórios (12%) e náusea ou vômitos (10%). Abaixo, discorreremos sobre os principais riscos e orientações para passageiros de voos comerciais.

Barotrauma

Devido às leis da física que regem a expansão dos gases, a mudança de pressão da cabine durante a decolagem e pouso faz com que o ar dentro das cavidades do corpo, como orelha média, seios da face ou abdome, se expanda e posteriormente se retraia na tentativa de equalizar as pressões interna e externa. Isso pode ocasionar dor ou mesmo lesão, como por exemplo o rompimento da membrana timpânica. De maneira geral, sintomas relacionados ao barotrauma de orelha média e dos seios da face são mais frequentes durante o pouso. Já os sintomas gastrointestinais, dentários ou pulmonares são mais frequentes na decolagem.

As orientações para evitar o barotrauma são:

- Não voar durante infecções de ouvido, nariz ou seios da face, pois a congestão nasal dificulta a equalização de pressão dentro da orelha média e seios da face;

- Descongestionantes nasais podem prevenir a dor;
- Viajantes que tenham rinite alérgica devem manter o uso de suas medicações regularmente mesmo durante o voo;
- Evitar alimentos que aumentem a formação de gases (brócolis, repolho, feijão, entre outros) e bebidas com gás;
- Não voar após procedimentos cirúrgicos sem a liberação de seu médico e/ou da companhia aérea, através do MEDIF;
- Mobilizar o palato ao bocejar ou engolir e mover a mandíbula auxiliam na equalização de pressão entre o meio interno e externo. Para bebês é recomendado mamar durante a decolagem e o pouso. As manobras específicas como a de Valsalva também podem ser usadas.

Transmissão de doenças infecciosas

A proximidade entre os passageiros no ambiente fechado do avião sempre foi motivo de preocupação quanto à transmissão de doenças infecciosas, como meningite, sarampo ou mesmo influenza, durante o voo. Especialmente durante a pandemia de COVID-19, as aeronaves comerciais foram muito estudadas quanto à transmissão do vírus e os estudos mostram que a circulação de ar na cabine não contribui para a disseminação de doenças infecciosas. O contato direto entre os passageiros continua sendo o principal risco de contaminação neste ambiente, bem como nos aeroportos.

As aeronaves comerciais modernas são equipadas com um sistema de circulação de ar no qual metade do ar circulante é proveniente de fora da aeronave e a outra metade é filtrado através de filtros HEPA. Estes filtros, também usados em salas de cirurgia em hospitais, capturam 99,9% das partículas, incluindo vírus, bactérias e fungos. Além disso, o ar da cabine se renova totalmente a cada três minutos e faz seu circuito em áreas bem definidas. A entrada do ar ocorre pela parte superior da aeronave e a saída se localiza abaixo dos assentos nas laterais. Portanto, o ar faz um movimento circular e deixa a aeronave na direção das mesmas fileiras em que entrou, havendo pouca circulação de ar entre fileiras.

Dessa forma, é possível afirmar que o ambiente da cabine do avião comercial é seguro e minimiza o risco de transmissão de doenças infecciosas, se comparado com outros meios de transporte.

No caso de doenças em que a contaminação se dá através de gotículas e partículas exaladas ao falar, tossir ou espirrar, a principal medida de prevenção é reduzir o contato direto entre os passageiros. Portanto, é recomendável:

- Não viajar caso esteja doente;
- Usar máscaras durante o voo;
- Não tocar o rosto;
- Lavar as mãos e/ou utilizar álcool em gel frequentemente;
- Manter o distanciamento social;
- Cobrir o nariz e a boca sempre que for tossir ou espirrar.
- Garantir imunização completa, especialmente para pacientes imunodeprimidos e gestantes.

Instabilização de doenças durante o voo

Devido às características do ambiente da cabine, pacientes com doenças crônicas podem sofrer instabilização do quadro durante o voo. A Associação Internacional de Transportes Aéreos (IATA) preconiza que sempre que houver as seguintes situações, o passageiro deve passar pela liberação médica da companhia aérea através do preenchimento e submissão do MEDIF ou FREMEC:

- Doença infecciosa que possa estar ativa e transmissível;
- Condição física ou comportamental que possa trazer dano ou desconforto para outros passageiros;
- Condição que represente um risco à segurança de voo ou que aumente a chance de alternância ou pouso não programado;
- Incapacidade de autocuidado ou necessidade de assistência especial;

- Condição médica que possa ser afetada pelo ambiente de voo.

As principais condições médicas crônicas que devem ser cuidadosamente avaliadas previamente ao voo são:

- Doenças cardiovasculares;
- Doenças pulmonares crônicas;
- Condições cirúrgicas;
- Epilepsia;
- Anemias;
- Transtornos mentais;
- Diabetes.

Os viajantes portadores dessas condições devem estar estáveis para voar. Portanto, devem passar por consulta pré-viagem entre 4 e 6 semanas antes do voo para avaliação do risco e orientação. Esses passageiros devem trazer as medicações de uso contínuo na bagagem de mão dentro do avião, bem como um laudo médico e suas prescrições, em inglês em caso de viagem internacional. Nos casos em que o paciente necessite de equipamentos especiais como seringas, agulhas e glicosímetros, eles devem estar descritos no laudo médico.

Os passageiros devem ser orientados a atentar-se ao horário de tomada das medicações mesmo em fuso horário diferente, para que os intervalos entre as doses sejam preservados, reduzindo o risco de instabilização. Além disso, os passageiros devem ser orientados a carregar na bagagem de mão medicações de controle de exacerbações, mesmo que não sejam de uso rotineiro, como por exemplo broncodilatadores, corticoides ou adrenalina.

Outras medidas como profilaxia de tromboembolismo venoso podem ser recomendadas nos casos de neoplasias, doenças cardiovasculares e doenças pulmonares. Manter a hidratação e evitar roupas justas durante o voo também são medidas simples e que evitam instabilizações.

A passageira gestante

A passageira gestante deve tomar algumas precauções especiais para a viagem aérea. Até 29 semanas de idade gestacional, se a gestação não for de alto risco, a gestante pode embarcar sem apresentar documentação adicional. A partir de 30 semanas, é necessário apresentar atestado médico contendo a autorização médica, a idade gestacional, a data, a origem e o destino da viagem. A partir de 36 semanas é necessária a liberação do setor médico da companhia aérea. Para gestações múltiplas, a apresentação do MEDIF é requerida a partir da 32ª semana de gestação.

A baixa tensão de oxigênio não causa prejuízo ao feto em gestações normais, entretanto, em gestantes com anemia severa (hemoglobina abaixo de 8.0 g/dL), anemia falciforme ou com doença cardiovascular, o voo pode ser contraindicado. Por isso, estas passageiras devem ser cuidadosamente avaliadas por seus médicos previamente ao voo para estabilização. Outras contraindicações ao voo são: gravidez ectópica, trabalho de parto prematuro, sangramentos e dores abdominais antes do embarque. Passageiras com incompetência ístmico-cervical, gestação gemelar ou histórico de parto prematuro não devem realizar viagens longas.

A imobilidade durante o voo aumenta o risco de tromboembolismo venoso (TEV), e estudos mostram que o risco de TEV em gestantes é de 5 a 10 vezes maior do que na população normal. Entre as gestantes e puérperas sem complicações, o risco é inferior a 1% por voo. Para gestantes com histórico prévio de trombose, trombofilia importante ou riscos adicionais ao parto, como obesidade, o risco é maior que 1%. Nesses casos, pode ser recomendada a profilaxia medicamentosa, mas para gestantes comuns, apenas medidas de controle, como exercícios de panturrilha, uso de meias compressivas, entre outras medidas, serão descritas abaixo.

Outros fatores ambientais da cabine, a radiação cósmica não impõe risco à gestação, exceto em caso de viajantes frequentes, como seria o caso das tripulantes. Todavia, no Brasil assim que constatada a gestação a tripulante é considerada não apta para o trabalho aéreo, ficando afastada do cargo até o novo exame pericial para renovação do CMA, após o parto.

Listamos abaixo as principais recomendações para a passageira gestante:

- Verificar sempre as normas da companhia aérea e portar a documentação necessária para o embarque;
- Evitar alimentos que possam produzir gases nos dias anteriores e durante o voo, pois a distensão abdominal é uma das queixas mais comuns relacionadas à viagem aérea;
- Evitar o uso de roupas e sapatos apertados que dificultem a drenagem venosa;
- Usar o cinto de segurança durante todo o voo, posicionado sobre a pelve, abaixo do abdome;
- Movimentar-se frequentemente, fazer exercícios e alongamentos de panturrilha durante o voo;
- Preferir assentos no corredor e próximos ao banheiro;
- Manter uma hidratação adequada durante o voo;
- Em caso de risco intermediário para TEV, usar meias compressivas de 20-30 mmHg;
- Em caso de risco alto para TEV, considerar a tromboprofilaxia com anticoagulantes;
- Garantir uma imunização adequada para evitar contaminação por doenças infecciosas.

Orientação para aeronavegantes

Os aeronavegantes são considerados uma população exposta aos riscos de viagem. São viajantes frequentes, viajam para localidades diversas, muitas vezes exóticas, sem aviso prévio. A IATA recomenda que as companhias aéreas realizem o gerenciamento de riscos associados à viagem e, entre as medidas recomendadas, estão medidas de proteção individual e educação em saúde para os tripulantes.

A imunização é um dos pilares principais da prevenção de doenças e mitigação de riscos. Para os tripulantes, está sempre recomendada a imunização de rotina com pelo menos:

- Difteria, tétano e pertussis acelular (dTpa) e/ou a dupla adulto (difteria e tétano);
- Sarampo, caxumba e rubéola (MMR);
- Poliomielite;
- Influenza sazonal;
- Hepatite B;
- BCG;
- Haemophilus influenzae;
- COVID-19.

Não há um *guideline* específico sobre quais as vacinas de viagem recomendadas para pilotos e outros tripulantes, mas devido ao perfil de exposição, seria recomendável administrar as seguintes vacinas:

- Meningocócicas (obrigatória para entrada na Arábia Saudita);
- Febre amarela (obrigatória para viagens com origem em diversos países da America do Sul e África);
- Hepatite A;
- Febre tifoide;
- Dengue (somente indicado para pacientes que já tiveram dengue previamente, e contraindicado para gestante e imunossuprimidos);
- Varicela (indicado para pacientes susceptíveis).

Precauções com água e alimentos

Os tripulantes devem ser informados sobre as doenças de transmissão por água e alimentos e devem ser orientados a:

- Evitar alimentos crus ou malcozidos;

- Lavar ou passar álcool em gel nas mãos sempre antes de se alimentar;
- Não beber água da torneira;
- Evitar o consumo de bebidas com gelo;
- Preferir sempre bebidas lacradas.

Frequentar águas recreativas também deve ser desaconselhado. Nadar em águas contaminadas pode causar diversas infecções, como esquistossomose, leptospirose, otite externa, legionelose e diarreia do viajante. O objetivo é reduzir as causas de incapacitação temporária e evitar a transmissão de doenças.

A diarreia do viajante é uma das infecções mais comuns durante ou após o retorno da viagem e está relacionada à alimentação e contato com água contaminada. A orientação sobre alimentos que devem ser evitados, sobre o tipo de água que deve ser ingerida e quais tipos de restaurantes ou locais de alimentação devem ser evitados deve ser discutida com o paciente.

Para viajantes com alto risco de infecção, profilaxias podem ser prescritas, como antibióticos com absorção intestinal, por exemplo, azitromicina ou fluoroquinolonas, em que há uma prevenção em torno de 50 a 80%, ou antibióticos sem absorção, como rifaximina e sais de bismuto, em que há uma prevenção de até 70%. A discussão sobre o uso de antibiótico profilático ou sobre a terapia precoce em caso de infecção aguda pode ser discutida, levando-se em conta efeitos colaterais e preconizando o menor uso de antibióticos possível.

Precauções com mosquitos e insetos

Doenças transmitidas por mosquitos, como malária e dengue, são doenças graves e que podem resultar em incapacidade temporária e morte, caso não sejam tratadas adequadamente. Tripulações que voam regularmente para áreas endêmicas continuam a desenvolver essas doenças. Por esse motivo, aconselhar a prevenção entre aeronavegantes é fundamental.

O uso de repelentes em concentrações adequadas e o uso de roupas longas são medidas eficazes de prevenção contra picadas de mosquito. No caso dos produtos contendo dietiltoluamida (DEET), a concentração ideal é entre 20% e 50%, já para os repelentes com Picaridina, 20% a 25% é o recomendado. No caso da malária, a profilaxia pode ser recomendada conforme o destino, como no Oeste da África, por exemplo. A avaliação deve ser feita individualmente. A profilaxia com Atovaquone/Proguanil é a mais recomendada atualmente, pois estudos mostram que a medicação não afeta a capacidade de voo em pilotos e comissários. A profilaxia medicamentosa não é recomendada de rotina pelo Ministério da Saúde brasileiro.

Infecções sexualmente transmissíveis ou transmissíveis pelo sangue

É importante sempre recomendar o uso de preservativos e desaconselhar procedimentos médicos, dentários, tatuagens e piercings em localidades em que o controle sanitário não é eficaz. Principalmente porque são doenças comuns em todo o mundo, são caras para tratar, muitas vezes são resistentes ao tratamento, podem causar infertilidade e até mesmo morte.

Outros grupos especiais

Viajantes crianças, idosos e imunocomprometidos também têm suas particularidades e devem passar por orientação profissional.

Crianças

A principal preocupação relacionada à viagem com crianças é a imunização. Eventualmente, é necessário adiantar vacinas do calendário vacinal ou mesmo fazer vacinas específicas para a viagem. É importante lembrar que vacinas de vírus vivos podem ser aplicadas no mesmo dia, mas se houver intervalo entre elas, é necessário aguardar ao menos 28 dias para realizar a próxima vacina de vírus vivo. Além disso, deve ser reforçada com os pais a prevenção de acidentes.

Idosos

O paciente idoso tem maior risco de desenvolver doenças crônicas e, portanto, maiores chances de descompensações durante as viagens. Há um aumento no risco de doenças cardiovasculares, traumas, dificuldades de aclimatação, principalmente em ambientes com condições climáticas extremas, além de alterações do nível de consciência que podem ser precipitadas pelo ambiente de voo. O calendário vacinal também deve ser atualizado, e deve-se discutir sobre as medicações que devem ser levadas (kit médico). A prevenção de doenças tromboembólicas e de doenças sexualmente transmissíveis também devem ser abordadas.

Imunocomprometidos

Pacientes imunocomprometidos apresentam maior risco de adoecimento durante a viagem. Portanto, necessitam de orientação especial especialmente quanto à imunização. Para isso, o médico deve levar em consideração o grau de imunocomprometimento, a estabilidade do quadro, se há contraindicações conforme o destino e se haverá disponibilidade de serviços e suprimentos de saúde necessários em caso de agravo. As principais orientações são:

- Planejar antecipadamente o que fazer em caso de adoecimento, buscando clínicas e hospitais especializados no local, ter o contato da embaixada sempre em mãos e ter seguro de viagem;
- Levar medicações em quantidade maior do que a necessária, em caso de imprevistos;
- Não deixar para comprar medicações no destino;
- Risco aumentado para resistência microbiana;
- Precauções com água e alimentos são primordiais;
- Usar álcool em gel sempre que necessário;
- Fazer a consulta pré-viagem para garantir a imunização necessária.

Quanto à imunização, pacientes sem imunocomprometimento devem ser orientados como outros viajantes comuns, entretanto, sem ignorar a doença de base. São eles pacientes:

- Em uso crônico de corticoides, exceto se em altas doses;
- HIV positivo sem imunossupressão;
- Com histórico de câncer sem quimioterapia nos últimos 3 meses ou em remissão;
- Transplantados após mais de 2 anos;
- Com doenças autoimunes que não estão em tratamento com imunomoduladores ou imunossupressores.

Enquanto os pacientes com imunocomprometimento moderado a grave devem ser orientados especificamente quanto à vacinação, uma vez que vacinas de vírus vivos como febre amarela, sarampo, varicela e herpes zóster podem estar contraindicadas. Ademais, apresentam maior risco de quadros de malária, infecções intestinais graves e interações medicamentosas. São eles pacientes:

- Em uso de altas doses de corticoides, imunossupressores, quimioterápicos, bloqueadores de TNF, outros imunobiológicos;
- Com leucemia, linfoma, anemia aplastica, neoplasias malignas;
- Com imunodeficiências congênitas;
- Transplantados há menos de 2 anos;
- Com HIV/AIDS com contagem células CD4 menores que 200.

Conclusão

A medicina do viajante é uma área médica multidisciplinar relacionada estreitamente à aviação. Sua função é proteger indivíduos e comunidades através da intervenção direta com o paciente, mas também por meio da pesquisa científica. A especialidade ainda se desenvolve lentamente no Brasil, portanto é necessário mais incentivo à produção científica na área. Este conhecimento contribui para delinear melhores políticas públicas e corporativas que protejam, respectivamente, cidadãos, clientes e funcionários.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC (Brasil). **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil. RBAC nº67. Emenda nº 5**. [Sobre Requisitos para a concessão de certificados médicos aeronáuticos, para o cadastro e credenciamento de médicos, credenciamento de clínicas e para o convênio com entidades públicas]. ANAC, Brasília, Set 2021. Disponível em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-67/@@display-file/arquivo_norma/RBAC67EMD05.pdf

Acesso em: 11 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE MEDICINA DO TRABALHO – ANAMT (Brasil). **Atualização em Vacinação Ocupacional:** guia prático. São Paulo, Abr 2007. Disponível em:

http://www.anamt.org.br/site/upload_arquivos/sugestoes_de_leitura_17122013112656705547 5.pdf

Acesso em: 11 mar. 2022.

W, B. A *et al*. Travel medicine: What's involved? When to refer? Can. Fam. **Physician**, v.60, p. 1091-1103, Dez 2014. Disponível em:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4264804/

Acesso em: 04 mar. 2022.

CAVIEDES, I.S.; SOTO, R.F. Evaluación de pacientes con patología respiratoria que efectúan vuelos en avión / Assessment of fitness to fly in patients with respiratory disease. **Rev. chil. enferm. respir**

v. 22, n. 3, p. 181-188, set. 2006. Disponível em:

https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/en/lil-453805

Acesso em: 11 mar. 2022.

CENTRE OF DISEASE CONTROL - CDC. **Yellow Book**: Health Information for international Travel. Atlanta: CDC, 2018.

FREEDMAN, D.O.; CHEN, L.H.; Vaccines for International Travel. **Thematic Review on Vaccines**. v. 94, n. 11, p. 2314-2339, nov.2019. Disponível em:

https://www.mayoclinicproceedings.org/article/S0025-6196(19)30317-9/fulltext#secsectitle0030

Acesso em: 04 mar. 2022

HARDING, R. Aeromedical Aspects of Commercial Air Travel. **Journal of Travel Medicine**. v. 1, ed. 4, dez.1994, p. 211–215. Disponível em:

https://academic.oup.com/jtm/article/1/4/211/1805762?searchresult=1

Acesso em: 11 mar. 2022.

HARVEY, K. et al. Surveillance for Travel-Related Disease - GeoSentinel Surveillance System, United States, 1997–2011. **CDC**. v. 62(SS03), p. 1-15, Jul 2013. Disponível em:

https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/ss6203a1.htm

Acesso em: 11 mar. 2022.

INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR MEDICAL ASSISTANCE TO TRAVELERS - IAMAT. **The Blue Booklet**: Uniting doctors around the world. Abr 2015. Disponível em:

https://www.iamat.org/blog/the-blue-booklet-uniting-doctors-around-the-world/

Acesso em: 11 mar. 2022

INTERNACIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION – IATA. **Medical Manual**. Montreal-Geneva: IATA,2020. ISBN 978-92-9264-250-1.

IGREJA, R. P. Medicina de Viagem: uma nova área de atuação para o especialista em Doenças Infecciosas e Parasitárias. **Rev. Soc. Bras. Med. Trop**. v. 36, n. 4, Jul 2003. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/rsbmt/a/zc93H7rB97M5jdfg8WbcvLv/?lang=pt

Acesso em: 11 mar. 2022

KARSANJI, D.J.; BATES, S.M.; SKEITH, L. The risk and prevention of venous thromboembolism in the pregnant traveller. **Journal of Travel Medicine.** v. 27, n. 2, mar. 2020. Disponível em:

https://academic.oup.com/jtm/article/27/2/taz091/5644628

Acesso em 11/03/2022.

LEDER, K.; STEFFEN, R.; CRAMER, J.; GREENAWAY, C. Risk Assessment in Travel Medicine: How to Obtain, Interpret, and Use Risk Data for Informing Pre-Travel Advice. **Journal of Travel Medicine**. v. 22, n. 1, p. 13-20, jan. 2015. Disponível em:

https://academic.oup.com/jtm/article/22/1/13/2563182?login=true

Acesso em: 05 mar. 2022.

MARQUES, M.A. et al. Profilaxia do tromboembolismo venoso em viagens aéreas. **J. Vasc. Bras**. v. 17, n.3, jul-set. 2018. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/jvb/a/mHnzVLQkh85QHkZkkdQvJ9R/?lang=pt

Acesso em: 11 mar. 2022.

POMBAL, R.; HOSEGOOD, I.; POWELL, D. Risk of COVID-19 During Air Travel. **JAMA.** v. 324, n.17, p. 1798, out. 2020. Disponível em:

https://jamanetwork.com/journals/jama/fullarticle/2771435

Acesso em: 11 mar. 2022.

SHEPHERD, S.M.; SHOFF W.H. Immunization in Travel Medicine. **Prim. Care.** v. 38, n. 4, p. 643–679, dez. 2011. Disponível em:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7112281/

Acesso em: 05 mar. 2022.

SILVA, B.O. et al. Efficacy of the main repellents available in the Brazilian market against *Aedes aegypti* bites under concentrations applied to pediatric populations. **Rev. Soc. Bras. Med. Trop**. v. 51, n. 02, Mar-Abr 2018. Disponível em:

https://www.scielo.br/j/rsbmt/a/CZ5T9QPcDFVzqCKHnzrGg6c/?lang=en

Acesso em: 11/03/2022.

SIMONS, R.; VALK, P.J.L.; KRUL, A.J. Malaria Prophylaxis for Aircrew: Safety of Atovaquone/Proguanil in Healthy Volunteers under Aircraft Cabin Pressure Conditions. **Journal of Travel Medicine**. v. 12, n. 4, p. 210–216, jul. 2005. Disponível em:

https://academic.oup.com/jtm/article/12/4/210/1820017?searchresult=1

Acesso em: 11 mar. 2022.

TOYOKAWA, T. et al. Transmission of SARS-CoV-2 during a 2-h domestic flight to Okinawa, Japan, March 2020. **Influenza and Other Respiratory Viruses.** v. 16, n. 1, p. 63-71, out. 2021. Disponível em:

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/irv.12913

Acesso em: 11 mar. 2022.

VETHANAYAGAM, B.; KAHN, S.R. Flying while pregnant: what is the thrombosis risk? **Journal of Travel Medicine**. v. 27, n. 2, mar.2020. Disponível em:

https://academic.oup.com/jtm/article/27/2/taz084/5625777

Acesso em: 11 mar. 2022.

WORLD TOURISM ORGANIZATION - Organização Mundial do Turismo. **UNWTO World Tourism Barometer**. Jan. 2022. Disponível em:

https://webunwto.s3.eu-west-1.amazonaws.com/s3fs-public/2022-01/220118-Barometersmall.pdf?_PBIQdr4u_qM0w56.l0Npf

Acesso em: 04 mar. 2022.

ZHOU, S.; HAN, L.; LIU, P.; ZHENG, Z. Global health governance for travel health: lessons learned from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreaks in large cruise ships. Global Health Journal. v. 4, n.4, p. 133-138, dez. 2020. Disponível em:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7709727/

Acesso em: 11 mar. 2022.

FATOR HUMANO E CRM (*COMPANY RESOURCE MANENGEMENT*)

Dr. Roberto José Ribeiro
e Dr. Wellington Tadeus Sperandio

Orientador:
Prof. Aviador David Branco

introdução

"O SÉCULO XX É A ERA DA MÁQUINA – A MAIS COMPLEXA E ENGENHOSA DAS QUAIS É PROJETADA PARA NOS TIRAR DO NOSSO PLANETA TERRA. MAS NO CORAÇÃO DESSAS CRIAÇÕES QUASE INACREDITAVELMENTE SOFISTICADAS ESTÁ O SACO PERECÍVEL DE CARBONO, CÁLCIO E FÓSFORO COMBINADO COM OXIGÊNIO E NITROGÊNIO, ALGUNS GRAMAS DE ENXOFRE E CLORO, TRAÇOS DE FERRO, IODO, COBALTO E MOLIBDÊNIO ADICIONADOS À GORDURA E QUARENTA LITROS DE ÁGUA – O HOMEM. LÁ ESTÁ ELE SENTADO NO CENTRO DESTA CAVERNA DO ALLADIM DO GÊNIO CIENTÍFICO, O DEDO NO BOTÃO, A PEQUENA BATERIA QUE OPERARÁ TODA ESSA COMPLEXIDADE."

David Beaty — de *Naked Pilot: The Human Factor in Aircraft Accidents*, 1995

A disciplina de fator humano surgiu com a necessidade do desenvolvimento de sistemas cada vez mais complexos que os humanos foram chamados a operar, principalmente durante a 2ª Guerra Mundial, onde o uso de instrumentos e pilotos automáticos nos primeiros cockpits de aeronaves, bem como a percepção e o design do display (Figura 7.1), geravam efeitos deletérios de fadiga e necessidade de incremento no treinamento dos pilotos.

Figura 7.1.

Figura 7.1: Cockipts de aeronaves utilizadas na 2ª Guerra Mundial: A) Boeing B-17 Flying Fortress; B) Lockheed P-38 Lightning; C) Republic P-47 Thunderbolt; D) North American P-51 Mustang; E) Supermarine Spitfire

- **S** (*Software – suporte lógico*): todos os produtos gerados para auxiliar o piloto, mecânico, controlador de tráfego, entre outros atores da atividade aérea, como: programas de computadores e software embarcado, cartas aeronáuticas, mapas, check list, informações meteorológicas e manuais.
- **H** (*Hardware – equipamento, máquina*): a aeronave, em si, que será tripulada, com suas características ergonômicas, padrões operacionais, limitações e capacidades.
- **E** (*Environment – meio ambiente*): ambiente onde ocorre a operação. Refere-se às condições meteorológicas, condições aeroportuárias com grande enfoque nas condições organizacionais.
- **L** (*Liveware – ser humano "pessoa"*): o próprio piloto, tripulante, mecânico, operador de tráfico aéreo, com todas as suas características e limitações físicas, funcionais e psicossociais.

- **L** (*Liveware – outros seres humanos que interagem com o indivíduo*): todas as demais pessoas com que o Liveware vai travar relações, sejam profissionais, sejam pessoais, mas que vão gerar influências sobre o seu desempenho operacional.

Figura 7.2: Modelo SHELL

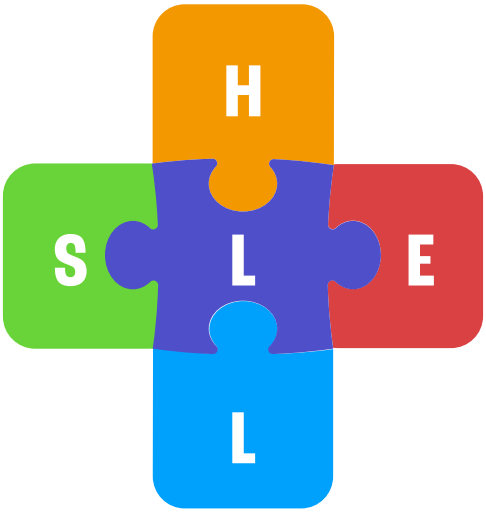


Imagem: Arquivo pessoal do autor

Com base neste modelo gráfico, podemos compreender a necessidade de ajustar os componentes envolvidos na atividade aérea, tendo sempre o fator humano como centro das ações, focando em minimizar o erro deste durante as operações aéreas.

É importante salientar que as interfaces entre cada componente (S – H – E) são vinculadas ao componente L (o elemento humano), devem se adaptar e se ajustar a ele, e não envolvem as interfaces que se encontram fora do fator humano (máquina – máquina, máquina – ambiente, software – máquina).

Outro modelo adotado para evitar o erro humano foi proposto por James Reason em 1990, que ficou conhecido como ***teoria do queijo suíço*** (Figura 7.3). Reason propõe que em um ambiente complexo, como o da medicina e da aviação, existem várias barreiras de segurança (por exemplo, no campo da aviação: treinamento das equipes, *check* pré e pós voo, cultura organizacional, manutenção, educação continuada, comunicação padronizada, redu-

ção dos fatores de estresse e fatiga; já no campo da medicina: duplo *check* de medicação, uso de ferramentas de comunicação como SBAR, *time-out* cirúrgico, identificação de medicamentos de alta vigilância etc.). Porém, cada barreira possui falhas latentes estruturais e de procedimentos.

Figura 7.3: Modelo do queijo suiço

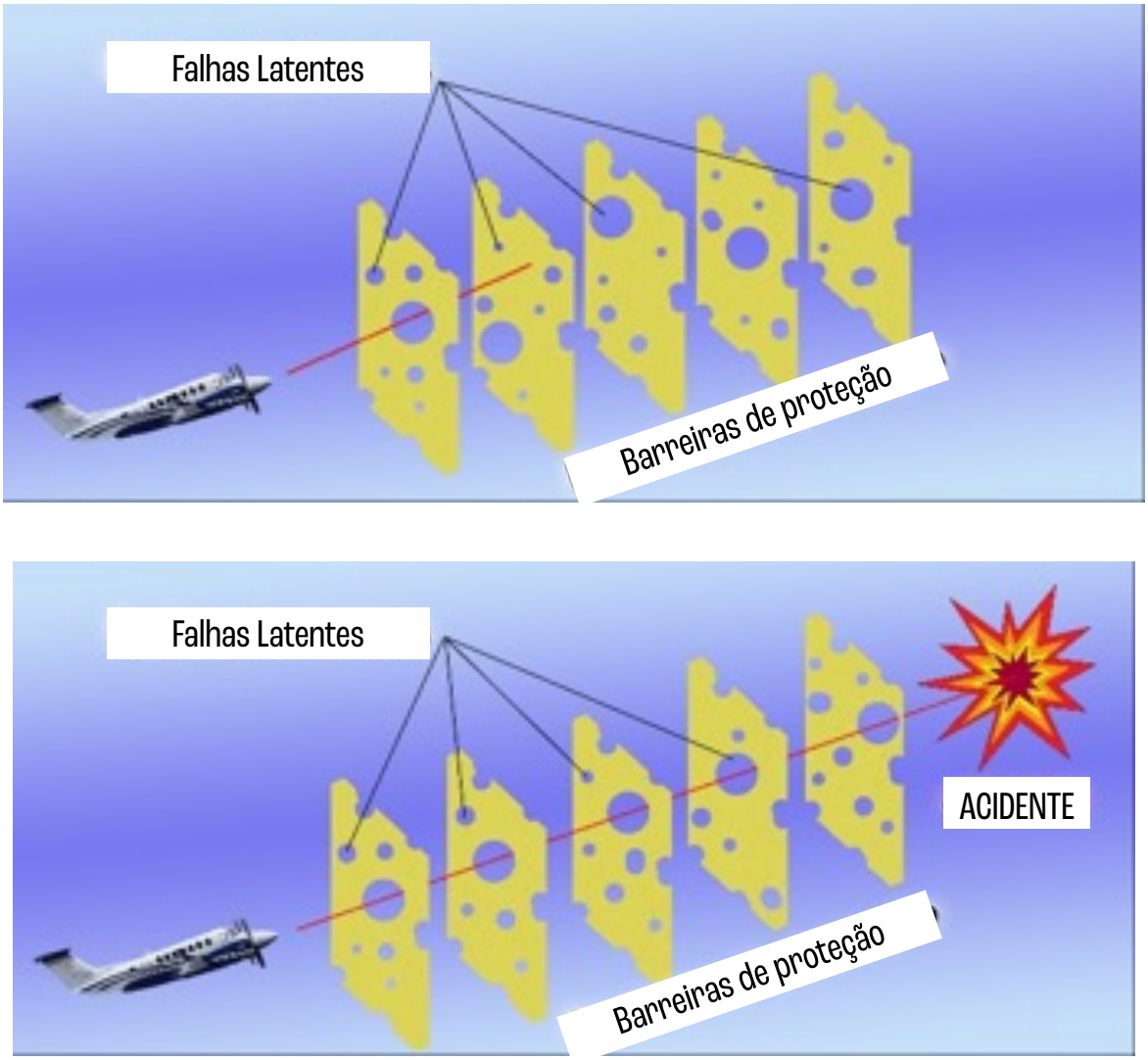


Imagem: Arquivo pessoal do autor

O autor compara cada barreira como uma fatia de queijo de suíço e cada falha latente como os buracos presentes na fatia de queijo suíço.

Um sistema seguro é aquele em que, mesmo que ocorra a falha latente em

uma barreira (buraco na fatia do queijo suíço), o próximo nível de segurança (a próxima fatia do queijo) seja capaz de mitigar aquela falha. O acidente ocorre quando a falha latente não é sanada por nenhuma das barreiras de segurança, ou seja, quando todos os furos das fatias do queijo suíço estão alinhados.

Analisando esse modelo, podemos observar que o erro não ocorre por um evento único e sim por uma sucessão de falhas em sequência que irão levar ao erro/acidente.

Podemos observar as principais características do estudo do fator humano na tabela 7.1

Tabela 7.1: Fator Humano

FATOR HUMANO
Desenvolver um sistema que funcione com sucesso, considerando o papel do ser humano nesse sistema.
Compreender que todas as interações que o ser humano pode experimentar são importantes: hardware, software, ambiente e até mesmo outros humanos.
A prática dos fatores humanos é fundamentada em metodologia científica.

Fonte: Elaboração dos autores

Concluímos, então, que o estudo dos fatores humanos abrange uma enorme variedade de campos especializados, que vão desde antropometria, biomecânica, percepção sensorial, desempenho cognitivo, processo de tomada de decisão, trabalho em equipe, entre outros. Esses campos têm em comum o objetivo de entender como as limitações, capacidades, características, comportamentos e respostas do ser humano afetarão o desempenho de um determinado sistema e como esse entendimento pode ser aplicado ao projeto do sistema para minimizar riscos e otimizar sua performance, tanto na questão operacional quanto em relação aos custos para operacionalizar o sistema.

Antropometria e soluções de engenharia

Antropometria pode ser entendida como a medida das características do corpo humano. Apesar de existirem longas listas de dimensões antropométricas, geralmente apresentadas como tabelas de valores percentuais, que são comumente usados em especificações para projeto de equipamentos e para descrever a variabilidade populacional, os dados são limitados.

Os métodos atuais em antropometria e biomecânica estão mais alinhados com a visão de Dempster. Ao projetar e testar itens de equipamentos, ele propõe uma abordagem sistemática que inclui o seguinte:

- Definir a antropometria da população de usuários em espaço multivariado;
- Definir requisitos funcionais, como quais os operadores do equipamento devem ser capazes de realizar ou níveis de estresse físico que devem resistir;
- Testar a capacidade da população de usuários em atender aos requisitos funcionais e de segurança do equipamento;
- Desenvolver equações preditivas para modificar o equipamento ou selecionar futuros usuários do sistema.

Os projetos de aeronaves devem ser pensados para acomodar uma ampla variedade de tamanhos e tipos do corpo humano presentes na população em geral. Os pilotos e a tripulação devem ser capazes de realizar facilmente tarefas como ver, alcançar e acionar os controles facilmente; ter campo visual externo adequado para realizar os procedimentos de aproximação e pouso; possuir campo de visão capaz de observar outras aeronaves ao seu redor; os passageiros devem estar minimamente acomodados de forma confortável para suportar viagens de longa duração; e, finalmente, se surgirem problemas, pilotos, tripulação e passageiros devem ser capazes de escapar com segurança.

Figura 7.4: Tabela Antropométrica aeronave T-6A Texan II

JOINT PRIMARY AIR TRAINING SYSTEM (JPATS) MULTIVARIATE CASES 1-7							
	Case 1 Small	Case 2 Medium Build Short Limbs	Case 3 Medium Build Long Limbs	Case 4 Tall Sitting Height Short Limbs	Case 5 Overall Large	Case 6 Longest Limbs	Case 7 Overall Small
Thumb tip reach	27	27.6	33.9	29.7	35.6	36	26.1
Buttock-knee length	21.3	21.3	26.5	22.7	27.4	27.9	20.8
Knee-height sitting	18.7	19.1	23.3	20.6	24.7	24.8	18.1
Sitting height	32.8	35.5	34.9	38.5	40	38	31
Eye height sitting	28	30.7	30.2	33.4	35	32.9	26.8
Shoulder height sitting	20.6	22.7	22.6	25.2	26.9	25	19.5
Shoulder breadth range	14.7-18.1	16.4-20.6	16.2-21.2	16.8-21.7	16.9-22.6	16.8-22.5	14.2-18.0
Chest depth range	7.4-10.9	6.9-10.6	7.2-11.3	7.1-11.0	7.3-12.1	7.4-12.2	7.2-10.2
Thigh circumference range	18.5-25.0	17.1-25.0	20.2-27.6	17.6-26.3	18.6-29.2	19.1-29.7	17.8-25.2

Fonte: Imagem: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:T-6A_Texan_II.jpg

Inicialmente, as medidas antropométricas eram utilizadas usando uma lista que compreendia entre o percentil 5% a 95%, porém esse método levava a alguns enganos, pois não considerava a variação da proporção do corpo humano. Uma técnica multivariada que é usada atualmente, descreve o tamanho e a forma do corpo humano no desenvolvimento de novas aeronaves e na modificação de aeronaves já existentes.

Esse método usa a Análise dos Componentes Principais, desenvolvida por Meindl et al, que permite a redução de uma longa lista de medições para um número menor e mais gerenciável e, em seguida, permite que os projetistas selecionem o nível percentual desejado de uma população a ser

acomodada. Essa porcentagem desejada da população é representada por um pequeno conjunto de condições selecionadas, que levam em conta não apenas a variação de tamanho, mas também a variabilidade proporcional.

A figura 7.4 exemplifica os casos de limites multivariados definidos que foram desenvolvidos para a aeronave Joint Primary Air Training System (JPATS), que ficou conhecida como T-6 Texan II. Esses limites representam indivíduos que são uniformemente grandes ou pequenos, bem como aqueles cujas medidas combinam, por exemplo, troncos pequenos com membros longos e vice-versa.

Se um espaço de trabalho for projetado para permitir que todos esses casos funcionem com eficiência, todos os outros tipos e tamanhos de corpos menos extremos na população-alvo também devem ser acomodados.

Os modelos antropométricos, apesar de estarem inseridos no contexto da medicina aeroespacial e necessitarem de um médico especialista para determinação dessas medidas, são uma disciplina mais voltada para o campo da engenharia, e o médico aeroespacial deve apoiar a equipe de engenharia e mecânica com dados científicos na solução do desenvolvimento dos diversos sistemas.

Fisiologia nas diferentes pressões barométricas

A matéria que é mais dependente da atuação do time de medicina aeroespacial se concentra nas alterações fisiológicas em ambiente hipobárico, em que o médico precisa conhecer estas alterações, atuar de forma eficaz na prevenção do agravo à saúde dessas condições especiais, por vezes, contraindicando o piloto, tripulante ou passageiro para o voo e propondo soluções para minimizar tais situações.

Hipóxia

Como já vimos nos capítulos anteriores deste livro, sabemos que a atividade de aviação submete tanto pilotos, tripulantes quanto passageiros a um ambiente de hipóxia.

A hipóxia pode ser definida como uma deficiência de oxigênio nos tecidos orgânicos capaz de prejudicar funções fisiológicas.

A hipóxia pode ser classificada em quatro tipos conforme tabela 7.2.

Tabela 7.2: Classificação das hipóxias

CLASSIFICAÇÃO DAS HIPÓXIAS		
Classificação	**Fisiopatologia**	**Alguns exemplos**
Histotóxica	Aquela caracterizada pela incapacidade em utilizar o oxigênio disponível.	Intoxicação por cianeto Intoxicação por Monóxido de carbono
Hipêmica ou anêmica	Deficiência no transporte de oxigênio pelo sangue	Anemia ferropriva Hemorragia Anemia Falciforme
Estagnante	Fluxo sanguíneo inadequado para alguma parte do corpo	Trombose arterial G-LOC* Doença Descompressiva
Hipóxica	Deficiência na oxigenação alveolar	Síndrome Respiratória Aguda Grave Broncopneumonia Doença neuromuscular Hipóxia de altitude

Fonte: Elaboração dos autores

A hipóxia de altitude é o principal tipo de hipóxia na aviação. Afinal, qualquer elevação de altitude representa diminuição na pO_2 disponível. Diante da altitude, o organismo responde de forma diferente às exposições agudas (imediata, sem tempo para o organismo utilizar seus mecanismos compensatórios) e crônicas (progressiva, onde o organismo dispõe de tempo para utilização dos mecanismos compensatórios).

Conforme o sistema nervoso capta essa diminuição da pO_2, o corpo humano, ao lançar mão dos sistemas compensatórios, irá apresentar os seguintes sinais e sintomas a seguir:

- Respiratório: dispnéia, taquipneia, cianose e hiperventilação,
- Cardiovascular: taquicardia, na tentativa de aumentar o débito cardíaco;
- Visual: diminuição da acuidade e do campo visual (Visão em Túnel);
- Neurológico: agitação, euforia, hiperatividade, diminuição da coordenação motora, déficit de atenção e memória, cefaléia, tontura e em casos mais graves convulsão e inconsciência.

Alguns fatores podem influenciar a melhora da tolerância à hipóxia, en-

tre eles, o bom condicionamento físico, o estado nutricional equilibrado e a diminuição da atividade física em altitude. Entretanto, alguns fatores pioram a tolerância à hipóxia pois modificam o metabolismo e aumentam as necessidades de oxigênio, esses fatores são a ingestão de bebidas alcoólicas, o tabagismo e a exposição às temperaturas extremas.

Conforme o organismo vai sendo submetido a um ambiente cada vez mais hipóxico, este vai esgotando seus mecanismos compensatórios e vai perdendo a capacidade de realizar tarefas simples. Esse tempo em que há a exposição ao ambiente hipóxico e perda da capacidade de realizar tais tarefas é conhecido como TUC (Time of Useful Consciousness, ou na língua portuguesa, Tempo de Consciência Útil). Segundo Pickard e Gradwell, quanto mais elevada a altitude, menor o TUC. Esse conceito está representado na tabela 7.3.

Tabela 7.3: Tempo de Consciência Útil

ALTITUDE (PÉS)	TUC
18.000	20 a 30 min
25.000	3 a 5 min
28.000	2,5 a 3 min
30.000	1 a 2 min
35.000	30 a 60 seg
40.000	15 a 20 seg
43.000	9 a 12 seg

Fonte: Elabora dos autores

A medida mais importante proporcionada pela indústria aeronáutica foi a pressurização da cabine. Com ela, mesmo voando em níveis bem mais elevados, a aeronave pode manter uma pressão atmosférica equivalente à altitude de 6.000 a 8.000 pés em seu interior. Essa pressão é denominada altitude de cabine. Com isso, a pO_2 mantém-se numa faixa confortável. Para aeronaves não pressurizadas, recomenda-se o uso de O_2 suplementar a partir de 10.000 pés. Quanto maior a altitude, maior a necessidade de concentrações mais elevadas. A 33.000 pés, aproximadamente, deve ser fornecido O_2 com 100% de pressão para as vias aéreas com pressão positiva.

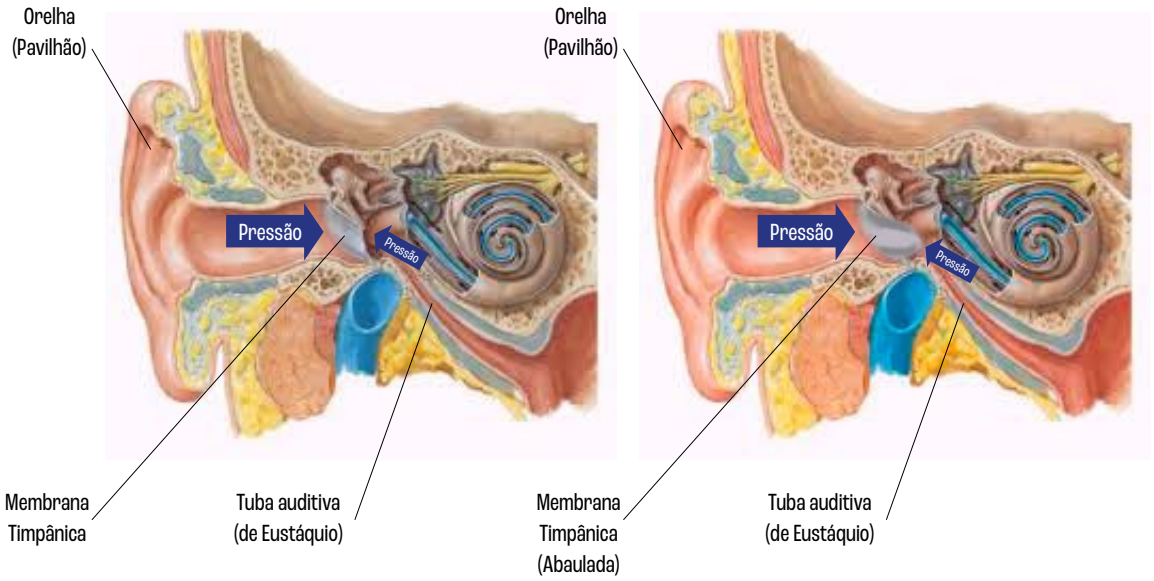
Disbarismos

O termo disbarismo significa alterações fisiológicas relacionados a alterações na pressão atmosférica do ambiente, excluindo as alterações decorrentes da hipóxia. Podemos classificá-lo em dois tipos: Aerodilatação e Doença Descompressiva (DD).

Aerodilatação

Como vimos anteriormente neste livro, a Lei de Boyle-Mariotte nos mostra que, em uma temperatura constante, o volume de um gás é inversamente proporcional à pressão exercida sobre ele. Na medicina aeroespacial, podemos definir aerodilatação como as alterações fisiológicas e mecânicas produzidas pela variação barométrica. A aerodilatação se refere aos problemas gerados pela expansão e retração gasosa nas cavidades corporais, podendo gerar quadros dolorosos intensos e emergências médicas durante o voo.

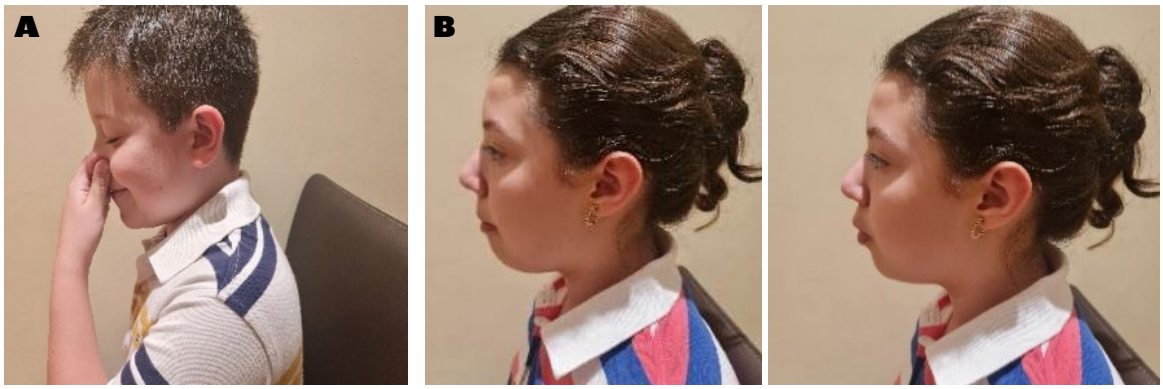
Figura 7.5: Representação do abaulamento timpânico pela diferença de pressão barométrica



Fonte: Adaptado de Netter, Atlas de Anatomia Humana, 6ª Edição

Aparelho Auditivo: a trompa de Eustáquio ajuda a manter a pressão de ar equilibrada em ambos os lados do tímpano, permitindo que o ar exterior consiga entrar no ouvido médio. Quando a trompa de Eustáquio está obstruída (por exemplo, devido à otite média aguda, faringites ou rinites), o ar não consegue chegar ao ouvido médio, e a pressão diminui. Quando a pressão de ar é menor no ouvido médio do que no canal auditivo, o tímpano arqueia para dentro (Figura 7.5). As diferenças de pressão podem provocar dor, danificar ou perfurar o tímpano.

Figura 7.6: Manobras de Valsalva



Fonte Imagem: Arquivo pessoal do autor

A) Expiração forçada com vias aéreas ocluídas;

B) Mastigação

Durante o procedimento de decolagem e pouso, as pressões no ouvido externo e médio podem ficar em desequilíbrio mesmo sem existir obstrução da trompa de Eustáquio. Essa situação pode ser facilmente revertida realizando a "manobra de Valsalva" (Figura 7.6), que consiste em aumentar a pressão no ouvido médio, por exemplo, realizando uma expiração forçada com as vias aéreas bloqueadas ou movimentando a mandíbula de forma simples.

Seios da face: mecanismo semelhante ao que vimos ocorrer como os seios da face e paranasais. Nesses casos, o mecanismo pode ocorrer durante a descida e, mais raramente, durante a subida. Geralmente, ocorre devido a afecções de vias aéreas superiores, que impedem a perfeita ventilação das cavidades.

Gastrointestinais: o sistema digestório também sofre com os efeitos da aerodilatação, o ar contido na cavidade gástrica, intestino delgado e cólons se expande conforme há a diminuição da pressão barométrica. Essa condição pode implicar em distensão gástrica com consequente reflexo vagal, podendo ocorrer queda da pressão arterial e síncopes. Cirurgias recentes de tripulantes ou passageiros no trato gastrointestinal requerem atenção. Nesses casos uma dilatação das cavidades digestórias pode acarretar deiscência súbita das anastomoses, com consequente peritonite e abdome agudo.

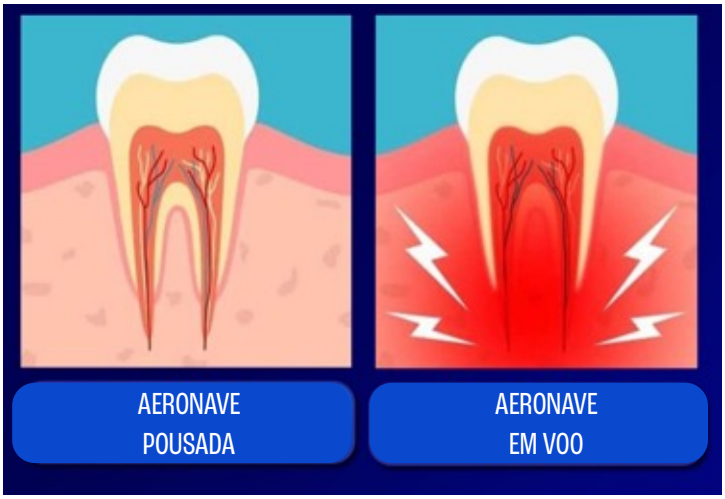
Tórax / Pleura: pequenas quantidades de ar presente no espaço pleural, como por exemplo, pneumotórax laminar, que ao nível do mar não apresentam sintomas significativos, durante a diminuição da pressão barométrica do ambiente, haverá expansão desse gás, gerando aumento do quadro de pneumotórax (Figura 7.7), com consequente hipoxemia e, em casos mais severos, pneumotórax hipertensivo, que pode evoluir com instabilidade hemodinâmica devido ao choque cardiogênico obstrutivo e parada cardiorespiratória. Outra situação que requer atenção são os tripulantes / passageiros portadores de bolhas enfisematosas, pois durante a queda da pressão barométrica pode haver expansão dessas bolhas, com ruptura espontânea e consequente evolução para pneumotórax, que pode se tornar hipertensivo.

Figura 7.7: Pneumotórax em ambiente hipobárico

Fonte Imagem: Apostila Curso Fator Humano – Força Aérea Brasileira

Cavidade dentária: doenças como cáries ou abcessos dentários, que possam causar acúmulo de pequenas quantidades de conteúdo gasoso na raiz dentária, irão levar à dilatação desse conteúdo conforme há a queda da pressão atmosférica do ambiente (Figura 7.8). Essa condição pode levar a dor lancinante e aguda que impossibilitará o tripulante a continuar a exercer suas funções de forma efetiva.

Figura 7.8: Aerodentia em ambiente hipobárico



Fonte Imagem: Apostila Curso Fator Humano – Força Aérea Brasileira

Sistema Neurológico: condições que possam acarretar a presença de ar na cavidade craniana ou na medula espinhal, como cirurgia recente com abertura do crânio ou abcessos em que haja pneumoencéfalo residual ou conteúdo gasoso na medula, durante a expansão desse conteúdo gasoso, poderão ocorrer sintomas de convulsão, parestesias, plegias e rebaixamento do nível de consciência.

Em suma, qualquer cavidade do corpo humano em que exista a presença de conteúdo gasoso que não tenha compensação com o ambiente externo pode gerar sintomas de desconforto, dor e instabilidade hemodinâmica. Essa condição pode incapacitar o tripulante a continuar exercendo suas funções em voo.

Doença Descompressiva (DD) ou Aeroembolismo

A lei de Henry, proposta em 1802 por William Henry, afirma que a solubilidade de um gás em um líquido, em temperatura constante, é diretamente proporcional à pressão parcial do gás sobre esse líquido. Ou seja, toda vez que houver diminuição da pressão barométrica, haverá também a diminuição da quantidade de gás dissolvido, sendo assim, o excesso sairá na forma de bolhas.

O ar atmosférico está representado na tabela a seguir e, ao nível do mar, exerce uma pressão de 760 milímetros de mercúrio (mmHg).

A Tabela 7.4 mostra a concentração dos gases na atmosfera terrestre. Conforme mostrado nesta tabela, o principal gás presente na atmosfera é o nitrogênio, sendo consequentemente o que se encontra em maior proporção dissolvido no sangue, logo, é o principal gás responsável pela doença descompressiva.

Tabela 7.4: Concentração de gases na atmosfera terrestre

ATMOSFERA TERRESTRE		
Gás	**Porcentagem na Atmosfera**	**Pressão Parcial**
Nitrogênio	78,084 %	593,44 mmHg
Oxigênio	20,948 %	159,20 mmHg
Argônio	0,934 %	7,10 mmHg
Dióxido de Carbono	0,031 %	0,24 mmHg
Outros Gases	0,003 %	0,02 mmHg
Total	100 %	760,00 mmHg

Fonte: Elaboração dos autores

O princípio físico responsável pela formação de bolhas com a diminuição da pressão ambiente é o conceito de supersaturação, que se baseia na lei dos gases de Henry. Um bom exemplo que ilustra as características físicas da lei de Henry aplicada à DD (Doença Descompressiva) é a abertura de uma garrafa de bebida gaseificada. Antes de abrir, poucas bolhas são visíveis no líquido, pois a pressão do gás acima do líquido está em equilíbrio com o líquido. Ao diminuir a pressão acima do líquido abrindo a garrafa, o sistema líquido-gás se reequilibra para a pressão ambiente reduzida, liberando bolhas de gás.

Assim ocorre em nosso organismo. O nitrogênio dissolvido em nosso sangue, ao entrar em contato com um ambiente hipobárico, diminui sua saturação ocorrendo a formação de bolhas. Isso ocorre principalmente se o tripulante ou passageiro foi submetido à ambiente hiperbárico antes de iniciar o voo, como por exemplo na prática de mergulho. O praticante de mergulho irá inalar uma mistura de nitrogênio e oxigênio sob uma pressão atmosférica maior do que ao nível do mar, aumentando sua solubilidade no sangue. Caso esse mergulhador entre em um avião, será submetido à um ambiente hipobárico, a solubilidade do nitrogênio irá diminuir no sangue, gerando assim a formação de bolhas em seu sangue.

Estudos recentes de Pollock et al. não mostraram nenhum aumento aparente no risco de DD após mergulhos e voo logo além de 60 pés/60 min em repouso seco, seguidos pelo menos 12 horas depois por um voo de 3 horas de repouso de 25.000 pés com 100% de oxigênio (4). A Undersea and Hyperbaric Medical Society revisou este material e fez a seguinte recomendação conforme consta na Tabela 7.5.

Tabela 7.5: Intervalo recomendado entre último mergulho e viagens aéreas

INTERVALO MÍNIMO ENTRE MERGULHO E VOO	
Tipo de mergulho	**Intervalo para voar**
Mergulhos sem necessidade de descompressão, com menos de 2 horas acumuladas de mergulho	Aguardar 12 horas
Mergulho de tempo prolongado ou por vários dias	Aguardar 24 horas
Mergulhos que exigem paradas para descompressão (mas não incluem mergulhos de saturação	Aguardar de 24 a 48 horas

Fonte: Elaboração dos autores

Altitudes acima de 18.000 pés são um fator crítico para o desenvolvimento de doença descompressiva. Nesta altitude, a pressão parcial de nitrogênio dissolvido no sangue tende a se igualar à pressão atmosférica, aos poucos vão se formando as bolhas e aparecendo a sintomatologia.

A sintomatologia vai depender do órgão alvo em que essas bolhas irão se instalar e são classificadas em tipo I (sintomas mais leves, como dor articular, dor e isquemia de pele e tecidos) e tipo II (sintomas mais severos como hipoxemia, eventos embólicos em sistema cardiovascular e neurovascular e síncopes).

Tipo I

Articulações: observa-se em 65% a 80% dos casos de DD induzida por altitude. Essa condição tende a ser localizada dentro e ao redor das grandes articulações do corpo. Às vezes, articulações menores, como áreas interfalangeanas, também podem ser afetadas, principalmente se essas articulações sofreram movimento ativo significativo durante a exposição à altitude.

Pele e Anexos: os sintomas cutâneos podem apresentar-se apenas como prurido ou formigamento. A sensação geralmente passa dentro de 20 a 30 minutos, e nenhum tratamento é necessário. Pode ocorrer uma erupção cutânea escarlatiniforme transitória. Os sintomas cutâneos, entretanto, podem apresentar-se com o aparecimento de lesões cutâneas mosqueadas ou marmoreadas; essa condição é também referida como cutis marmorata. A terapia depende das circunstâncias, no caso de cutis marmorata no cenário de mergulho, tende a ser mais grave, necessitando de tratamento análogo ao tipo II, porém na aviação, o surgimento da cútis marmorata parece não ter implicação significativa, tendo resolução espontânea.

Tipo II

Pulmonar: apesar de a embolia gasosa pulmonar ser uma condição rara encontrada nos estudos, quando se estuda a incidência dessa patologia, tanto em atividades de mergulho quanto na aviação, ela se torna extremamente grave, com potencial risco à vida. Apresenta-se com choque obstrutivo, podendo apresentar a tríade: dor torácica subesternal, dispneia e tosse seca.

SNC: com prevalência de aproximadamente 4% das DD, pode acometer tanto o cérebro quanto a medula espinhal. O acometimento cerebral geralmente se apresenta com sinais e sintomas sensoriais e motores irregulares não atribuíveis a um único lócus cerebral. A dor de cabeça, às vezes de natureza migranosa, está comumente presente. Distúrbios visuais como escotomas, visão em túnel, diplopia ou turvação visual, são comuns. Às vezes, fadiga extrema ou mudanças de personalidade que variam de labilidade

emocional a um comportamento agressivo são os sintomas apresentados. Em relação à medula espinhal, o início dos sintomas é insidioso, como dormência ou parestesia dos pés.

O déficit sensorial se espalha por via ascendente, acompanhado por uma fraqueza ou paralisia ascendente até o nível da lesão espinhal. Outros casos começam com dor abdominal ou torácica em faixa, que precede o início dos déficits sensoriais e motores. Dentro de 30 minutos do início, todo o quadro clínico de uma lesão medular transversal parcial ou completa pode se manifestar.

Cardiovascular: geralmente, o comprometimento circulatório se manifesta com sinais de infarto agudo do miocárdio e, em casos mais graves, com choque circulatório após o desenvolvimento de embolias ou comprometimento neurológico grave (colapso secundário). Possíveis mecanismos de colapso circulatório incluem envolvimento direto do centro regulador vasomotor ou lesão endotelial maciça dos vasos sanguíneos por bolhas, com subsequente perda de volume intravascular. O colapso circulatório é marcado pela falta de resposta à reposição hídrica, semelhante à falta de resposta comumente observada em casos de traumatismo raquimedular grave que resulta em simpatectomia central.

O tratamento da Doença Descompressiva deve ser realizado oferecendo oxigênio inalatório a 100% ao paciente e, em casos mais graves, deve-se iniciar a terapia em câmara hiperbárica.

Os fatores que podem influenciar, positivamente, o aparecimento e a severidade das manifestações da doença da descompressão são:

- Tempo de permanência em altitudes maiores que 18.000 pés;
- Velocidade de ascensão (quanto mais rápido, maior a chance de surgir a DD);
- Obesidade - situação em que o tecido gorduroso armazena mais nitrogênio;
- Exposições repetidas a altitudes com intervalos curtos;

- Realização de exercícios físicos antes e imediatamente depois de voos em grandes altitudes;
- Mergulhos autônomos com cilindros de ar comprimido - situação em que a quantidade de nitrogênio no organismo fica elevada.

Para minimizar a ocorrência da doença descompressiva, é fundamental observar os fatores que criam condições para seu surgimento. Além disso, uma das medidas mais eficazes consiste em respirar O_2 a 100%, antes da decolagem, por pelo menos 30 minutos. Esse processo recebe o nome de desnitrogenação. Nesse procedimento, como não se respira nitrogênio, há uma contínua eliminação desse gás. Isso diminui o risco de ocorrência da doença da descompressão.

Ilusões visuais

O termo ilusão, faz alusão à referência à percepção errada que o tripulante tem da realidade. Pode ser classificada como ilusões visuais e vestibulares.

As ilusões visuais resultam da ausência ou alteração das referências visuais que modificam a percepção do piloto quanto à sua posição em relação à cabeceira da pista ou em relação ao horizonte.

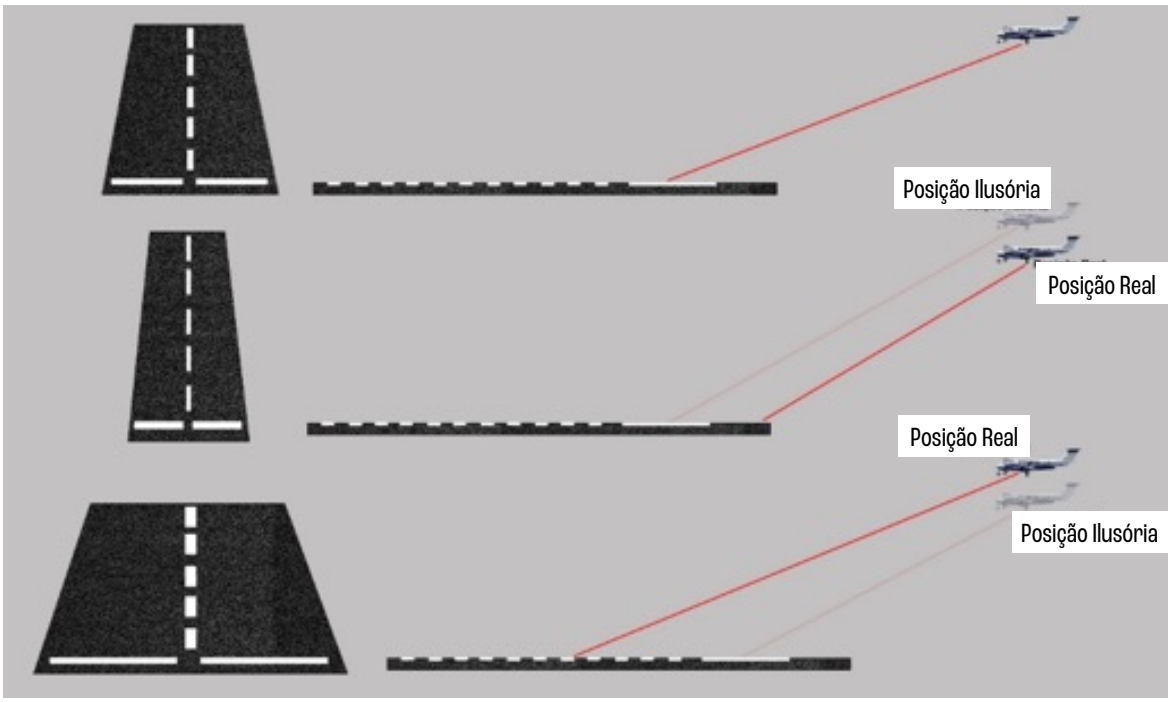
Essas ilusões podem acarretar pousos curtos, pousos duros, ultrapassagem da pista e CFIT (*Controlled Flight Into Terrain*).

Surgem mais comumente quando há a transição do voo por instrumentos para regras visuais, no entardecer (crepúsculo) e quando há ausência de referenciais.

Existem diferentes tipos de ilusões visuais e as mais comuns são:

Ilusão de proporção

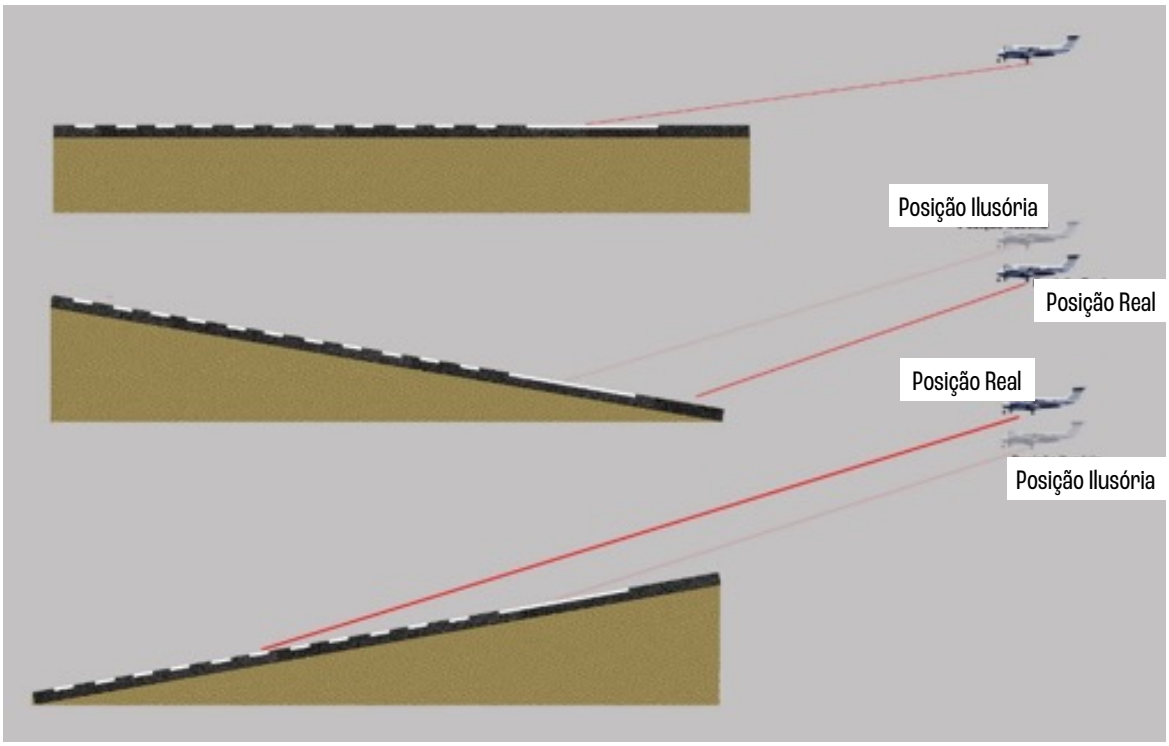
Figura 7.9: lusão Visual de Proporção



Fonte Imagem: Arquivo pessoal do autor

O piloto acostumado a pousar em determinada pista, certamente irá armazenar em sua memória uma imagem trapezoidal ideal que irá indicar o ângulo exato da rampa de descida correta. Entretanto, o mesmo piloto, ao realizar voos em outras localidades onde tenha que pousar em pistas com proporções diferentes, as imagens geradas poderão levar a erros de julgamento de altura (Figura 7.9). Uma pista que tenha maior comprimento ou menor largura poderá induzi-lo a julgar que se encontra mais alto fazendo com que o piloto faça um pouso curto ou toque antes da pista. Já uma pista que tenha maior largura ou menor comprimento poderá induzi-lo a julgar que se encontra mais baixo, fazendo com que o mesmo toque tardiamente na pista podendo ocorrer ultrapassagem da mesma.

Figura 7.10: Ilusão Visual de Proporção



Fonte Imagem: Arquivo pessoal do autor

Com relação à inclinação do terreno (Figura 7.10), o piloto vê a pista de pouso sem inclinação. Se a pista é um plano inclinado ascendendo (aclive) em relação à cabeceira de aproximação, o piloto terá a ilusão de que está mais

alto do que realmente está, podendo fazê-lo colidir com o solo. Assim como, a imagem trapezoidal mais baixa de uma pista em declive poderá induzir o piloto a julgar que se encontra mais baixo, pousando tardiamente na pista correndo o risco de ultrapassá-la.

Ilusão de repetição (espelho d'água)

Figura 7.11: Ilusão visual tipo espelho d'água

Fonte Imagem: Arquivo pessoal do autor

Ocorre principalmente com pilotos de helicóptero quando se está voando a baixa altura na superfície da água ou neve, com uma superfície de repetição de padrão regular (ondulações na água). Pode trazer a ilusão ao piloto de que está em uma altitude diferente da que realmente está (Figura 7.11), levando à condição de CFIT (*Controlled Flight Into Terrain*).

Ilusão visual tipo "*black hole*"

Figura 7.12: Ilusão visual tipo *Black Hole*

Fonte Imagem: Apostila Curso Fator Humano – Força Aérea Brasileira

Esta ilusão ocorre em procedimentos de aproximação final para pouso em voos noturnos, quando não há luzes entre o avião e a pista, sem um horizonte definido (pistas sobre a água ou locais inabitados). A situação piora ainda mais quando apenas as luzes da pista são a única iluminação (Figura 7.12). Nesses casos, se o piloto não verificar seus instrumentos, pode ter uma percepção errada da altitude, podendo ocorrer CFIT, pousos duros, pousos curtos ou toques tardios, causando ultrapassagem da pista.

Ilusão visual tipo "*whiteout*" (Figura 7.13)

É um fenômeno criado pela neve sobre um terreno e juntamente a um céu "fechado" (nublado, carregado, escuro) que elimina a percepção das características do terreno (inclinação), da altitude e a distinção do horizonte, ou quando se voa sobre um nevoeiro que está sobre uma cidade, ou terreno iluminado à noite sem visibilidade do horizonte.

Figura 7.13: Ilusão visual tipo *Whiteout*

Fonte Imagem: Apostila Curso Fator Humano – Força Aérea Brasileira

Ilusão autocinética

Esta ilusão pode ocorrer à noite ou durante o anoitecer sobre pistas com baixa condição visual. Ela dá ao piloto uma impressão de que um objeto fixo está se movendo na frente do avião. Ela é causada por ficar olhando para um único ponto fixo de luz sem referências fixas em um fundo escuro. O que acontece é que ela pode causar uma percepção equivocada de que esta luz está em rota de colisão com a aeronave.

Ilusão vetorial

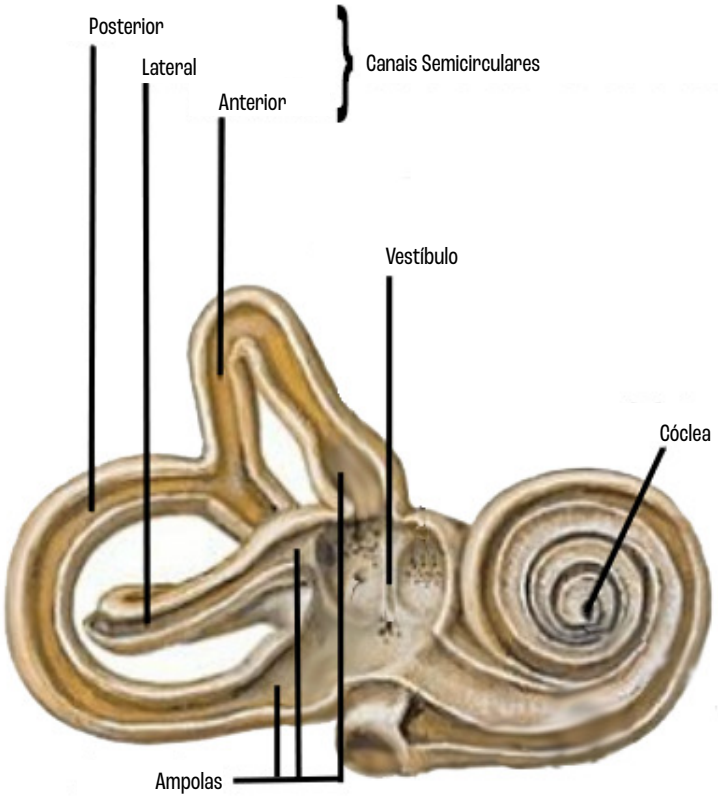
Acontece principalmente durante o taxiamento da aeronave. É a mesma ilusão quando você está no trânsito e o carro do lado começa a se movimentar. Apesar de estar parado, sua visão periférica interpreta que você está andando para trás.

Ilusões vestibulares

Já as ilusões vestibulares são decorrentes da má interpretação do SNC advinda do sistema vestibulococlear.

O sistema vestibular é constituído pelos canais semicirculares, ampola, sáculo, utrículo e a cóclea, que informam o Sistema Nervoso Central (SNC) sobre a posição e movimentos da cabeça. É responsável pela orientação espacial e equilíbrio (Figura 7.14).

Figura 7.14: Canais semicirculares.

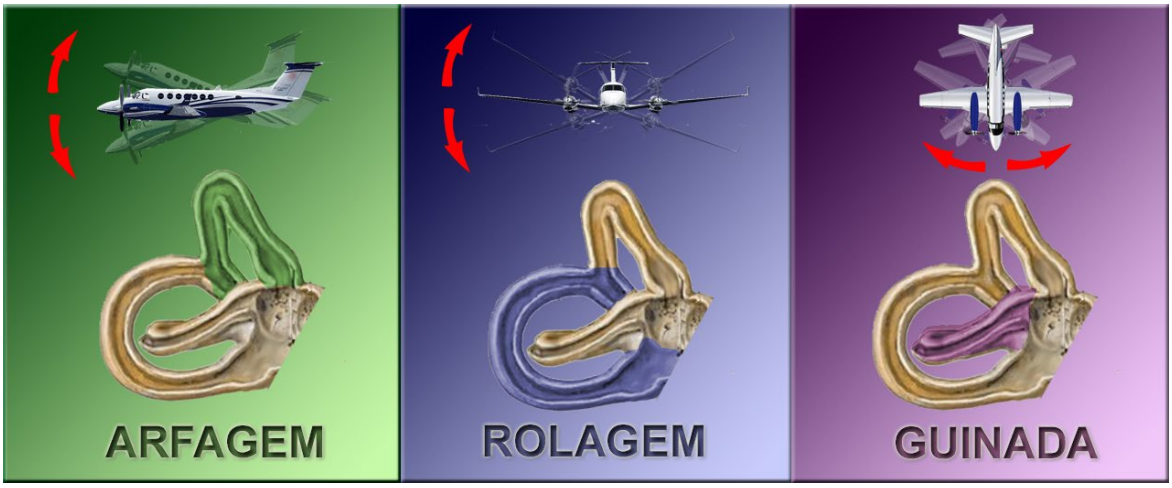


Fonte Imagem: Adaptado de Netter, Atlas de Anatomia Humana, 6ª Edição

Os canais semicirculares são sensores de aceleração angular, ou seja, de rotação.

Os três canais semicirculares estão preenchidos por um líquido viscoso conhecido como endolinfa e estão orientados perpendicularmente entre si, sendo coplanares em relação aos do lado oposto, o que garante uma abstração tridimensional do espaço. Esse design garante que qualquer movimento espacial de rotação da cabeça possa ser detectado (Figura 7.15). Todas as vezes que a cabeça é rotacionada (para cima, para baixo ou para os lados), a endolinfa no interior dos canais se move em sentido contrário devido à inércia e causa uma deformação mecânica na cúpula, enviando ao cérebro a sensação de movimento.

Figura 7.15: Correlação dos canais semicirculares com movimento da aeronave



Fonte Imagem: Arquivo pessoal do autor

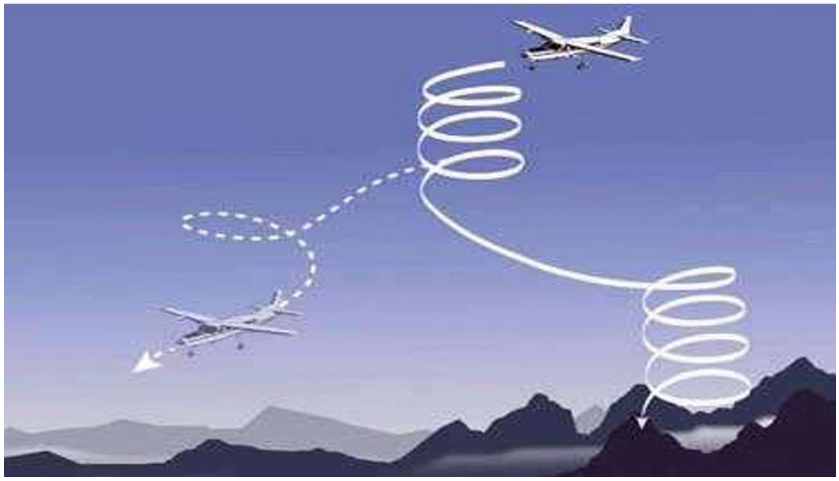
Ilusão de coriolis

Essa ilusão ocorre quando você está em uma curva constante por tempo suficiente para a endolinfa presente nos canais semicirculares entrar em situação inercial em relação à ampola vestibular. Nessa situação, o cérebro interpreta que o voo está nivelado em linha reta. Nesse ponto, se o piloto mover a cabeça muito rapidamente, como olhar para algo na cabine, pode fazer o fluido nos ouvidos mover-se em um eixo totalmente diferente. Isso traz a ilusão de que a aeronave está voando em uma atitude que não está re-

almente. Caso o piloto tente corrigir a aeronave apenas com sua percepção, sem prestar atenção aos instrumentos, pode colocar a aeronave em uma situação indesejada de voo.

Parafuso mortal (Figura 7.16)

Figura 7.16: Ilusão vestibular tipo espiral mortal



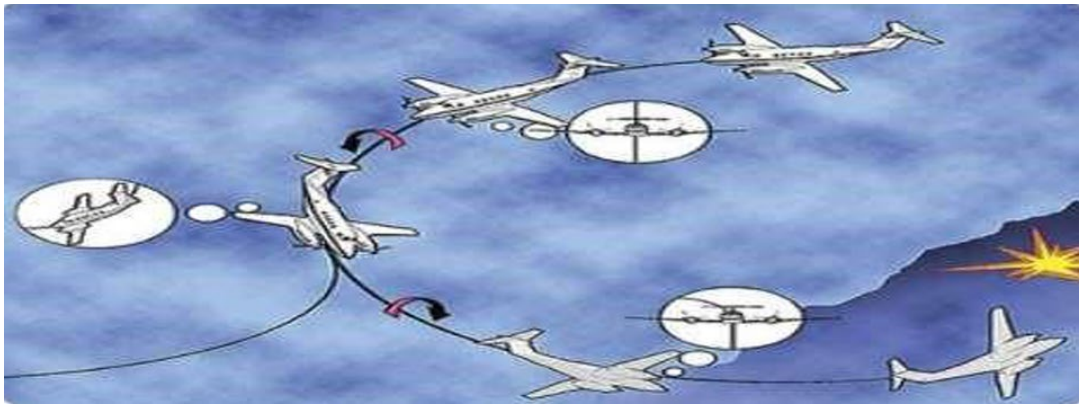
Fonte Imagem: Apostila Curso Fator Humano – Força Aérea Brasileira

Esta é uma ilusão que pode ocorrer quando o piloto executa uma manobra de parafuso. Quando comanda um parafuso para a esquerda, por exemplo, terá inicialmente a sensação de estar girando no mesmo sentido. Depois de cerca de 10 ou 20 segundos, entretanto, a endolinfa alcança a situação de inércia e a cúpula retorna à posição de repouso. A partir desse momento, a sensação de parafuso é substituída por uma sensação de movimento não giratório, trazendo a impressão de que a rotação está diminuindo progressivamente, apesar do fato de que o parafuso continua. Nesse momento, se o piloto tentar corrigir a posição da aeronave, ele terá a ilusão de uma rotação no sentido oposto (à direita). Se o piloto corrigir o parafuso, conduzindo o manche no sentido oposto, será submetido a uma desaceleração angular que atuará sobre seus canais semicirculares, produzindo uma sensação de parafuso na direção oposta, embora não esteja mais girando após ter tomado a medida corretiva. O piloto, sofrendo essa ilusão de parafuso na direção oposta, possivelmente tentará corrigir sua falsa impressão, colocando a aeronave no parafuso original.

Espiral mortal (Figura 7.17)

O mecanismo da espiral mortal é muito semelhante ao do parafuso fatal. A diferença reside no fato de que o piloto não está em espiral e sim em uma curva longa.

Figura 7.17: Ilusão vestibular tipo espiral



Fonte Imagem: Apostila Curso Fator Humano – Força Aérea Brasileira

Desnivelamento (leans)

O desnivelamento é a mais comum das ilusões vestibulares. É causada por um retorno repentino ao voo nivelado após uma curva gradual e prolongada que passou despercebida pelo piloto. A razão pela qual o piloto pode não estar consciente de ter efetuado uma curva lenta é que a exposição à aceleração angular de 2º por segundo não é detectada pelos canais semicirculares. Uma vez nivelado, o piloto pode ter a ilusão de que o avião está girando no sentido oposto, devido ao movimento inercial da endolinfa presente nesses canais.

Ilusão somatogravic

Ocorre principalmente em aeronaves de alto rendimento. Acontece quando o piloto acelera abruptamente. Neste caso, a aceleração da endolinfa causa a ilusão de que o nariz da aeronave está sendo lançado para cima, fazendo com que o piloto ache que necessita empurrar o nariz de sua aeronave para baixo, entrando em uma atitude de mergulho. Ocorre também o oposto, com uma rápida desaceleração. O piloto tem a sensação de que o

nariz da aeronave está para baixo, fazendo-o acreditar que necessita corrigir a atitude do nariz para cima.

Aerocinetose (*motion sickness*)

A aerocinetose é uma síndrome que geralmente acomete tripulantes durante o início de sua carreira na aviação, momento em que a maioria dos aeronautas tem seu primeiro contato com alterações barométricas, ambientes de hipóxia e novos estímulos de seus sistemas sensoriais. A síndrome traz sintomas como fadiga, sonolência, tontura, náuseas e, até mesmo, vômitos nos casos mais críticos. Isso ocorre devido à incompatibilidade entre as informações advindas dos sistemas visual e vestibular, que apresentam uma discrepância quando relacionadas com as experiências de movimento já realizadas pelo indivíduo. Conforme seus sistemas sensoriais (principalmente visual e vestibular) vão se adaptando a essas condições da cabine de voo, os sintomas tendem a desaparecer.

Fadiga

A fadiga da tripulação também é uma matéria importante e fundamental no estudo do Fator Humano, porém será abordada em outro capítulo dentro deste livro.

Aceleração

A aceleração é a taxa de variação da velocidade. A resposta à aceleração depende da magnitude, direção e duração. A resposta pode ser fisiológica e envolver a homeostase durante acelerações de baixa magnitude e longa duração, ou pode envolver danos físicos quando a aceleração é alta e de curta duração.

A primeira lei de Newton afirma que um corpo que está em repouso ou em movimento permanecerá nesse estado, a menos que uma força seja exercida. Uma força pode ser um empurrão ou um puxão. Por exemplo, uma aeronave em linha reta e em voo nivelado é considerada sem aceleração se as forças que atuam na aeronave estiverem em equilíbrio. Da

mesma forma, os ocupantes da aeronave não sofrem ação da aceleração, entretanto, irão experimentar a força da gravidade caso o piloto altere a trajetória da aeronave.

Se uma aeronave segue uma trajetória curva, como durante uma curva inclinada ou inclinação ascendente, uma força deve agir sobre a aeronave para alterar seu caminho (neste caso, forças devido ao levantamento), a aeronave se inclina devido às forças de sustentação. Os ocupantes dentro da aeronave também seguem a primeira Lei de Newton e, portanto, seguirão uma trajetória retilínea com velocidade constante, a menos que uma força atue sobre a aeronave. Durante uma curva inclinada ou inclinação para cima, esta força é exercida sobre o ocupante pelo assento e piso da aeronave.

A força G

A aceleração da gravidade é uma constante, ou seja, é a mesma em qualquer lugar na superfície de um planeta. Na Terra, esta constante é denominado "g" e tem o valor de aproximadamente 9,81 metros/segundo ao quadrado (m/s^2).

Já "G" é uma medida da aceleração experimentada por uma pessoa como resultado de uma força. Alternativamente, pode ser considerado como uma medida da força experimentada por uma pessoa devido à ação da aceleração. É expresso em termos de múltiplos de aceleração gravitacional da Terra. 1 G é a força experimentada durante a aceleração de 9,81 m/s^2. A relação de G e aceleração pode, portanto, ser expressa na seguinte equação matemática:

$$G = a/g$$

G = Força G a = aceleração g = gravidade (9,81 m/s^2)

Como ambos "a" e "g" têm unidades de m/s^2, e eles são divididos, as unidades se cancelam e G fica sem unidades – é uma razão. Como afirmado,

o coeficiente G refere-se à força. Por exemplo, um piloto pesando 70 kg na Terra que está sujeito a uma aceleração em voo de 3 G, experimentará uma força que é três vezes o seu peso, ou seja, 210 kg.

Aceleração, velocidade e força são expressas na forma de vetores. G também é um vetor.

Figura 7.18: Vetores Força G

Fonte Imagem: Arquivo pessoal do autor

Vetores são descritos em parcelas que demonstram sua magnitude e direção. Essas parcelas são definidas por três eixos lineares ortogonais: x, y e z. (Figura 7.18).

Uma forma mnemônica de guardar as direções e o sentido é formando os eixos tridimensionais com a mão esquerda, sendo que cada dedo aponta para o sentido positivo (Figura 7.19).

O vetor de Força G que gera maior atenção à medicina aeroespacial é o vetor Gz, pois este é o maior eixo do corpo humano e é a força que irá dificultar o sangue que sai da válvula aórtica atingir as artérias cerebrais. Segundo a dinâmica de fluidos, quando uma força é aplicada a um fluido em um volume restrito, a pressão interna aumenta. A pressão é uma medida de força (por unidade de área) transmitida por fluidos. Por exemplo, espremer uma garrafa de água de plástico cheia aumenta a pressão da água dentro da garrafa. Se a tampa estiver aberta, o aumento da pressão da água obriga a água a esguichar contra a gravidade e a resistência da abertura. Da mesma forma, o coração.

Figura 7.119: Mnemônica Força G

Fonte Imagem: Arquivo pessoal do autor

A contração durante a sístole aumenta a pressão dentro do ventrículo esquerdo e compele o sangue a abrir a válvula aórtica e fluir para a aorta. Esse princípio de hidrostática é aplicado a todos os fluidos corporais, como líquido pericárdico, pleural, abdominal, cérebro espinhal e todo o sistema vascular venoso e arterial. Portanto, um aumento da Força Gz+ irá aumentar a pressão hidrostática da coluna de sangue que será ejetado pela válvula aórtica durante a sístole, dificultando assim sua chegada às artérias carótidas e vertebrais.

Quando um ocupante experimenta Gz+, a força associada é sentida como uma pressão crescente das nádegas contra a superfície do assento. O ocupante experimenta "peso", e atividades, como levantar um braço, serão mais difíceis. Quando o Gz- é experimentado, há uma redução na pressão nas nádegas e o ocupante pode sentir-se elevar do assento. À medida que Gz- aumenta, a pressão do ombro e do colo no cinto de segurança é experimentada. Em última análise, o ocupante pode sentir-se suspenso pelos ombros e ter a sensação de estar invertido.

Efeitos fisiológicos da força Gz

O controle fisiológico da pressão arterial é baseado (em parte) no reflexo barorreceptor em alça fechada, que está presente principalmente no bulbo carotídeo. O barorreceptor reflexo controla a pressão arterial através da ativação do sistema nervoso autônomo. Quando há queda da pressão transmural dos receptores contidos nos bulbos carotídeos, o sistema nervoso simpático (resposta pressora) é ativado. Por outro lado, quando há um aumento na pressão arterial, o sistema nervoso parassimpático (resposta depressora) é ativado.

O componente dinâmico da pressão arterial está relacionado com a frequência cardíaca, volume sistólico e resistência periférica total.

PA = FC x RVP

PA = Pressão Arterial FC = Frequência Cardíaca RVP = Resistência Vascular Periférica

---

Com a ativação do sistema nervoso simpático, há um aumento da Frequência Cardíaca e da Resistência Vascular, que faz com que a pressão arterial aumente, elevando o volume e a pressão do sangue ejetado pela válvula aórtica. A resistência vascular periférica total é aumentada quando o músculo liso se contrai e, assim, reduz o espaço de circulação do volume de sangue arterial. Embora muito eficaz na compensação da hipotensão, o reflexo barorreceptor leva tempo, na ordem de 6 a 9 segundos, para a pressão arterial ser restaurada em 10 a 15 segundos. Essa resposta compensatória é, portanto, mais lenta do que o tempo de reserva de hipóxia cerebral, que é em torno de 4 a 6 segundos.

Em contraste, o sistema nervoso parassimpático age diminuindo a pressão arterial, diminuindo a frequência cardíaca e a resistência vascular periférica. Isso faz com que haja o relaxamento dos tecidos miocárdicos e vasculares. Esta resposta ocorre mais rapidamente, em comparação com a resposta do sistema nervoso simpático, que pode ser totalmente compensada em 2 a 4 segundos.

O sistema respiratório também é afetado pelo aumento de Gz+. À medida que as pressões hidrostáticas aumentam durante o aumento de Gz+, a perfusão pulmonar é redistribuída para a base do pulmão. Durante a aceleração, o alvéolo, devido ao grande diferencial na densidade específica entre o sangue e o ar, expande-se no topo do pulmão enquanto aqueles na base do pulmão, onde a maior parte do sangue estagnou, torna-se menor acarretando atelectasia, como resultado, podemos notar shunts arteriovenosos intrapulmonares e alterações na relação ventilação/perfusão enquanto a tripulação é submetida a incrementos das Gz+.

O aumento da pressão abdominal durante Gz+ também acarreta distensão total do diafragma, prejudicando a capacidade vital devida à redução do volume total inspiratório (11). A complacência pulmonar diminui e leva a um aumento da resistência pulmonar, que, aliada ao aumento do peso das estruturas da parede torácica, faz com que haja um aumento no trabalho respiratório conforme há um incremento na força Gz+.

Outro sentido que é afetado à medida que a Gz+ aumenta é a visão. Inclusive, os sintomas iniciais de descompensação devido aumento da Gz+ são visuais. O interior do olho é um globo hermeticamente fechado e normalmente tem uma pressão interna de 10 a 21 mmHg. Para que ocorra uma adequada perfusão retiniana, a pressão arterial deve ser maior que a pressão ocular interna. Caso contrário, ocorre isquemia retiniana, começando pelos vasos mais distantes do disco óptico e progredindo para a retina central. Um piloto em voo exposto a uma crescente +Gz pode experimentar o escurecimento da visão, começando no campo visual periférico. Isso é chamado de "***visão em túnel***".

Com o aumento contínuo da Gz+, os sintomas visuais podem progredir do campo visual periférico para o centro da visão, um sintoma conhecido como "***gray-out***". Se a Gz+ for reduzida, a restauração da visão ocorre rapidamente. Se a Gz+ continuar aumentando, sintomas visuais podem progredir do *gray-out* para perda completa de visão, ou "***blackout***" (não confundir com perda de consciência). Neste caso, as funções cerebrais e auditivas permanecem intactas. A recuperação do "*blackout*" ocorre rapidamente com diminuição da Gz+ e

a normalização da pressão de perfusão retiniana. A presença de visão em túnel ou de "*blackout*" pode fornecer aos pilotos um aviso valioso de que a perda de consciência é iminente, a menos que as medidas apropriadas sejam tomadas.

(A-LOC) - Quase perda de consciência

A A-LOC, do inglês, "Almost Loss Of Consciousness", é uma síndrome que aparece com o aumento progressivo e continuado da Gz+. Esta síndrome consiste em uma incapacitação transitória sem perda completa de consciência que muitas vezes ocorre durante e após uma duração relativamente curta e início rápido de picos de Gz+. A A-LOC é caracterizada por uma expressão facial apática, espasmos, perda auditiva, paralisia transitória, amnésia, dificuldade na formação de palavras e desorientação. O sintoma mais frequentemente relatado é como sendo uma desconexão entre a cognição e a capacidade de agir. A duração da incapacidade é muito mais curta do que com a perda de consciência induzida por G (G-LOC), refletindo um grau mais transitório de isquemia das células cerebrais.

(G-LOC) – Perda de consciência induzida por G

Se a hipotensão cerebral progride além dos sintomas de deficiência visual e A-LOC, a G-LOC pode ocorrer. G-LOC foi definida como um "estado de percepção alterada em que a consciência da realidade está ausente como resultado de redução súbita e crítica da circulação sanguínea cerebral causada pelo aumento da força G." Pilotos que se submetem à centrifugação de treino para Força G e que experimentam G-LOC frequentemente parecem olhar fixamente antes de relaxar o controle muscular voluntário e exibir sinais de perda de consciência.

Após a redução da Gz+, ocorrerá a recuperação da G-LOC. Esta recuperação é dividida em dois períodos: incapacidade absoluta (ou inconsciência) e incapacidade relativa. De acordo com os estudos em treino de centrífuga, a incapacidade absoluta dura um período médio de 12 segundos (intervalo de 2 a 38 segundos), que é seguido por um período de incapacidade relativa que consiste em confusão/desorientação mental que dura em média 15 segundos (intervalo

de 2 a 97 segundos). Um piloto não consegue manter o controle da aeronave durante qualquer um desses períodos, cuja soma é um período de incapacidade total em média de 28 segundos (intervalo de 9 a 110 segundos) o que geralmente é fatal se ocorrer durante um voo real. Não há aparentemente nenhum efeito patológico residual permanente quando há recuperação da G-LOC.

O efeito *push-pull*

O termo efeito *push-pull* (empurre – puxe), descreve o movimento que o piloto faz no controle do manche, elevando e descendo o nariz da aeronave, e foi cunhado para descrever este fenômeno.

Ele ocorre durante um voo direto e nivelado em +1 Gz. O piloto entra em atitude de descenso da aeronave, experimentando uma Gz-. Após vários segundos de exposição, o piloto experimentará bradicardia, diminuição da contratilidade cardíaca e vasodilatação (ação parassimpática). Se o piloto, então, fizer uma manobra em que experimente forças maiores do que +1 Gz, o volume sanguíneo da parte superior do corpo desloca-se no sentido caudal.

A queda da pressão de perfusão cerebral pode ser profunda (lembre-se de que o coração estava inicialmente em um estado de bradicardia e baixa contratilidade). Nesta condição, uma completa resposta compensatória pode levar pelo menos 8 a 10 segundos. Considerando que o período de a latência de hipóxia para células cerebrais é de apenas 4 a 6 segundos, o potencial para sintomas relacionados a +Gz é claramente maior do que o esperado caso o piloto não estivesse anteriormente sofrendo a ação da Gz-.

Efeitos fisiológicos das Forças Gx e Gy

Quando a aceleração age transversalmente, o componente vertical da coluna hidrostática dos fluidos corporais é muito pequeno, e a localização do cérebro em relação à coluna hidrostática vertical não o torna vulnerável a alterações da pressão hidrostática.

Há, no entanto, uma diferença considerável entre Gx+ e Gx- em relação aos volumes pulmonares e ventilação. Durante 6 Gx+, por exemplo, a capacidade vital é reduzida de 55% a 80% em relação a 1 Gx. A perfusão pulmonar

durante a ação de Gx+, assim como Gz+, é distribuída de forma desigual, gerando shunt funcional dentro do pulmão, pois há um aumento do volume sanguíneo para a parte posterior do pulmão, que fica mais perfundido, porém com os alvéolos mais atelectasiados. O esforço respiratório aumenta durante o incremento de Gx+ e, com volumes pulmonares funcionais reduzidos, pode ocorrer com um aumento no espaço morto funcional.

O cérebro também não é diretamente ameaçado durante o Gy, pois não existe alteração da coluna hidrostática nesta orientação. Gy raramente é encontrado em aeronaves.

Prevenção dos efeitos da Força G

Manobra de respiração Anti-G

A AGSM (do inglês, *Anti-G Strain Maneuver*), consiste na expiração forçada contra a glote fechada ou parcialmente fechada enquanto tensiona os músculos das pernas, braços e abdome. O esforço da AGSM é interrompido em intervalos de 3 a 4 segundos com uma expiração/inspiração rápida (<1 segundo), que permite retorno venoso adequado durante o período de baixa pressão intratorácica.

Trajes anti-G

Figura 7.20: Traje anti-G pneumático

Fonte Imagem: Website do fabricante do traje

O traje anti-G (também denominado traje G) é projetado para fornecer aumento da pressão transitória na válvula aórtica para superar o aumento da pressão hidrostática. Duas abordagens gerais para o design de trajes anti-G foram tomadas: hidrostáticos e pneumáticos (Figura 7.20). Trajes hidrostáticos anti-G usam fluido dentro do traje para fornecer contrapressão ao corpo simultaneamente com aumento da Gz+.

Figura 7.21: Piloto usando traje anti-G

Fonte Imagem: USAF

Esses trajes são independentes, não requerem suporte de aeronave ou anexos, e fornecem uma resposta instantânea, porém são mais pesados e desconfortáveis para o operador.

O traje anti-G pneumático geralmente consiste em bolsões de ar dentro de macacões de tecido que cobrem o abdômen, coxas e panturrilhas (Figura 7.21). A pressão do ar é fornecida aos bolsões através de válvulas de controle a taxas que dependem do nível de Gz+. Os trajes são projetados para serem bem ajustados com zíper, fixadores e mangueiras de ar que se conectam à aeronave.

Trajes anti-G convencionais aumentam o volume e a pressão de ejeção pela válvula aórtica, aumentando a resistência periférica total através da compressão mecânica do abdome e das pernas, aumentando assim o retorno venoso e mantendo a perfusão tecidual cerebral durante o incremento da Gz+.

Diminuição da distância vertical Coração – Cérebro

Figura 7.22: Distância Coração-Cérebro

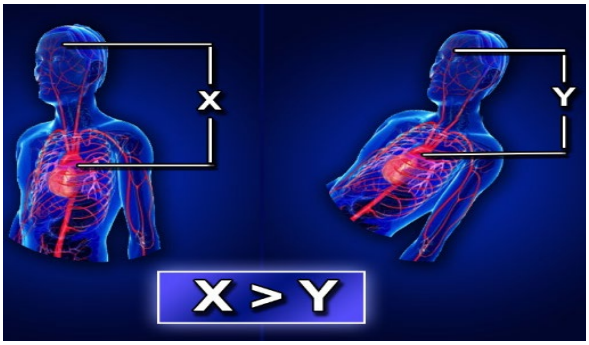


Imagem: Arquivo pessoal do autor

Figura 7.23: Banco reclinado do caça F-16 Fighiting Falcon

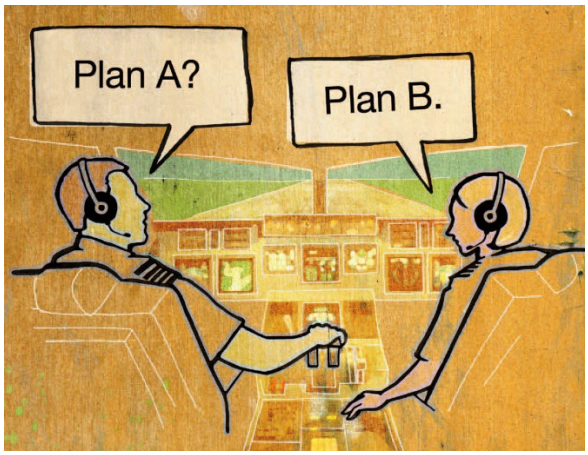
Imagem: Força Aérea Portuguesa

O meio mais eficaz de aumentar a tolerância à Gz, é reduzir a altura vertical da distância coração-cérebro. Essa redução pode ser possível fazendo com que o assento do piloto se incline para frente (prono) ou para trás (supino) em relação ao vetor Gz, (Figuras 7.22 e 7.23) diminuindo assim a distância vertical da válvula aórtica para o cérebro.

Limite de duração da Força G

Pilotos civis de acrobacias competitivas, que não usam trajes anti-G, relatam experimentar até 12 Gz+ e níveis de Gz- de aproximadamente 9 Gz-, pois muitos desses pilotos realizam manobras de voo invertidas sustentadas. A suscetibilidade ao efeito “push-pull” é uma ameaça reconhecida. No entanto, devido às limitações de empuxo, essas aeronaves não são capazes de sustentar Gz por tempo prolongado, assim, os pilotos são capazes de tolerar esses altos níveis de Gz, pois as exposições são inferiores a 4 a 6 segundos.

Figura 7.24: **Tomada de decisão na cabine**



Fonte Imagem: https://avioesemusicas.com/wp-content/uploads/2013/09/nasa_crew_resource_management1_full.jpg

Conclusão

A disciplina de Fator Humano tem como objetivo estudar os fatores que influenciam e podem afetar o desempenho do ser humano durante todas as fases do voo. Necessita de uma abordagem multidisciplinar tanto do médico aeroespacial quanto da equipe de engenharia, biomecânica, desenvolvedores, etc., tanto do meio militar quanto do meio civil. Apesar de as aeronaves se tornarem cada vez mais avançadas, com sistemas de gerenciamento e navegação cada vez mais modernos e precisos, com a implementação de algoritmos de inteligência artificial, o homem ainda é o principal fator na tomada de decisão. É responsabilidade de todos que atuam na área de fator humano propiciar um ambiente que mitigue os riscos e que faça com que o homem possa entregar seu máximo potencial quando no comando de uma aeronave.

Introdução ao CRM (*Corporate Resource Management*)

A sigla CRM (Corporate Resource Management) para aviação possui a missão de ser mais um elo na segurança de voo e no gerenciamento das equipes. Inicialmente, a inicial "C" correspondia ao termo "cockpit" (cabine), sendo um programa restrito ao grupo de pilotos. Em um segundo momento,

substituiu-se o termo por "*crew*" (tripulação), ampliando o programa para toda a tripulação e equipes de solo e hoje em dia ele se estende para toda a empresa, adotando-se o termo "*corporate*". Levando-se em consideração que 70% dos acidentes aeronáuticos são ocasionados por erros de comando dentro da cabine de voo, uma cabine que possua um ambiente árido em que o comandante perdeu o elo de comando e comunicação com sua tripulação impede que problemas sejam identificados a tempo de serem resolvidos e evitar o acidente aeronáutico.

O estabelecimento dos cursos de CRM pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) como um requisito obrigatório na política institucional da segurança de voo faz com que os operadores aéreos, sejam eles públicos ou privados, tenham como meta o uso eficaz de todos os recursos disponíveis para garantir segurança e eficiência nas operações aéreas. No treinamento, busca-se mudanças nas atitudes e comportamentos da tripulação, da equipe de voo e de todos os integrantes das operadoras.

Conviver em um ambiente confinado da cabine de voo em altas altitudes e velocidades exige que a tripulação a bordo tenha uma comunicação eficaz, clara e concisa para que diminua o fator de erro humano no processo decisório de situações que exijam rápida e assertiva intervenção, evitando assim acidentes aeronáuticos.

Apesar de estar envolvido em uma melhor segurança de voo e em evitar acidentes, o CRM não é para ser utilizado somente em emergências, mas sim em **todos** os momentos do voo, seja no solo, no ar ou durante os momentos em que tudo está indo bem. O principal desafio do CRM não está em sua compreensão, mas sim em sua aplicação diária. Ele não está ligado à diminuição da autoridade do Comandante, mas sim à utilização dos recursos para diminuir a falha humana na operação das aeronaves e no aperfeiçoamento do processo decisório da tripulação.

O objetivo do CRM não é substituir as habilidades básicas de voo e conhecimentos técnicos, nem tentar mudar a personalidade das pessoas, tampouco diminuir a autoridade do comandante, criar um processo decisório democrático, tornar-se um recurso para ser mantido em reserva ou pron-

tidão para emergências e padronizar procedimentos de cabine. O principal objetivo do CRM é promover a comunicação como um dos fatores mais importantes no ambiente de cabine, pois o processo decisório está alicerçado em boas informações obtidas de forma clara, objetiva e concisa.

O CRM surgiu na década de 1970 e a primeira empresa aérea a aplicá-lo foi a United Airlines, tendo iniciado o programa após o grave acidente com o voo UA 173 (Figura 7.25) em Portland, Oregon, EUA. Antigamente, tinha-se o conceito de que as atividades de segurança só eram necessárias após algum acidente e eram focadas única e exclusivamente no desempenho pessoal do piloto como causa principal e desencadeadora do acidente.

Figura 7.25: Acidente UA 173

Fonte Imagem: https://tailstrike.com/database/28-december-1978-united-173/

O voo UA 173 foi tripulado por uma equipe experiente, composta pelo comandante Malburn McBroom (52 anos), o copiloto Roderick "Rod" Beebe (45 anos) e o engenheiro de voo Forrest Mendenhall (41 anos). Partiu de Denver para Portland com 189 pessoas a bordo e quantidade suficiente de combustível (estimado de 21180kg e necessário de 14470kg para completar o trecho). Conforme o trem de pouso estava sendo estendido na aproximação ao Aeroporto Internacional de Portland, a tripulação sentiu uma vibração anormal e houve uma guinada da aeronave. Ocorreu a falha de um indicador de luz mostrando que o trem de pouso havia sido estendido corretamente. A tripulação solicitou uma espera padrão para diagnosticar o problema e, durante a hora seguinte, a equipe trabalhou para identificar o estado do trem de pouso e se preparar para um possível pouso de emergência.

Durante esse tempo, nenhum dos três tripulantes efetivamente controlou os níveis de combustível, o que foi agravado pela circunstância de que a aeronave estava com os flaps estendidos em 15 graus durante todo o tempo de espera, aumentando significativamente o consumo de combustível. Enquanto a tripulação se preparava para uma aproximação final e um pouso de emergência em Portland, os motores número um e número dois falharam devido à pane seca, momento em que um "mayday" foi declarado (termo utilizado na aviação quando a tripulação declara emergência a bordo). Esta foi a última transmissão de rádio do voo UA 173 para o controle de tráfego aéreo. O avião caiu em uma área arborizada de uma região povoada no subúrbio de Portland, cerca de 6 milhas náuticas a sudeste do aeroporto, com 10 vítimas fatais e várias outras com ferimentos graves.

Outro acidente emblemático para o estabelecimento do CRM foi o voo 401 da Eastern Air Lines (Figura 7.26), realizado por um avião Lockheed L-1011, tendo caído num pântano da Flórida, Estados Unidos (nos chamados Everglades) na noite do dia 29 de dezembro de 1972, causando a morte de 101 das 176 pessoas, entre passageiros e tripulantes, que seguiam a bordo. Tudo começou quando, na aproximação para o Aeroporto de Miami (KMIA/MIA), ao tentarem baixar o trem de pouso, havia a indicação no painel que o trem dianteiro não havia baixado.

O Engenheiro de voo Don Repo e o Comandante Loft foram verificar através de um periscópio, instalado abaixo da cabine de comando e projetado exatamente para aquilo, porém, ao sair de seu assento, Loft não notou que deslocara a coluna do manche para a frente, o suficiente para desconectar o piloto automático. Com a noite escura, em fase de lua nova, não era possível distinguir céu, horizonte e terra. Como Loft empurrara a coluna acidentalmente, o L-1011 tinha a tendência de embicar-se para abaixo da linha do horizonte, sem que seus tripulantes percebessem. Ao retornarem aos seus assentos, notaram que os altímetros marcavam 100 pés e dialogaram:

- Nós fizemos alguma coisa com a altitude! – indagou Stockstill.

- O quê? - perguntou surpreso o comandante Loft.

- Ainda estamos a 2 000 pés, certo? – perguntou Stockstill.

Loft olhou para seu altímetro. Olhou também para fora e notou um estranho brilho nos visores frontais: as luzes de aproximação do EA 401 começavam a ser refletidas nas águas escuras dos Everglades. A voz tensa de Bob Loft ficou registrada no gravador de cabine:

- Ei, o que está acontecendo aqui? – perguntou.

Logo após, entrando a 400 km/h no pântano, a desintegração do voo foi imediata. A fuselagem se partiu em três grandes partes, separando-se das asas, motores e da cauda. Muitas peças afundaram e desapareceram de vista, enquanto outras, desmembradas como gigantescas carcaças, permaneceram sobre as águas, tornando-se gigantescas lápides que marcaram o local onde 99 pessoas perderam a vida de forma estúpida.

Figura 7.26: Acidente Eastern Air Lines 401

Fonte Imagem: https://www.airlinefan.com/airline-photos/Eastern-Air-Lines/Lockheed/L-1011-TriStar/N310EA/1345298/
https://mega.ibxk.com.br/2020/04/15/15204845154328.jpg?ims=610x

No Brasil, o conceito de CRM foi iniciado pela Varig em 1990. A partir do ano 2000, o CENIPA (Centro de Investigação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos), órgão pertencente à FAB (Força Aérea Brasileira), passou a desenvolver e implantar o treinamento a partir da IAC 060-1002A em 2003 (Instrução de Aviação Civil), publicação essa que tornou o treinamento obrigatório para tripulantes, despachantes operacionais de voo e de terra, pessoal de rampa, pessoal de manutenção, pessoal de *check-in/check-out*, pessoal administrativo, alta direção, controladores e outros segmentos.

Dentro do CRM, temos alguns fatores que constituem a necessidade do fator humano, tais como problemas de comunicação, pequenas falhas mecânicas, liderança e supervisão inadequadas, dificuldade na delegação de tarefas e estabelecimento impróprio de prioridades. Com isso, atualmente a prevenção de acidentes é chamada de proativa, na qual atua antes do acidente verificando a rotina de todos os envolvidos (pilotos, comissários, controladores, mecânicos, despachantes, gerentes, etc.) (MACAHIBA, 2020).

Pereira 2020 desenvolve uma análise de pesquisa sobre o desenvolvimento do CRM e sua evolução ao longo dos anos, que se divide em seis gerações listadas na tabela 7.6:

Tabela 7.6: Gerações do CRM

GERAÇÕES DO CRM	
Geração	**Conceito**
1ª Geração	Lançamento do conceito "Wrong Stuffs" onde todos os acidentes são causados por um conjunto de erros, quebrando a cultura criada inicialmente pela NASA de que os pilotos eram incentivados a agir de forma individualista, autossuficiente e machista.
2 ª Geração	Treinamentos voltados para o Alerta Situacional, Administração de Estresse, Estratégias para tomada de Decisões, Estilos de Liderança e Comunicação efetiva na cabine.
3ª Geração	Envolvimento de toda equipe da aviação com seminários de conscientização, treinamentos de emergências e voos completos em simuladores (LOFT).
4ª Geração	Criação da FAA (Federal Aviation Adiministration), cultura do debrienfing (discussão entre a equipe dos pontos positivos e negativos daquela operação) e o trabalho do piloto visto pelo conceito de Gerenciamento de Voo.
5 ª Geração	Soma de todos os conceitos anteriores em vigor ressaltando um trabalho voltado para a Administração do Erro.
6ª Geração	É a geração atual que foca nos chamados "Threats" – estudos de ameaças ao voo e utilização de banco de dados para avaliar erros da tripulação, gerando-se assim novos treinamentos.

Fonte: Elaboração dos autores

O Treinamento do CRM nas empresas aéreas está baseado na IAC 00/10A que abrange as seguintes etapas:

- Treinamento dos Conceitos Iniciais - Consiste na apresentação em sala de instrução de conceitos fundamentais relacionados à consciência situacional, à comunicação, à automação, ao trabalho em equipe, entre outros.
- Prática em CRM - Pode ser realizada em sala de instrução, em voos de linha, em simulador de voo (Line Oriented Flight Training – LOFT) ou em outros tipos de simuladores.
- É normalmente nesta fase que ocorrem os maiores ganhos do programa, correspondentes às mudanças de atitude e comportamento.
- Reciclagem em CRM – Ocorrem a cada dois anos e têm o importante objetivo de reforçar os conceitos de CRM na mente de todos os integrantes da organização, de modo a incorporar esses conceitos à cultura da organização.

Sendo assim, a ICAO (International Civil Aviation Organization) divide o treinamento CRM em seis áreas "CRM SKILLS" que são citadas também na IAC 00/010ª, conforme tabela 7.7:

Tabela 7.7: Habilidades CRM

HABILIDADES CRM	
1. Habilidades de Comunicação Interpessoal	O conceito é que a pessoa consiga se comunicar clara e concisamente com um ou mais indivíduos, seja através de palavras ou gestos. No ambiente de cabine, a comunicação geralmente é realizada por meio de uma linguagem específica, conhecida como Fraseologia, e conta com a confirmação do ouvinte (através da repetição do que foi dito) para garantir que a comunicação foi compreendida.
2. Consciência Situacional	A Consciência Situacional é caracterizada pela percepção dos elementos no ambiente de trabalho dentro de um volume de tempo e espaço, a compreensão do significado desses elementos e a projeção dessa situação em um futuro próximo. A compreensão está intrinsecamente relacionada aos conhecimentos explícitos e tácitos dos operadores, o que demonstra a necessidade de uma formação mais abrangente e adequada dos pilotos, de maneira a permitir que possam ter o conhecimento da funcionalidade de todo o sistema.
3. Processo de Tomada de Decisão	Envolve 5 etapas fundamentais: 1) Identificação do problema - priorizando o nível de gravidade e urgência; coleta dos dados e diagnósticos - através das informações repassadas por toda a tripulação; 2) Identificação das alternativas - observando todas as possibilidades possíveis para a resolução do problema; 3) Escolha da melhor opção - após estabelecimento de todas as alternativas possíveis; 4) Decisão e acompanhamento - após a execução da opção acompanhar e 5) observar os resultados da decisão tomada.
4. Liderança	A Liderança autocrática é o tipo de liderança que deve ser preferida e adotada, o comandante ouve todas as sugestões e informações repassadas pela tripulação e toma a melhor decisão de acordo com os dados coletados, a decisão final é sempre do comandante.
5. Gerenciamento do Estresse	Gerenciar os fatores que podem desencadear o estresse, como fadiga, uso de substâncias como álcool e drogas e situações emocionais e pessoais, é fundamental para manter uma boa relação na cabine e garantir a segurança do voo em primeiro lugar.
6. Crítica	Aceitar e sempre ouvir as críticas da melhor forma possível, seja no briefing (reunião pré-voo) ou debriefing (reunião pós-término da operação), ouvindo a todos com imparcialidade e atenção, procurando ressaltar todos os pontos positivos e negativos de determinadas decisões que foram tomadas.

Fonte: Elaboração dos autores

Conclusão

Sendo assim, o processo de implantação do CRM envolve vários aspectos que devem ser estudados e divulgados de forma ampla a todos: tripulantes, mecânicos, despachantes, comissários, entre outros, visando sempre a melhoria de todo o sistema aéreo. Portanto, o CRM é uma importante ferramenta no controle e gerenciamento do fator humano.

Referência bibliográficas

BALLDIN U.I, PILMANIS A.A, WEBB J.T. Central nervous system decompression sickness and venous gas emboli in hypobaric conditions. **Aviat Space Environ Med.** v.75, n.11, p.969–972, 2004.

BALLDIN U.I, PILMANIS A.A, WEBB J.T. Pulmonary decompression sickness at altitude: early symptoms and circulating gas emboli. **Aviat Space Environ Med.** v.73, n.10, p.996–999, 2002.

BANKS R.D; GRAY, G. "Bunt bradycardia": two cases of slowing of heart rate inflight during –Gz. **Aviat Space Environ Med.** v.65 p.330–331, 1994.

BANKS RD, GRISSETT JD, TURNIPSEED GT, *et al.* The "push-pull effect". **Aviat Space Environ Med.** v.65, p. 699–704, 1994.

BRASIL. Força Aérea Brasileira. **Apostila Curso CENIPA de investigação de acidente aéreo – Fator Humano.** 2019.

COMANDO DA AERONÁUTICA (Brasil). **IAC 00-010A, de 12 de junho de 2020**: Treinamento de Gerenciamento de Recursos de Equipes (Corporate Resource Management - CRM).

COMANDO DA AERONÁUTICA (Brasil). **IAC 060 1002A, de 14 de abril de 2005**: Treinamento em Gerenciamento de Recursos de Equipes (Corporate Resource Management – CRM).

CRM: CREW RESOURCE MANAGEMENT. 23 jun. 2017. Disponível em:

http://aeroclubedecampinas.com.br/crm-crew-resource-management/

Acesso em 18 maio 2022.

CRM: o divisor de águas no processo de tomada de decisão. Falcon Centro de Instrução de Aviação Civil. C2015-2022 Disponível em:

https://voefalcon.com.br/principios-do-crm-na-aviacao

Acesso em: 18 maio 2022.

DAVIS, Jeffrey R. *et al.* **Fundamentals of Aerospace Medicine.** 4 ed. Philadelphia: LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS, 2008.

HENRIQSON, E.; CARIM Júnior, G. C.; SAURIN, T. A.; AMARAL, F. G. Consciência situacional, tomada de decisão e modos de controle cognitivo em ambientes complexos. Produção, v. 19, n. 3, p. 433-444, 2009.

ICAO (International Civil Aviation Organization). **Human Factors Training Manual**, Doc 9683-AN950, 1st ed. Montreal, Quebec, Canada, 1988.

MACAHIBA, Cristina Marize Da Mota. **CRM (Crew Resource Management) Nas Companhias Aéreas**. 2020. Monografia - UNISUL Palhoça, 2020.

PEREIRA, Maria da Conceição. **Voando com CRM.** Colaboradores: Angela Arend de Melo, Alejandro Covello, Fernando Liberman, Hugo Oscar Leimann Patt e João Carlos Bieniek. [s.l]: Edição de Maria da Conceição, 2004.

POLLOCK N.W; NATOLI MJ; GERTH W.A. *et al.* Risk of decompression sickness during exposure to high cabin altitude after diving. **Aviat Space Environ Med.** v.74, n.11 p.1163–1168, 2003.

RAINFORD, DAVID J; GRADWELL, DAVID P. **Ernsting's Aviation Medicine.** 4 ed. London (Great Britain): Edward Arnold (Publishers), 2006.

RYLES M.T, PILMANIS A.A. The initial signs and symptoms of altitude decompression sickness. **Aviat Space Environ Med.** v. 67, n.10 p.983–989, 1996.

WOOD E.H. Some effects of the force environment on the heart, lungs and circulation. **Clin Invest Med**. v.10, p.401–427, 1987.

8

FADIGA E SUAS CONTRAMEDIDAS

Dr. Armindo Hueb

Orientador:
Prof. Aviador Paulo Licati

introdução

COM A EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA CRESCENTE E ACELERADA DA HUMANIDADE DESDE A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL NO VELHO MUNDO, NO FINAL DO SÉCULO XVIII E INÍCIO DO SÉCULO XIX, A FADIGA HUMANA EXERCE UM PAPEL FUNDAMENTAL TANTO NO RENDIMENTO QUANTO NAS LIMITAÇÕES E INCORREÇÕES NO DESEMPENHO DA EXECUÇÃO DE PROCESSOS, E VEM SENDO OBJETO DE ESTUDO, SOBRETUDO NAS ÚLTIMAS DÉCADAS.

Na aviação, atividade em franca expansão, a fadiga humana está diretamente relacionada à segurança, pilar do exercício desta atividade. O valor pétreo da segurança neste contexto compreende desde a preservação do ativo patrimonial, dirige o rigor operacional e inclui o equilíbrio biopsicossocial.

O papel da fadiga humana na aviação é tão relevante, sobretudo na atualidade, que certamente merece especial atenção. De fato, a fadiga humana esteve envolvida e foi fator contribuinte em aproximadamente 20% dos incidentes e acidentes aeronáuticos (Licati, 2011; Caldwell, 2012; Marcus e Rosekind, 2017; Gaines, 2020).

História

"Minha mente liga e desliga... Eu tento deixar uma pálpebra fechar de cada vez enquanto abro a outra com minha vontade. Todo o meu corpo argumenta que nada, nada que a vida possa alcançar, é tão desejável quanto o sono. Minha mente está perdendo resolução e controle." (Lindbergh, 1953 tradução livre).

Esta descrição feita por Charles Lindbergh em 1953 sobre o histórico voo transoceânico de 33,5 horas realizado por ele em 1927 ilustra de forma inequívoca os efeitos destrutivos da fadiga na aviação. No entanto, ele não foi o primeiro a identificar a fadiga como fator de risco para acidentes aéreos. Por exemplo, nos Estados Unidos em 1938, o Departamento de Comércio tratou da questão das horas de voo e serviço da tripulação através do *Civil Aeronautics Act* (US Government, 1938).

Apesar das revisões realizadas nas décadas de 30 e 40, a regulamentação básica sobre horas de voo permaneceu praticamente inalterada pelos 50 anos seguintes. Esta noção regulatória foi estabelecida de maneira mais ampla a partir de 1944, na Convenção da Organização de Aviação Civil Internacional realizada em Chicago, que orientava seus signatários a emitirem recomendações aos seus operadores sobre o que seria um período adequado de descanso e limitação de tarefas a serem realizadas pela tripulação, a fim de que a fadiga não afetasse a segurança da operação e dos usuários (ICAO, 2020).

Em 1980, dados mostravam que havia uma correlação de 21% entre fadiga e acidentes e incidentes aéreos. Atendendo a uma solicitação do Congresso norte-americano, a agência espacial americana iniciou um estudo sobre os efeitos da fadiga humana sobre os pilotos da aviação comercial, concluído em 1992. No ano seguinte, a Autoridade de Aviação Civil americana iniciou a incorporação de vários conceitos sobre a fadiga mais bem compreendidos pela ciência, como a duração do tempo de voo, a hora do início da jornada, o número de etapas consecutivas de voo, o número de fusos horários cruzados, entre outros.

Da mesma forma, a Autoridade de Aviação Civil Europeia também atualizou sua política regulatória, com mais de 30 recomendações, incluindo a redução da jornada de trabalho noturna, o aumento dos requisitos de descanso para cruzamentos de fusos horários e a limitação do tempo de sobreaviso (Missoni, 2009).

Com a publicação do DOC 9966, a Organização Internacional de Aviação Civil estendeu aos seus signatários recomendações similares, evoluindo atualmente para o seu Anexo 19 (ICAO, 2020).

Infelizmente, a regulamentação da fadiga humana esteve, por muito tempo, atrás da compreensão científica sobre o tema e sua relevância para a operação aérea, embora o tema estivesse em evidência por quase duas décadas nas comissões de análise de segurança.

O primeiro acidente em que a fadiga foi citada como fator contribuinte de um acidente aéreo ocorreu em 1993, em Guantanamo Bay, Cuba, quando o piloto, utilizando referências visuais incorretas, executou uma aproximação desestabilizada para pouso, levou a aeronave a assumir atitude anormal, perder sustentação e chocar-se contra o solo. A tripulação estava em uma jornada de 18 horas de trabalho, seguidas de 11 horas de repouso até o momento do acidente, o que, de acordo com as investigações, contribuiu para uma falha operacional em momento crítico de voo (NTSB, 1994).

Acidentes fatais envolvendo o Boeing 747-300 da Korean Air em 1997, o voo número 1420 da American Airlines em 1999, voo número 3597 da Crossair em 2001 e o voo número 1602 da MK Airlines em 2004 são apenas al-

guns exemplos em que a fadiga e o estresse foram fatores contribuintes (CNFH, 2017).

Na aviação civil brasileira, até 2017, considerando apenas investigações concluídas, a Comissão Nacional da Fadiga Humana (CNFH) e o Comitê Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CNPAA) registraram 21 ocorrências aeronáuticas em que a fadiga esteve presente (CNFH, 2017).

No Brasil, as bases regulamentares surgiram a partir de 05 de abril de 1984, através de um primeiro dispositivo legal, a Lei de nº 7.183, que regulava o exercício da profissão. Em 28 de agosto de 2017, uma nova lei, de nº 13.475, foi sancionada para regulamentar o exercício da profissão de tripulante de aeronave, ora denominado aeronauta e revogada a lei anterior. Essa atualização trouxe avanços significativos na esfera regulamentar da atividade, sobretudo para a aviação comercial, sendo criado o Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional pela Autoridade Nacional de Aviação Civil, na Regulamentação Brasileira de Aviação Civil (ANAC, 2016). Esse sistema baseia-se em quatro pilares fundamentais: Política e Objetivos, que estabelece o compromisso da direção na melhora contínua da segurança operacional e define os métodos, processos e estrutura organizacional necessários para atender aos objetivos de segurança operacional; Gerenciamento do Risco, que desenvolve e implanta processos organizacionais e procedimentos para identificar perigos e controlar/mitigar riscos à segurança operacional; Garantia da Segurança, que verifica o desempenho da organização com as políticas e objetivos e valida a eficácia dos controles de risco implantados e a Promoção, que inclui capacitação, comunicação e outras ações para criar uma cultura de segurança positiva em todos os níveis organizacionais.

Foi constituída na 60ª reunião do Conselho Nacional de Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (CNPAA), em 02 de novembro de 2013, uma sugestão da Associação Brasileira de Pilotos da Aviação Civil (ABRAPAC), por intermédio do piloto Paulo Rogério Licati. A finalidade dessa comissão é aprimorar as investigações em ocorrências aeronáuticas sob influência da fadiga (CNFH; CNPAA, 2017). Em harmonia com a filosofia do Sistema de Investi-

gação e Prevenção de Acidentes Aeronáuticos (SIPAER), tem como objetivo identificar possíveis fatores contribuintes do acidente ou incidente e elaborar recomendações relevantes para a segurança de voo. Desta forma, o CNFH quer alavancar as recomendações sobre o gerenciamento dos riscos da fadiga na aviação (CNFH; CNPAA, 2017).

Conceito de fadiga

Comumente, a fadiga está relacionada a uma resposta incompleta devido à redução de recursos mentais ou fisiológicos para a execução de uma tarefa, resultando em um relaxamento do controle executivo. Nesse caso, a fadiga seria uma condição resultante decorrente de efeitos de condições precedentes (Gaillard, 2001).

De modo mais específico, a fadiga na aviação pode ser conceituada como um estado determinado pela atividade aérea que deteriora a condição psicofisiológica, ocasionando diminuição progressiva do desempenho. Em uma abordagem multifatorial, as principais situações geradoras de fadiga neste ambiente podem ser classificadas em Fatores Operacionais (ambientais, ergonomia, quantidade de etapas, distribuição de tarefas, duração e horário do voo, jornada de voo, voos transmeridionais, meteorologia, comunicações, tráfego aéreo, falhas materiais e/ou operacionais) e Fatores Individuais, fisiológicos, psicológicos e profissionais (Kanashiro, 2013).

A Organização Internacional de Aviação Civil (ICAO, 2011) define a fadiga como estado fisiológico de redução da capacidade de desempenho físico ou mental, resultante da falta de sono, vigília estendida, disrupção circadiana e/ou carga de trabalho, que pode prejudicar o estado de alerta e a habilidade de operar com segurança uma aeronave ou desempenhar tarefas relativas à segurança.

Não há na literatura um consenso, mas existem indicativos de um conjunto de fatores que devem ser considerados no conceito amplo de fadiga (Folkard & Akerstedt, 2004; Belenky, 2014). Entre esses, é usual classificá-las em formas, a fadiga ativa, uma consequência de atividades contínuas

de atuação, e a fadiga passiva, decorrente do monitoramento de sistemas associados à vigilância, com raras atuações motoras (Desmond & Hancock, 2001).

Para boa parte dos autores que tratam do tema, a capacidade cognitiva pessoal para desempenhar tarefas teria relevância na fadiga, diretamente relacionada às habilidades ou ao nível de atenção utilizado pelo indivíduo. Segundo Ackerman, as emoções oriundas de pensamentos além do trabalho, distrações associadas ao autocontrole dessas emoções, reduzem os recursos disponíveis. Mais ainda, a motivação envolvida na execução das atividades teria relevância.

Apesar disso, esses fatores não são condicionantes para a fadiga, assim como não se pode concluir o efeito, seja de forma isolada ou em conjunto. O que se sabe é que há efeitos diretamente proporcionais de fadiga com um crescente tempo em atividades que exigem esforço cognitivo. Mesmo assim, não há elementos suficientes para determinar se essas diferenças individuais na fadiga explicam a variabilidade observada no desempenho do trabalho. Não se observa linearidade nesta relação (Ackerman, 2011).

Diferenças na percepção de fadiga entre indivíduos estão intimamente ligadas à capacidade cognitiva total disponível, fatores afetivos, traços de personalidade estáveis, o interesse pela tarefa em si e fatores transitórios, como humor e preocupações pontuais (Goel, 2013).

Influências externas podem afetar a fadiga em função de expectativas e atribuições dos indivíduos. Experiências prévias podem exacerbar/atenuar a fadiga, em função do desempenho desfavorável/favorável anterior, na medida em que disparam pensamentos fora da tarefa e demandam maior esforço de autoregulação (Ackerman, 2011).

Causas de fadiga humana na aviação

As causas mais frequentes do sintoma de fadiga humana, afetando as condições físicas dos pilotos, são:

- Privação, déficit ou disrupção do sono

- Jornadas de trabalho e repouso resultando alteração circadiana
- Postura sentada e restrição de exercícios durante longos períodos de voo
- Alterações na nutrição e hidratação, bem como sua disponibilidade
- Ergonomia na cabine e equipamentos
- Desconforto térmico
- Ruído
- Vibração
- Cinetose
- Ambiente hipóxico, mudanças de pressão atmosférica, diferenças de umidade e temperatura
- Efeito de substâncias, como cafeína, álcool, antihistamínicos e antieméticos
- Distensões gastrointestinais e urinárias devido a mudanças barométricas

Sono

O sono é um estado fisiológico marcado pela diminuição da consciência, redução dos movimentos musculares esqueléticos e lentificação do metabolismo. Exerce um papel de condição restauradora essencial e importante na consolidação da memória. É um processo neuroquímico orquestrado, envolvendo centros cerebrais promotores tanto do sono quanto do despertar (Guyton, 2017).

Neurotransmissores controlam o ciclo sono-vigília atuando em diferentes grupos de neurônios no cérebro. Neurônios no tronco cerebral produzem neurotransmissores, como a serotonina e a noradrenalina, que mantêm algumas partes do cérebro ativas durante a vigília. Outros neurônios, na base do cérebro, começam a emitir sinais durante o sono. Esses neurônios têm o papel de inibir os sinais para o estado de vigília. Níveis de adenosina também se elevam durante a vigília e caem durante o sono.

O estado de sono oferece aos neurônios ativos durante a vigília a chance de reduzirem sua atividade e de serem reparados. Sem sono, estas células podem sofrer depleção energética ou então sofrerem com acúmulo de material oriundo de catabolismo da atividade celular normal que os levam a funcionar imperfeitamente. O sono também dá ao cérebro a chance de exercitar importantes conexões neuronais e tem papel fundamental na consolidação da memória e do aprendizado (Guyton, 2017).

O sono é uma necessidade fisiológica vital. É necessário para a manutenção do estado de alerta e desempenho, bom humor e sentimento de bem-estar. Cada indivíduo tem uma necessidade de sono individual que mantém seus níveis fisiológicos de alerta e desempenho durante seu período de vigília. De modo geral, um indivíduo necessita de cerca de 8 horas de sono a cada período de 24 horas.

De forma clássica, o estado de sono é composto e dividido em 5 estágios: estágios 1, 2, 3, 4 e REM (movimento rápido dos olhos). Estes estágios se sucedem formando um ciclo, partindo do estágio 1 e atingindo o sono REM e, então, o ciclo se reinicia a partir do estágio 1. Esta divisão guarda proporções em termos de duração. Em média, 50% do tempo total de sono se passa no estágio 2, cerca de 20% em sono REM e 30% nos demais estágios.

Durante o sono REM, ocorre redução da capacidade de regulação da temperatura corporal. Por essa razão, temperaturas ambientais altas ou baixas podem interromper este estágio do sono. Se o sono REM é interrompido durante a noite, o organismo não segue a progressão cíclica do sono normal no próximo evento de adormecimento.

A propensão ao sono depende basicamente da quantidade acumulada de privação de sono e da fase do relógio circadiano, que aumenta o sono à noite (Valdez, 2019).

Estudos têm mostrado que mesmo pequenas perdas na quantidade de sono podem induzir fadiga e, consequentemente, degradar o desempenho e o estado de alerta (Kruger, 1999; Dawson, 2005). Se essa perda de sono necessário ocorre de modo sucessivo, esse déficit fragmentar cumulativo

de horas sem dormir forma o conceito de “débito de sono”. A única forma de se descontar esse débito é dormindo.

Outras noções bem estabelecidas são de que não existe forma de se armazenar sono, bem como quanto maior este débito, maior é a necessidade fisiológica de se adormecer.

Esse sistema de compensações sono/vigília tem relação direta, embora as quantidades de crédito e débito não sejam equivalentes. O cálculo estabelecido pela literatura é da proporção de 2 horas de sono para cada hora de vigília, considerando um período de 24 horas (Monteiro, 2007).

Da mesma forma que a quantidade de sono, a sua qualidade exerce papel relevante no desempenho e estado de alerta.

Embora o desempenho dependa de interações complexas entre tarefas, horário de trabalho, estresses ambientais e o indivíduo, certamente será prejudicado quando o aviador se tornar sonolento. A interrupção do ciclo sono-vigília com alguma perda de sono provavelmente será um problema em todas as operações aéreas que se estendam além de um único dia, e é provável que a perda de sono se intensifique à medida que a duração da jornada aumente. A necessidade de sono (privação de sono) é provavelmente a principal componente que contribui para a fadiga operacional em episódios de trabalho contínuo durante operações aéreas.

Embora a fadiga e a privação do sono possam ser definidas como agudas, crônicas ou cumulativas e correlacionadas até certo ponto com aberrações bioquímicas, somos incapazes de determinar objetivamente em que momento um indivíduo experimentará um decréscimo de desempenho. Dificuldades em determinar quando a fadiga e a perda de sono resultam em desempenho prejudicado decorrem do fato de que não há ferramentas objetivas de desempenho disponíveis de modo contínuo e, mesmo que houvesse, talvez não fossem sensíveis ao tipo de déficit que ocorre. Os efeitos de fadiga e perda de sono podem variar no mesmo indivíduo ou entre indivíduos (Dijk, 1992).

Situações diferenciais, como treinamento intensivo, grande motivação e interesse, podem neutralizar temporariamente alguns dos efeitos do déficit de sono e fadiga. O decréscimo de desempenho nem sempre está presente em todos os indivíduos e pode ser intermitente. No entanto, à medida em que a fadiga e a privação do sono se acumulam, a sensação passa a ser mais prevalente e durar mais tempo. Há um ponto além do qual a necessidade de dormir é imperiosa. Quando esses sintomas aparecem em cada indivíduo, depende não só das horas de vigília, mas também da tolerância à perda de sono, do tipo de tarefa a ser executada, da duração da carga e do tempo de trabalho em relação ao ritmo circadiano de cada indivíduo (Gander, 1998).

Ritmo Circadiano

Os ritmos circadianos são oscilações das funções mentais e fisiológicas que ocorrem de forma repetitiva ao longo de um dia. Muitos ritmos circadianos são controlados por uma região cerebral conhecida como núcleo supraquiasmático, no hipotálamo. A luz captada pelos quimiorreceptores oculares gera estímulos que, através da inervação retiniana, chegam a esta região encefálica. Estes mesmos estímulos, a partir deste ponto, atingem várias regiões cerebrais, incluindo a glândula pineal, modulando a produção do hormônio melatonina (Lewy, 1992). Os níveis de melatonina no organismo normalmente aumentam após o anoitecer e isso leva a um estado de sonolência. Esses fenômenos levam ao conceito de relógio biológico.

Estudos conduzidos com privação de luminosidade revelam que a maioria dos relógios biológicos funciona mais em um ciclo de 25 horas do que de 24 horas. Mas, como a luz solar ou outros estímulos luminosos podem ajustar o núcleo supraquiasmático, os ciclos biológicos normalmente tendem a seguir o ciclo de 24 horas do sol. Este ciclo é influenciado por estímulos externos, como temperatura, movimento e sons (Goel, 2009).

Ao se deslocar rapidamente entre meridianos terrestres, ocorre uma ruptura dos ritmos circadianos correntes. Isto leva a uma sensação desconfortável de descompasso, a dessincronose ou distúrbio de fuso horário, ou

mais comumente *jet lag*. O restabelecimento do ciclo pode levar alguns dias (Touitou, 2017).

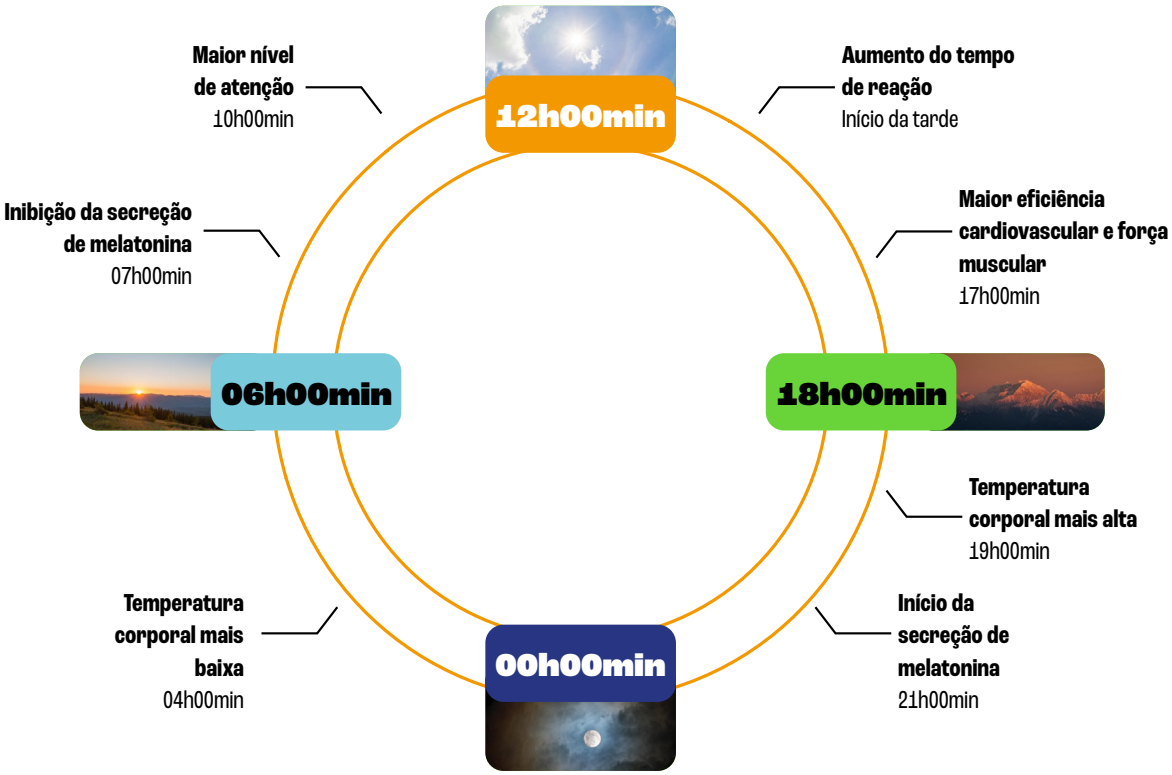
Alguns estudos sugerem que a fragmentação do sono e a dessincronia circadiana têm mais importância do que dormir no humor subjetivo ou mudanças de desempenho objetivas. Outros acham que é a privação do sono e não necessariamente a dessincronia circadiana que é o fator mais importante. Nesse tema de fadiga operacional especificamente, privação de sono e dessincronia mostram-se tão entrelaçados que cada um é essencialmente inseparável do outro.

Nos últimos anos, acumulou-se um grande volume de informações mostrando os efeitos da hora do dia no desempenho, variando de simples observações de desempenho em momentos diferentes na jornada de trabalho, a estudos complexos de horários de trabalho-repouso por períodos prolongados. Como resultado desses estudos, ritmos circadianos no desempenho de tarefas, bem como classificações subjetivas de humor, fadiga e motivação foram bem estabelecidos.

A dessincronia circadiana influencia negativamente no desempenho em operações que exigem vigilância nos momentos em que a tripulação geralmente está dormindo. Como vimos, a temperatura corporal, bem como as pontuações na maioria dos estudos observacionais de desempenho, diminui para um mínimo entre 03:00 e 06:00 horas e sobe para um máximo comum durante o dia, entre 12:00 e 21:00 horas.

Demonstrou-se, porém, que não há relação direta de causa e efeito entre a temperatura corporal e o nível de desempenho. O intervalo de oscilação na degradação do desempenho durante longas jornadas de operação depende da fase do ciclo circadiano com o qual coincide. Quando a operação começa durante o início de um pico no ciclo circadiano, o efeito da fadiga é compensado em parte pelo aumento do nível de excitação durante o dia. Quando a operação começa durante um período de declínio no ciclo circadiano, a fadiga aumenta a redução do estado de alerta que ocorre naturalmente à noite.

Figura 8.1



Fonte:

A dessincronia circadiana pode ocorrer de outras maneiras que não apenas quando a operação precisa ser realizada durante as horas normalmente reservadas para o sono. Quando uma mudança abrupta de fuso horário ocorre, como durante voos transmeridianos rápidos, há uma dessincronização transitória da ritmicidade circadiana do indivíduo. Este cenário é frequentemente visto em tripulações envolvidas em operações internacionais. Outro cenário envolve aeronaves militares que normalmente realizam várias missões de curta duração, separadas por períodos de atividade não aérea. Se essa sequência ocorrer 24 horas por dia, como é o caso de algumas operações de voo em porta-aviões, distúrbios circadianos semelhantes aos causados por mudanças rápidas de fuso horário podem ocorrer.

Finalmente, quando ocorrem mudanças nas referências ambientais ou esses sinais enfraquecem ou desaparecem completamente, como ocorre em operações espaciais, vida na Antártica ou confinamento em um abrigo, também pode ocorrer dessincronia circadiana (Lowe, 2017).

Em resumo, a fadiga, a perda de sono e a dessincronose circadiana estão tão intimamente relacionadas que se pode considerá-las essencialmente indissociáveis umas das outras. Os efeitos da privação do sono combinados com os distúrbios do ritmo circadiano resultarão em queda no desempenho durante a jornada de operações.

O estado de alerta

Conceitualmente, a fadiga de voo é um estado que resulta na diminuição das habilidades no trabalho e prejuízo do estado de alerta, em função, dentre outros fatores, de atividades profissionais longas e cansativas, esgotamento físico e mental, sendo uma ameaça à segurança operacional, por degradar o desempenho dos tripulantes (Montadon, 2007).

Um bom estado de alerta corresponde a uma condição ótima do cérebro, permitindo ao ser humano captar informações que julgar importantes ou excluí-las. O grau de alerta vai estipular como será executada a tarefa, sendo assim, quando o estado de alerta estiver deteriorado, o desempenho do piloto pode ser substancialmente afetado (CNFHA; CNPAA, 2017).

Na figura abaixo é demonstrada, de forma mais objetiva, as condições que podem levar à deterioração do estado de alerta do piloto, levando em conta a variação da temperatura corporal, devido às diferentes condições climáticas de cada cidade, ausência de atividade física e baixa qualidade de medicamentos. Além disso, se forem combinados todos esses fatores, pode-se reduzir o estado de alerta (Rodrigues, 2020).

Figura 8.2

Fonte:

Consequências da fadiga

Mota, Cruz e Pimenta (2005) expõem as principais consequências relacionadas à fadiga de voo, caracterizando-as como sendo extremamente problemáticas para os tripulantes, visto que podem comprometer a segurança operacional de voo. São elas: cansaço, exaustão, desgaste, alteração da capacidade funcional, falta de recursos/energia, letargia, sonolência, diminuição da motivação, atenção, concentração e mal-estar.

Rotina do piloto e fadiga em voo

Segundo a Classificação Brasileira de Ocupações (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2004), o profissional piloto de avião é classificado sob o código 2153 e descrito como aquele que pilota aviões ou helicópteros de grande porte para transporte de passageiros ou cargas em voos nacionais e internacionais. Suas funções incluem conduzir a navegação operando os sistemas da aeronave, seguir um plano de voo pré-estabelecido e aplicar regras de tráfego aéreo e procedimentos de segurança. Além disso, pode ministrar instruções de voo teóricas e práticas em aeroclubes ou em empresas aéreas,

realizar ensaios de voos em protótipos para aprovar novos modelos e tipos de aeronaves e executar voos especiais em aeronaves recém-saídas das linhas de produção ou das oficinas de manutenção.

A rotina do piloto civil começa com certa antecedência em relação ao voo, ao preparar-se, ainda em casa ou no hotel, para chegar ao aeroporto, sempre uma hora antes do horário previsto para a decolagem, onde será feito o briefing com toda a tripulação do voo. Dependendo da escala de trabalho, o tripulante pode passar alguns dias fora de casa, pernoitando em hotéis diferentes em várias cidades durante a semana. Segundo Itani (2009), a jornada de trabalho dos pilotos é muito peculiar. São horas concentradas de trabalho durante 3 a 4 dias, em jornadas irregulares de trabalho e repouso, fora de casa e em fusos horários diferentes. Essas condições às vezes podem prejudicar o descanso efetivo do tripulante.

A voz, a fadiga e o sono

Com o avançar da condição de fadiga, alterações corporais são observadas, como diminuição da tensão muscular e temperatura corporal. Mais ainda, modificações da fala de origem central são percebidas, tais como frequência respiratória, fonação, articulação, irradiação e planejamento cognitivo do discurso. Há relatos de que mudanças na intensidade e frequência tonal, ritmo, padrões de pausa, entonação e duração da fala são sinais perceptíveis e podem estar relacionados à diminuição da atenção, concentração e memória (Krajewski e Kroeger, 2007).

De fato, a área de Wernicke tem papel importante na compreensão e estruturação de estímulos recebidos, tendo influência no julgamento e no tempo de reação inadequados (Behlau em 2001). Classicamente é citada a área de Broca como importante no planejamento e organização de padrões motores da fala (Guyton, 1997). Neste ponto, fadiga e o sono, especialmente a fase do sono REM, exercem influência na frequência de repetições, interjeições, hesitações, leitura com trocas e pausas prolongadas. Há a influência do sono e fadiga sobre o córtex motor primário, com lentidão dos movimentos motores articulatórios, organização temporal do discurso, voz mais soprosa, coordenação de padrões prosódicos (Krajewski, 2009).

Outros achados são bocejos, irritabilidade e alteração do humor. A análise desses aspectos já está sendo utilizada como adjuvante na investigação da contribuição do fator humano em acidentes aeronáuticos e pode ser ferramenta importante na análise de risco para segurança operacional, tanto na atividade aérea quanto em outras áreas profissionais que requerem atenção mantida (de Vasconcelos, 2019; Wilson, 2020).

Técnicas de manutenção do estado de alerta

Permanece o fato de que seres humanos simplesmente não foram concebidos para lidar de forma eficaz com as múltiplas etapas de voo, longas horas de serviço, tempo limitado, escalas de voo, condições de sono abaixo do ideal, turnos de trabalho sem padronização e jet lag, que se tornaram a realidade das operações de voo atualmente (Bourgeois-Bougrine, 2020). Sejam operações de curta distância, voos transoceânicos de longo alcance ou missões militares contínuas, uma boa gestão do estado de alerta baseada na ciência é fundamental para combater a fadiga aguda e crônica/débito de sono, vigília e fatores circadianos, que são os principais contribuintes para a fadiga e acidentes de voo (Rosekind et al. 1996, Bourgeois-Bougrine, 2003).

Felizmente, existem várias contramedidas disponíveis para ajudar a elevar o estado de alerta no trabalho, bem como fora dele, além da recuperação da fadiga (Caldwell et al. 2009).

De modo geral, alguns hábitos podem ser incorporados à rotina de descanso, mesmo em ambientes desafiadores neste aspecto, como estabelecer rotina de exercícios aeróbicos, usar a cama apenas para dormir, manter horários para dormir e acordar, procurar ambiente com temperatura, iluminação e ruído aconchegantes, evitar o consumo de cafeína e cigarros antes de deitar-se. Para o pernoite, procurar hotéis afastados de rodovias e ferrovias. Selecionar quartos opostos a ruas movimentadas, elevadores, máquinas e estações de apoio para serviço de quarto.

A bordo, as contramedidas para a fadiga podem ser utilizadas para melhorar o estado de alerta durante o voo, independentemente do horário

ou do sono anterior à jornada. Iluminação adequada e abundante, desenvolvimento de qualquer tipo de atividade muscular, atividades simples como mascar chiclete, caminhar ou fazer alongamentos, períodos breves de descanso, como sonecas curtas, ingestão de alimentos ou bebidas e ambientes com baixos níveis de temperatura e umidade.

Breves períodos de sono, como cochilos, têm um efeito benéfico, principalmente em voos de longa duração, com tripulação composta. Rosekind conduziu um estudo para a agência aeroespacial americana, examinando a efetividade de períodos de descanso programados da tripulação em voos de longa duração. Ele concluiu que períodos de cochilos de 40 minutos estavam associados à melhora no estado de alerta e desempenho das funções, principalmente nas fases de procedimentos de descida e pouso, críticas ao voo.

Embora não exista uma solução única para a fadiga da tripulação, um programa abrangente que leve em consideração a composição fisiológica, características únicas da operação e técnicas de manutenção do estado de alerta pode impactar positivamente na segurança em contextos operacionais.

Quando a fadiga no contexto operacional não pode ser totalmente afastada, ela pode ser mitigada através da otimização de escalas de trabalho. Na medida em que as agências reguladoras reconhecem cada vez mais a realidade da fadiga humana, passam a exigir que as companhias aéreas abordem essas realidades em seus processos de operação. Por exemplo, o Anexo 6 da Diretriz da Organização de Aviação Civil Internacional sobre lidar com os riscos de fadiga em operações de aeronaves requer o desenvolvimento e manutenção de processos para mitigar o risco de fadiga. Um desses processos é a previsão, que envolve a identificação de perigos de voo, examinando a programação do ponto de vista dos "fatores conhecidos que afetam o sono e a fadiga e seus efeitos no desempenho" (Seção 2.1.1).

Um componente importante deste exame envolve o uso de modelos biomatemáticos para ajudar na maneira pela qual a programação de escalas afetará o ciclo circadiano e sistemas de regulação do sono, tão determinantes para a instalação da fadiga (Organização da Aviação Civil Internacional, 2011). Um modelo biomatemático é basicamente um conjunto de equações

que prevê a fadiga humana com base em alguns fatores, como quantidade de sono recente, qualidade do sono e tempo de sono/vigília; a hora atual do dia (durante o serviço); e carga de trabalho, como número de etapas e ciclos (decolagens e pousos recentes) e/ou outros fatores.

Antes de serem usados em contextos operacionais, os modelos são validados em relação a vários tipos de indicadores de desempenho (como tempo de reação ou medidas de precisão) coletados em estudos laboratoriais de restrição do sono ou privação de sono, ou comparados com dados de probabilidade de acidente e/ou gravidade de acidente coletados em ambientes do mundo real. Os modelos são normalmente atualizados em um processo interativo, no qual se adicionam dados coletados mais recentes. As informações ficam disponíveis e são bastante úteis em contextos aplicados, porque traduzem princípios científicos básicos estabelecidos a partir de investigações empíricas em previsões relevantes para as configurações operacionais.

Atualmente, as companhias aéreas podem utilizar diferentes tipos de modelos biomatemáticos para elaborar as escalas de trabalho de um ponto de vista do risco de fadiga humana. Vários modelos estão disponíveis para ajudar a determinar o impacto dos horários de trabalho/descanso. Além disso, os modelos podem ser usados para explorar as modificações de turnos de trabalho e descanso que se propõe a mitigar os fatores de risco da fadiga.

A Autoridade de Segurança da Aviação Civil forneceu uma visão geral recente de seis modelos de fadiga (Civil Aviation Safety Authority, 2010). Destes, dois foram especificamente adaptados para o ambiente da aviação - o sono, atividade, fadiga e eficácia da tarefa (SAFTE) e o Sistema para Avaliação de Fadiga da Tripulação Aérea (SAFE). A Autoridade de Aviação Civil do Reino Unido (CAA) patrocinou o desenvolvimento do modelo SAFE para avaliar as limitações de tempo de voo para os operadores.

O modelo SAFTE (Hursh et al. 2004), que foi incluído na ferramenta de agendamento de prevenção de fadiga (FAST) (Hursh et al. 2006), foi validado em estudos operacionais de transportes terrestres e foi adaptado para ser usado na aviação (Hu, 2020). O modelo SAFTE foi validado como um

preditor bastante fidedigno de restrição do desempenho de funções em relação ao sono (Van Dongen, 2004). Além disso, foi demonstrado prever com precisão o impacto dos fatores de programação de risco de acidente (Hursh et al. 2006).

Deve-se observar que a precisão tanto do SAFTE quanto a de outros modelos biomatemáticos de fadiga e desempenho são afetadas de maneira negativa por diferenças individuais e pelas condições anteriores à jornada (Van Dongen et al. 2007). De qualquer modo, certamente as escalas das tripulações formuladas com base em modelos representam um passo na direção certa para mitigar os riscos de fadiga operacional.

No Brasil

RBAC 117 – REQUISITOS PARA GERENCIAMENTO DE RISCO DE FADIGA HUMANA

Em 12 de março de 2017, foi aprovado o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC 117), que estabelece limitações operacionais relativas ao gerenciamento da fadiga para tripulantes e operadores aéreos. A exigibilidade desse regulamento teve início a partir de 29 de fevereiro de 2020.

Uma das condições previstas no Regulamento foi a criação do Grupo de Ação de Gerenciamento da Fadiga (GAGEF), composto por representantes de todos os envolvidos nas ações de gerenciamento de fadiga, que é responsável por coordenar as atividades de gestão da fadiga na organização. A implementação e a atualização do Sistema de Gerenciamento de Risco de Fadiga Humana devem ser acompanhadas pelo sindicato da categoria profissional (RBAC 117).

As companhias aéreas têm a necessidade de comprovar, junto à ANAC, que estão gerenciando a fadiga de seus tripulantes e que cumprem alguns requisitos, tais como a aplicação de treinamentos para todos. Além disso, deve ser criado um departamento interno na empresa para analisar as condições de fadiga, desde a área de relatórios até as ações de mitigação ao risco, o GAGEF (RBAC 117).

Fadigômetro

A primeira apresentação da ideia do fadigômetro foi para a comunidade internacional e ocorreu em abril de 2016, em Montreal, Canadá, onde estava acontecendo o Symposium on Fatigue Management Approaches (FMAS). O projeto recebeu o nome de "A Scientific Approach to Fatigue Risk Management in the Brazilian Civil Aviation" ou Uma Abordagem Científica para o Gerenciamento do Risco da Fadiga na Aviação Civil Brasileira (CAMPOS, 2016).

Apresentada pelo comandante Túlio Rodrigues, então presidente da Associação dos Aeronautas da Gol (ASAGOL), a pesquisa foi fundamental pela exposição de dados apurados dos pilotos da aviação civil brasileira, onde as simulações detalhadas tinham como base o sistema biomatemático SAFTE-FAST®, cuja finalidade é o diagnóstico da exposição dos riscos da fadiga e possibilitar técnicas mitigadoras (CAMPOS, 2016).

O projeto foi pioneiro no mundo. Seu objetivo primário foi o desenvolvimento de um banco de dados com base no estado de alerta dos tripulantes da aviação civil brasileira ao longo de suas jornadas de trabalho, por meio de um software que faz o cruzamento de dados dos aeronautas, reconhecendo prováveis ameaças à atividade aérea e aprimorando o diagnóstico dos riscos à segurança.

Conforme novas recomendações públicas em 2011, a OACI implementou um sistema de gerenciamento dos riscos da fadiga (FRMS), que é um meio orientado por dados para monitorar e gerenciar continuamente os riscos de segurança relacionados à fadiga, com base em princípios científicos, conhecimentos e experiência operacional. Esse sistema visa garantir que o pessoal relevante esteja executando em níveis adequados de alerta.

O FMRS visa assegurar que os membros da tripulação de voo e cabine estejam suficientemente alertas para operarem em nível satisfatório de desempenho. Aplica princípios e processos dos Sistemas de Gerenciamento de Segurança Operacional (SGSO) para gerenciar os riscos específicos associados à fadiga do membro da equipe (ICAO, 2011).

O Fatigue Risk Management System (FRMS), Sistema de Gerenciamento do Risco de Fadiga, usa um mecanismo com base em modelos biomatemáticos

para o acompanhamento da fadiga. Esse monitoramento é feito com softwares programados para avaliar o desempenho humano, verificando o relógio biológico, a homeostase e o sono (débito, quantidade e qualidade). Além disso, é uma ferramenta que auxilia nas investigações em que a fadiga pode ter sido fator contribuinte e quanto a falhas que são registradas no Acompanhamento e Análise de Dados (FOQA), Flight Operations Quality Assurance (LICATI, 2011).

Para mitigar a fadiga, Kanashiro (2013) criou uma metodologia para ser utilizada por pilotos em jornadas extensas. Trata-se de um questionário com 9 perguntas relacionadas à rotina do piloto. Caso haja mais de quatro respostas positivas, recomenda-se que a missão não prossiga ou inicie, pois indica um quadro de fadiga que pode prejudicar a segurança operacional do voo, conforme apresentado abaixo.

O questionário é destinado a ser utilizado pelo comandante da aeronave durante uma missão, a fim de assessorá-lo na decisão de prosseguir ou interromper a jornada de voo.

- Algum dos pilotos, neste momento, acumula mais de 2 dias seguidos de jornada de voo?
- Algum dos pilotos, por qualquer motivo, não dormiu a quantidade de horas habituais na última noite?
- Nas últimas 48 horas, houve transposição de mais de 3 fusos horários no mesmo sentido?
- O período entre o término da jornada anterior e o início desta foi inferior a 12 horas?
- A duração desta jornada de voo já ultrapassou 12 horas?
- As horas totais de voo desta jornada já somam mais de 8 horas?
- Os pousos realizados nesta jornada foram mais de 4?
- As próximas etapas de voo ocorrerão após as 20h deste horário local?
- Há algum tripulante sentindo-se cansado ou sonolento?

Atenção: mais de quatro respostas afirmativas sugerem a presença de fadiga de voo. Convém não prosseguir.

Em 2016, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) publicou em seu portal um checklist pessoal de mínimos operacionais para que o piloto avalie as condições da aeronave, do meio ambiente/aeródromos e das pressões externas. A ANAC sugere o uso desta ferramenta durante o planejamento do voo, pois, com base no processo de gestão de riscos, se forem identificados fatores de risco durante a análise pessoal, o correto é não prosseguir com o voo (ANAC, 2016). O site da ANAC disponibiliza tanto a versão para impressão quanto para celular.

A aplicabilidade do checklist é voltada para a aviação geral, mas pode ser adaptada de forma sucinta para todos os segmentos, com o intuito de mitigar a fadiga e manter o nível de segurança operacional dentro do aceitável. O checklist é uma ferramenta de uso pessoal, com utilização bastante simples, que pode auxiliar no controle de risco, pois sinaliza o perigo, embora ainda não perceptível, permitindo que o piloto voe com o mínimo de estresse e com isso, menos riscos à operação.

Cada parte do checklist possui informações complementares, cuja ideia é que reflita cada resposta, com objetivo de manter a segurança de voo em níveis aceitáveis (ANAC, 2016). A ANAC recomenda que o checklist pessoal seja utilizado da mesma forma como o checklist da aeronave. O piloto deve levá-lo consigo desde o início do planejamento, estudando as rotas antes de começar a voar (ANAC, 2016).

Farmacologia

Embora a aplicação de contramedidas e estratégias de mitigação da fadiga possa amenizar a maior parte dos problemas relacionados a este tema na aviação, há situações em que a abordagem não farmacológica não é possível ou não é suficiente e pode ser considerada. Estes casos, de modo geral, são restritos à aviação militar ou a operações de emergência e não devem ser considerados em operações regulares e civis. Mesmo assim, essa abordagem não atinge o consenso e não é utilizada por várias organizações militares ao redor do mundo (Russo, 2007; Daubner, 2021).

As opções farmacológicas são direcionadas tanto para otimizar as

oportunidades disponíveis para recomposição do balanço de sono/vigília, quanto para prolongar o estado de alerta em situações em que a privação de sono é imperiosa.

Dependendo do contexto operacional, aproveitar oportunidades de descanso pode ser desafiador. Vários fatores estão implicados, desde o ambiente e suas variáveis, como temperatura, ruído, luminosidade, até alterações de ritmo biológico e até fatores psicológicos, como ansiedade e apreensão (Bernhardt, 2019). Algumas Forças Aéreas, ainda que de forma limitada, preveem o uso de hipnóticos, como temazepam, zolpidem e zaleplon (Gore, 2010).

A escolha do fármaco leva em consideração sua farmacocinética e farmacodinâmica para adjuvância (Earl, 2020; Ehlert, 2021). Embora úteis, há necessidade de extrema cautela e vigilância em relação aos seus efeitos adversos, que elevam o risco para segurança operacional, como incoordenação motora, tontura e amnésia ao despertar, sendo esses os mais comuns. O uso deve ser evitado em pessoal de sobreaviso e sempre sob prescrição e vigilância médica.

Em algumas operações militares e de emergência, em que simplesmente podem fazer a diferença entre vida e morte, fármacos estimulantes podem ser usados pelo médico para elevar, temporariamente, o nível de alerta e diminuir os efeitos nocivos da fadiga (Emonson, 1995).

De modo geral, a cafeína é o estimulante mais utilizado, talvez devido ao fato de não necessitar prescrição e ser considerada relativamente segura. Pode ser ingerida em alimentos e bebidas. Sua meia-vida varia entre 4 e 6 horas, atinge tolerância em cerca de 4 dias e perde boa parte de seu efeito sobre a fadiga após 7 dias de uso crônico. Seus efeitos incluem melhora no tempo de resposta a estímulos, desempenho cognitivo, humor e fadiga, mas está diretamente relacionada à dose ingerida, tolerância individual e tarefa a ser cumprida. Efeitos colaterais incluem taquicardia, irritabilidade, ansiedade, poliúria e perda de controle de movimentos finos (Yeomans, 2000).

O modafinil e derivados anfetamínicos podem ser utilizados em casos especiais pelas Forças Armadas (Batejat, 2018, Batleday, 2020, Bisagno, 2016). Da mesma forma, há necessidade de extrema cautela e vigilância para

os seus efeitos adversos, que elevam o risco para a segurança operacional, tais como taquicardia e arritmias, tremores, cefaleia, perda de apetite, náusea e redução da libido.

Conclusão

A fadiga humana na aviação é um tema de elevada importância no contexto das operações e da segurança de voo. O débito de sono e as alterações no ritmo circadiano são fatores que exercem crucial influência sobre a fadiga.

Contramedidas para essa fadiga incluem adequado descanso prévio à jornada de trabalho, técnicas de manutenção do estado de alerta, planejamento de trabalho em escalas baseadas em estudos científicos organizados e validados, que são fundamentais para a segurança das operações.

A educação continuada da tripulação e dos operadores, à luz do conhecimento científico sobre a fadiga e seus efeitos negativos, bem como estratégias para a redução do seu impacto nas operações de voo, são excelentes medidas a serem implementadas e estimuladas. A abordagem multifatorial sobre o tema é o caminho mais seguro para a busca da excelência.

Referências bibliográficas

ACKERMAN, P. L. Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future applications. **American Psychological Association**. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). **Checklist Pessoal de Mínimos Operacionais.**

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 117.**

BATEJAT, D. *et al*. Prior sleep with zolpidem enhances the effect of caffeine or modafinil during 18 hours continuous work. **Aviat. Space Environ**. Med. v.77, p.515–525, 2006.

BATTLEDAY, R. M.; BREM, A. K. Modafinil for cognitive neuroenhancement in healthy non-sleep-deprived subjects: a systematic review. **Eur. Neuropsychopharmacol**. v.25, p.1865–1881, 2005. doi: 10.1016/j.euroneuro.2015.07.028

BEHLAU, M. A voz da criança deficiente auditiva. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**. São Paulo. v. 67, n. 1, p. 29-35, 2001.

BELENKY, G. *et al*. Fatigue in the workplace. In M. T. Bianchi (ed.). **Sleep Deprivation and Disease.** New Delhi: Springer, 2014. p. 243-268.

BELLAND, K. M.; BISSELL, C. A subjective study of fatigue during navy flight operations over southern Iraq: operation southern watch. **Aviat. Space Environ. Med.** v.65, p.557–561, 1994.

BERNHARDT, K. A. *et al*. (2019). Rest and activity patterns of Army aviators in routine and operational training environments. **Aerosp. Med. Hum. Perform.** v.90, 48–52. doi: 10.3357/AMHP.5193.2019

BISAGNO, V.; GONZÁLEZ, B.; URBANO, F. J. Cognitive enhancers versus addictive psychostimulants: the good and bad side of dopamine on prefrontal cortical circuits. **Pharmacol. Res**. v.109, p.108–118, 2016. doi: 10.1016/j.phrs.2016.01.013

BISSON, R. U.; LYONS, T. J.; HATSEL, C. Aircrew fatigue during desert shield C-5 transport operations. **Aviat. Space Environ. Med.** v.64, p.848–853, 1993.

BOURGEOIS-BOUGRINE, S. *et al*. Perceived fatigue for short- and long-haul flights: a survey of 739 airline pilots. **Aviat. Space Environ. Med.** v.74, p. 1072–1077, 2003.

Bourgeois-Bougrine, S. The illusion of aircrews' fatigue risk control. Transport. **Res. Interdiscip. Perspect**. v.4, p.100-104, 2020. doi: 10.1016/j.trip.2020.100104

BRASIL. DECRETO-LEI Nº 13.475, de 28 de agosto de 2017. Dispõe sobre o exercício da profissão de tripulante de aeronave, denominado de aeronauta; revoga a Lei nº 7.183, de 5 de abril de 1984. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília**: n. 166, p. 2, 29 de ago. 2017.

BRASIL. **DECRETO-LEI Nº 6.780, de 18 de fevereiro de 2009**. Ementa: Aprova a Política Nacional de Aviação Civil (PNAC) e dá outras providências.

BRASIL. Ministério da Defesa, Comando da Aeronáutica. ICA-38 **Indicadores de Desempenho da Segurança Operacional no SISCEAB**. Brasília, DF, 2015.

BRICKNELL, M. C. Sleep manipulation prior to airborne exercises. **J. R. Army Med. Corps.** v.137, p. 22–26, 1991. doi: 10.1136/jramc-137-01-05

CALDWELL, J. A. Effects of operationally effective doses of dextroamphetamine on heart rates and blood pressures of Army aviators.

Mil. Med. v.161, 673–678, 1996. doi: 10.1093/milmed/161.11.673

CALDWELL, J. A. Fatigue in the aviation environment: An overview of the causes and effects as well as recommended countermeasures. **Aviat. Space Environ. Med.** v. 68, p. 932–938, 1997.

CALDWELL, J. A. Crew schedules, sleep deprivation, and aviation performance. **Curr. Dir. Psychol. Sci.** v.21, p.85–89, 2012. doi: 10.1177/0963721411435842

CALDWELL, J. A.; CALDWELL, J. L. Fatigue in military aviation: an overview of US military-approved pharmacological countermeasures. **Aviat. Space Environ. Med.** v.76(Suppl. 7), C39–C51, 2005.

CALDWELL, J. A.; CALDWELL, J. L. An in-flight investigation of the efficacy of dextroamphetamine for sustaining helicopter pilot performance. **Aviat. Space Environ. Med.** v.68, p.1073–1080, 1997.

CALDWELL, J. A.; CALDWELL, J. L., AND CROWLEY, J. S. Sustaining female helicopter pilot performance With Dexedrine During sleep deprivation. **Int. J. Aviat. Psychol.** v.7, p.15–36, 1997. doi:10.1207/s15327108ijap0701_2

CALDWELL, J. A.; CALDWELL, J. L., BROWN, D. L., AND SMITH, J. K. The effects of 37 hours of continuous wakefulness on the physiological arousal, cognitive performance, self-reported mood, and simulator flight performance of F-l 17A pilots. **Mil. Psychol.** v.16, p.163–181, 2004. doi: 10.1207/s15327876mp1603_2

CALDWELL, J. A.; CALDWELL, J. L.; CROWLEY, J. S.; JONES, H. D. Sustaining helicopter pilot performance with Dexedrine during periods of sleep deprivation. **Aviat. Space Environ. Med.** v.66, p.930–937, 1995.

CALDWELL, J. A.; CALDWELL, J. L.; DARLINGTON, K. K. Utility of dextroamphetamine for attenuating the impact of sleep deprivation in pilots. **Aviat. Space Environ. Med.** v.74, p.1125–1134, 2003.

CALDWELL, J. A.; GILREATH, S. R. A survey of aircrew fatigue in a sample of U.S. Army aviation personnel. **Aviat. Space Environ. Med.** v.73, p.472–480, 2002.

CALDWELL, J. A.; LEDUC, P. A. Gender influences on performance, mood and recovery sleep in fatigued aviators. **Ergonomics.** v.41, p.1757–1770, 1998. doi: 10.1080/001401398185956

CALDWELL, J. A.; MALLIS, M. M.; CALDWELL, J. L.; PAUL, M. A.; MILLER, J. C.; NERI, D. F. Fatigue countermeasures in aviation. **Aviat. Space Environ. Med.**v. 80, p.29–59, 2009. doi: 10.3357/ASEM.2435.2009

Caldwell, J. A., Smythe, N. K., Leduc, P. A., and Caldwell, J. L. (2000b). Efficacy of Dexedrine for maintaining aviator performance during 64 hours of sustained wakefulness: a simulator study. **Aviat. Space Environ. Med.** v.71, p.7–18, 2000.

CALDWELL, J. L.; PRAZINKO, B. F.; ROWE, T.; NORMAN, D.; HALL, K. K.; CALDWELL, J. A. Improving daytime sleep with temazepam as a countermeasure for shift lag. **Aviat. Space Environ. Med.** v.74, p.153–163, 2003.

CAMPOS, Flavio. **Fadiga: Brasil Apresenta Estudo Inédito em Evento da ICAO**. [s.l.: s.n.],2016.

COMISSÃO NACIONAL DE FADIGA HUMANA, CNFH; COMITÊ NACIONAL DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES AERONÁUTICOS, CNPAA. **Guia de investigação da fadiga humana em ocorrências aeronáuticas**. Brasília, DF: CNPAA, 2017.

DAUBNER, J.; ARSHAAD, M. I.; HENSELER, C.; HESCHELER, J.; EHNINGER, D.; BROICH, K.; *et al*. Pharmacological Neuroenhancement: Current aspects of categorization, epidemiology, pharmacology, drug development, ethics, and future perspectives. **Neural Plast.** 2021:8823383. doi: 10.1155/2021/8823383

DAWSON, D., AND MCCULLOCH, K. Managing fatigue: it's about sleep. **Sleep Med. Rev.** v.9, p.365–380, 2005. doi: 10.1016/j.smrv.2005.03.002

DE VASCONCELOS, C. A.; VIEIRA, M. N.; KECKLUND, G.; YEHIA, H. C. Speech analysis for fatigue and sleepiness detection of a pilot. **Aerosp. Med. Hum. Perform.** v.90, p. 415–418, 2019. doi: 10.3357/AMHP.5134.2019

DESMOND, P. A.; HANCOCK, P. A. Active and passive fatigue states. In P. HANCOCK P. A. DESMOND, P (eds.). **Stress, workload and fatigue**. [s.l.]: CRC Press. 2001.

DIJK, D. J., DUFFY, J. F., AND CZEISLER, C. A. Circadian and sleep/wake dependent aspects of subjective alertness and cognitive performance. **J. Sleep Res.** v.1, p.112–117, 1992. doi: 10.1111/j.1365-2869.1992.tb00021.x

EARL, D. C.; VAN TYLE, K. M. New pharmacologic agents for insomnia and hypersomnia. **Curr. Opin. Pulm. Med.** v.26, p. 629–633, 2020. doi: 10.1097/MCP.0000000000000722

EHLERT, A. M.; WILSON, P. B. Stimulant use as a fatigue countermeasure in Aviation. **Aerosp. Med. Hum. Perform.** v.92, p.190–200, 2021. doi: 10.3357/AMHP.5716.2021

EMONSON, D. L.; AND VANDERBEEK, R. D. The use of amphetamines in U.S. Air Force tactical operations during desert shield and storm. **Aviat. Space Environ. Med.** v.66, p.260–263, 1995.

EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY-EASA. **Annual Safety Review 2020.** Cologne, Germany: European Union Aviation Safety Agency, 2020.

EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY-EASA. **Commission Regulation (EU) Nº 965/2012.** Cologne, Germany: European Union Aviation Safety Agency, 2012.

EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY-EASA. **Commission Regulation (EU) Nº 83/2014.** Cologne, Germany: European Union Aviation Safety Agency, 2014.

EUROPEAN UNION AVIATION SAFETY AGENCY-EASA. **Effectiveness of Flight Time Limitations**‖. Cologne, Germany: European Union Aviation Safety Agency, 2019.

Fatigue Countermeasures Working Group. **Controlled rest on the flight deck: a resource for operators**. Alexandria, VA: Flight Safety Foundation, 2018.

Federal Aviation Administration-FAA (USA). **Advisory Circular 120-103A: Fatigue Risk Management Systems for Aviation Safety.** Washington DC, U.S.A.: U.S. Department of Transportation, 2013.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION-FAA (USA). **Part 117-Flight and duty limitations and rest requirements: flightcrew members**‖. Washington DC, U.S.A.: U.S. Department of Transportation, 2012.

Flight Safety Foundation. Lessons from the dawn of ultra-long-range flight: Fourth workshop yields insights into early ultra-long-range flight experience. **Flight Safety Digest.** v.24, p.1–15, 2005.

FOLKARD, S.; & AKERSTEDT, T. Trends in the risk of accidents and injuries and their implications for models of fatigue and performance. **Aviation Space and Environmental Medicine.** v.75, n.3, A161-A167, 2004.

GAINES, A. R.; MORRIS, M. B.; GUNZELMANN, G. Fatigue-related Aviation mishaps. **Aerosp. Med. Hum. Perform.** v.91, p.440–447, 2020. doi: 10.3357/AMHP.5515.2020

GANDER, P. H. *et al.*Flight crew fatigue V: long-haul air transport operations. **Aviat. Space Environ. Med.** v.69(Suppl. 9), B37–B48, 1998.

GANDER, P. H. *et al.*Crew fatigue safety performance indicators for fatigue risk management systems. **Aviat. Space Environ. Med.** v.85, p.139–147, 2014. doi: 10.3357/asem.3748.2014

GANDER, P. H. *et al.* Pilot fatigue: relationships with departure and arrival times, flight duration, and direction. **Aviat. Space Environ. Med.** n. 85, p. 833–840, 2014. doi: 10.3357/asem.3963.2014

GANDER, P. H.; NGUYEN, D., ROSEKIND; M. R., AND CONNELL, L. J. Age, circadian rhythms, and sleep loss in flight crews. **Aviat. Space Environ. Med.** n.64, p.189–195, 1993.

GANDER, P. H.; ROSEKIND, M. R.; GREGORY, K. B. Flight crew fatigue VI: a synthesis. **Aviat. Space Environ. Med.** *v.*69(Suppl. 9), B49–B60, 1998.

GANDER, P. H. *et al.* In-flight sleep, pilot fatigue and psychomotor vigilance task performance on ultra-long range versus long range flights. **J. Sleep Res**. *v.*22, p. 697–706, 2013. doi: 10.1111/jsr.12071

Gander, P., and Signal, L. Who is too old for shift work? Developing better criteria. **Chronobiol. Int**. n. 25, p.199–213, 2008. doi: 10.1080/07420520802077556

GANDER, P. et al. Does the circadian clock drift when pilots fly multiple transpacific flights with 1- to 2-day layovers? **Chronobiol. Int**. *v.*33, p.982–994, 2016. doi: 10.1080/07420528.2016.1189430

GANDER, P. et al. Circadian adaptation of airline pilots during extended duration operations between the USA and Asia. **Chronobiol. Int.** *v.*30, p.963–972, 2013. doi: 10.3109/07420528.2013.790042

GIUSTINA, A. D. **O Deslocamento Pré-voo e a Relevância Para a Fadiga na Aviação.** Trabalho de Conclusão de Curso em Segurança de Aviação e Aeronavegabilidade Continuada, São José dos Campos: [s.n.], 2013.

GOEL, N.; BASNER, M.; RAO, H.; DINGES, D. F. Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. **Prog. Mol. Biol. Transl. Sci**. *v.*119, p.155–190, 2013. doi: 10.1016/b978-0-12-396971-2.00007-5

GOEL, N.; RAO, H.; DURMER, J. S.;DINGES, D. F. Neurocognitive consequences of sleep deprivation. **Semin. Neurol**. *v.*29, p.320–339, 2009. doi: 10.1055/s-0029-1237117

GOFFENG, E. M. *et al.* Cardiac autonomic activity in commercial aircrew During an actual flight duty period. **Aerosp. Med. Hum. Perform**. *v.*90, p. 945–952, 2019. doi: 10.3357/amhp.5389.2019

GOFFENG, E. M. et al. Risk of fatigue Among airline crew During 4 consecutive days of flight duty. **Aerosp Med. Hum. Perform**. *v.*90, p.466–474, 2019. doi: 10.3357/amhp.5236.2019

GOOD, C. H. V. *et al.* Sleep in the United States military. **Neuropsychopharmacology. v.** 45, p.176–191, 2020. doi: 10.1038/s41386-019-0431-7

GORE, R. K.; WEBB, T. S.;HERMES, E. D. Fatigue and stimulant use in military fighter aircrew during combat operations. **Aviat. Space Environ. Med**. *v.* 81, p.719–727, 2010. doi: 10.3357/ASEM.2755.2010

GRAEBER, R. C. et al. International cooperative study of aircrew layover sleep: operational summary. Aviat. Space Environ. Med. v.57, B10–B13, 1986.

GREGORY, K. B. *et al*. Pilot fatigue survey: exploring fatigue factors in air medical operations. **Air Med. J**. *v.*29, p.309–319, 2010. doi: 10.1016/j.amj.2010.07.002

GUYTON, A.C.; HALL J.E. **Tratado de Fisiologia Médica**. 13.ed. [s.l.]: Editora Elsevier. 2017

Harbourt, K. *et al*. Association of eszopiclone, zaleplon, or zolpidem with complex sleep behaviors resulting in serious injuries, including death. **Pharmacoepidemiol. Drug Saf**. *v.*29, p. 684–691, 2020. doi: 10.1002/pds.5004

Hu, X.; Lodewijks, G. Detecting fatigue in car drivers and aircraft pilots by using non-invasive measures: The value of differentiation of sleepiness and mental fatigue. **J. Saf. Res**. *v.*72, p.173–187, 2020. doi: 10.1016/j.jsr.2019.12.015

International Air Transport Association–IATA; International Civil Aviation Organization-ICAO; International Federation of Air Line Pilots' Associations- IFALPA. **Fatigue Risk Management Systems (FRMS) Implementation Guide for Operators**. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization, 2011.

International Air Transport Association- IATA; International Civil Aviation Organization- ICAO; International Federation of Air Line Pilots' Associations- IFALPA. **Fatigue Management Guide for Airline Operators**. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization, 2015.

International Civil Aviation Organization-ICAO. **Fatigue Risk Management Systems (FRMS)**. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization, 2011.

International Civil Aviation Organization-ICAO**. Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches (Doc 9966)**. Montreal, Canada: International Civil Aviation Organization, 2011.

ITANI, A. Trabalho e saúde na aviação: a experiência entre o invisível e o risco. Educação: Teoria e Prática, v. 1, n. 1, p. 50, 26 mar. 2009.

ITANI, Alice. **Saúde e Gestão na Aviação**: a experiência de pilotos e controladores de tráfego aéreo**. Psicologia & Sociedade**. v. 21, n. 2, maio/ago, p. 203-2012, 2009.

KANASHIRO, Ricardo Gakiya. A Jornada de voo na aviação de transporte e a prevenção da fadiga. **Revista Sipaer**, Brasília, v. 4, n. 2 p. 191, mar/abr. 2013.

KRAJEWSKI, J.; KROGER, B. Using prosodic and spectral characteristics for sleepiness detection. **Interspeech Proceedings**, v. 8, p. 1841-1844, 2007.

LEWY, A. J., AHMED, S., JACKSON, J. M., SACK, R. L. Melatonin shifts human circadian rhythms according to a phase-response. **Chronobiol Int**. v.9, n.5, p. 380-392, 1992. doi: 10.3109/07420529209064550

LICATI, Paulo Rogério *et al.* Ferramenta de Apoio ao Gerenciamento de Risco da Fadiga para Pilotos da Aviação Comercial Brasileira. **Revista Sipaer**. Brasília, n. 2 p. 19, mar. 2010.

LICATI, Paulo. A vez do FRMS. **Revista Aero Magazine**, Montreal, 17 out. 2011.

LINDBERGH, C. A. **The Spirit of St. Louis**. New York: Scribner, 1953.

LOWE, C. J.; SAFATI, A.; HALL, P. A. The neurocognitive consequences of sleep restriction: a meta-analytic review. **Neurosci. Biobehav.Rev**. *v.*80, p.586–604, 2017 doi: 10.1016/j.neubiorev.2017.07.010

LYRA, Mateus Teixeira. **Fadiga Humana nas Ocorrências de Acidentes e Incidentes na Aviação Civil e o Constante Trabalho de Mitigação**. 2018. Tese (Bacharel) Curso de Ciências Aeronáuticas. Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, Santa Catarina, 2018.

Military Aviation Authority. Military Aviation Requirements - Flight Crew Licensing Part 3 (Medical). ed. R. N. A. Force. Soesterberg, The Netherlands: Royal Netherlands Air Force, 2020.

Military Aviation Authority. **Medicatie En Luchtvaart**. Soesterberg, The Netherlands: Royal Netherlands Air Force, 2021.

MISSONI, E.; NIKOLIC, N.; MISSONI, I. Civil aviation rules on crew flight time, flight duty, and rest: comparison of 10 ICAO member states. **Aviat. Space Environ**. *Med. v.*80, p.135–138, 2009. doi: 10.3357/ASEM.1960.2009

MONTANDON, A. A. **Medicina de Aviação**: fisiologia de voo: fundamentos essenciais para quem voa. 1. ed. Uberaba: [s.n.], 2007.

MONTEIRO, C. *et al*. Regulação molecular do ritmo circadiano e transtornos psiquiátricos: uma revisão sistemática. **J. bras. psiquiatr**. v.69, n.1, jan/mar.2020. doi.org/10.1590/0047-2085000000258

MOTA, Dálete D. C. D. F. *et al*. Fadiga: uma análise do conceito. **Acta Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 285-293, set. 2005.

National Transportation Safety Board (1994).

A Review of Flightcrew-Involved, Major Accidents of U.S. Air Carriers, 1978 Through 1990. (Washington, D.C.).

National Transportation Safety Board. **Controlled Flight Into Terrain Korean Air Flight 801 Boeing 747-300, HL7468 Nimitz Hill, Guam August 6, 1997**. Washington, DC., U.S.A.: National Transportation Safety Board, 2000.

National Transportation Safety Board. **Runway Overrun During Landing**, **American Airlines Flight 1420, McDonnell Douglas MD-82, N215AA, Little Rock, Arkansas, June 1, 1999**. Washington, DC., U.S.A.: National Transportation Safety Board, 2001.

National Transportation Safety Board**. Loss of control on approach Colgan Air, Inc. operating as Continental Connection Flight 3407 Bombardier DHC-8-400, N200WQ Clarence Center**. Washington, DC., U.S.A.: National Transportation Safety Board, 2010.

National Transportation Safety Board-NTSB. **AAR94/04** - Uncontrolled Collision With The Terrain AIA Flight 808 DC-8 Guantanamo Bay 1993, Washintgon D.C.

Rodrigues, T. E. et al. Seasonal variation in fatigue indicators in Brazilian civil aviation crew rosters. **Rev. Bras. Med. Trab**. *v.*18, p.2–10, 2020. doi: 10.5327/Z1679443520200467

ROSEKIND, M. R.; GREGORY, K. B.; MALLIS, M. M. Alertness management in aviation operations: enhancing performance and sleep. **Aviat. Space Environ. Med**. *v.*77, p.1256–1265, 2006. doi: 10.3357/asem.1879.2006

RUSSO, M. B. Recommendations for the

ethical use of pharmacologic fatigue countermeasures in the U.S. military. **Aviat. Space Environ. Med**. *p.* 78:8, 2007.

TOUITOU, Y.; REINBERG, A.; TOUITOU, D. Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: health impacts and mechanisms of circadian disruption. **Life Sci**. *v.*173, p.94–106, 2017. doi: 10.1016/j.lfs.2017.02.008

United States Government. **Civil aeronautics act of 1938, in *United States Statutes at Large.*** ed. United States Government. Washington, DC, U.S.A.: Printing Office Authority of Congress, 1938.

VALDEZ, P. Circadian rhythms in attention. **Yale J. Biol. Med**. *v.*92, p.81–92, 2019.

VAN DONGEN, H. P.; CALDWELL, J. A.; CALDWELL, J. L. Investigating systematic individual differences in sleep-deprived performance on a high-fidelity flight simulator. **Behav. Res. Methods.** *v.*38, p.333–343, 2006. doi: 10.3758/BF03192785

VAN DONGEN, H. P. *et al*. The cumulative cost of additional wakefulness: dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. Sleep v.26, p.117–126, 2003. doi: 10.1093/sleep/26.2.117

VAN DRONGELEN, A. *et al*. Risk factors for fatigue among airline pilots. **Int. Arch. Occup. Environ. Health.** *v.*90, p.39–47, 2017. doi: 10.1007/s00420-016-1170-2

VAN DRONGELEN, A. *et al*. Evaluation of an mHealth intervention aiming to improve health-related behavior and sleep and reduce fatigue among airline pilots. **Scand. J. Work Environ. Health** *v.*40, p.557–568, 2014. doi: 10.5271/sjweh.3447

WILSON, N. *et al*. Blending human and machine: feasibility of measuring fatigue Through the Aviation headset. **Hum. Factors**. *v.*62, p.553–564, 2020. doi: 10.1177/0018720819849783

YEOMANS, M.R. et al. Effects of caffeine on performance and mood depend on the level of caffeine abstinence. **Psychopharmacology**. v.164:241–9, 2002.

Zakariassen, E. *et al*. Causes and Management of Sleepiness Among Pilots in a Norwegian and an Austrian air ambulance servisse: a comparative study. **Air Med. J.** v.38, p.25–29, 2019. doi: 10.1016

O IMPACTO DOS TRANSTORNOS MENTAIS NA AVIAÇÃO GERAL

Drª. Bruna Soares e Dr. Eliezio Aguiar

Orientador:
Prof. Dr. Sergio Duailibi

introdução

DE ACORDO COM A ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS), CERCA DE 720 MILHÕES DE PESSOAS SOFREM DE DOENÇAS MENTAIS EM TODO O MUNDO - APROXIMADAMENTE 10% DE TODA A POPULAÇÃO MUNDIAL. NO BRASIL, ENTRE AS DEZ MAIORES CAUSAS DE AFASTAMENTO DO TRABALHO, CINCO SÃO DEVIDO A TRANSTORNOS MENTAIS, COMO DEPRESSÃO E ANSIEDADE, DE ACORDO COM A ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PSIQUIATRIA (ABP).

A segurança de voo é uma das questões mais discutidas na aviação e na comunidade em geral, uma vez que o assunto diz respeito à vida das pessoas e profissionais que precisam utilizar o transporte aéreo.

A segurança operacional é uma das grandes prioridades da Organização Internacional de Aviação Civil (OACI) e é definida como "o estado no qual o risco de lesões às pessoas ou danos às propriedades é reduzido e mantido em, ou abaixo de, um nível aceitável, mediante um contínuo processo de identificação de perigos e gerenciamento de riscos" (OACI, 2006, p. 1-1).

A Lei nº 7.183, de 5 de abril de 1984 define que "aeronauta é o profissional habilitado pelo Ministério da Aeronáutica, que exerce atividade a bordo de aeronave civil nacional, mediante contrato de trabalho" (BRASIL, 1984). O Art. 4º da mesma lei explica que "[...] o aeronauta no exercício de função específica a bordo de aeronave, de acordo com as prerrogativas da licença de que é titular, tem a designação de tripulante". Segundo o Art. 6º, são considerados tripulantes: o comandante, copiloto, mecânico de voo, navegador, rádio-operador de voo e, por fim, os comissários (BRASIL, 1984).

O ambiente de trabalho reflete diretamente na saúde do trabalhador, e no caso dos aeronautas alguns aspectos agravam essa interferência.

Muitos estressores são intrínsecos à atividade dos aeronautas, tanto os diretamente relacionados à operação aérea (risco de acidentes, turbulência, condições do tempo, barulho, luminosidade, risco de colisão) quanto os referentes ao regime de trabalho (horários imprevisíveis, trabalho em turnos, ciclos irregulares de trabalho e sono, afastamento da família), além da constante responsabilidade pela segurança dos passageiros, equipe e aeronave.

Sono insuficiente e/ou de má qualidade, horário de trabalho irregular ou excessivo, má alimentação, exposição frequente a ruídos e vibrações, radiação, pressão atmosférica reduzida, hipoxia discreta, estresse, fadiga, desordem circadiana, pressão psicológica e momentos de tensão são alguns dos problemas enfrentados diariamente por esses trabalhadores.

Os transtornos mentais comuns (TMC) apresentam elevada prevalência em populações gerais e de trabalhadores, e têm consequências indivi-

duais e sociais importantes. Alguns estudos mostram que a alta demanda psicológica e o baixo controle sobre o trabalho estão entre os fatores associados aos TMC em níveis estatisticamente significativos.

Os transtornos mentais refletem-se no desempenho, na segurança no/do trabalho, na qualidade de vida social e no trabalho, em doenças ocupacionais, afastamentos médicos, precarização das relações trabalhistas e até na exploração do colaborador.

Indivíduos sob alta exigência no trabalho apresentam as reações mais adversas de desgaste psicológico, como por exemplo, insônia, fadiga, ansiedade, irritabilidade, esquecimento, dificuldade de concentração e queixas somáticas (dor de cabeça, falta de apetite, tremores ou má digestão).

É importante destacar que os TMC podem ser uma base potencial para o desenvolvimento de distúrbios de maior gravidade.

A ocorrência de ansiedade e depressão tem suas raízes na multicausalidade, ou seja, diversos fatores aos quais os aeronautas estão expostos em suas atividades laborais, tanto de ordem física como social e psíquica, podem acarretar os sintomas da doença.

O ruído, as vibrações e a hipóxia causada pela baixa umidade do ar e pelo hipobarismo, apesar de levarem a disfunções físicas, também causam alterações neuropsíquicas que podem culminar em ansiedade, depressão e fadiga.

Aspectos regulatórios

Qualquer pessoa que deseje obter ou revalidar um Certificado Médico Aeronáutico (CMA) de 1ª classe, 2ª classe, 4ª classe ou 5ª classe, deverá submeter-se ao Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) número 67.

Este regulamento estabelece os requisitos que devem ser atendidos para que uma pessoa possa obter ou revalidar um CMA de 1ª classe, 2ª classe, 4ª classe ou 5ª classe.

São condições para a concessão ou revalidação de um Certificado Médico Aeronáutico (CMA):

1) Apresentar-se a um examinador, de acordo com a classe de CMA pretendida;

2) Apresentar prova de identidade por meio de um documento de identificação oficial, com foto, válido no território nacional.

O candidato que, após prévio exame de saúde pericial, devidamente respaldado por documentos que comprovem a realização desses exames, cumprir com os requisitos psicofísicos descritos no Regulamento, conforme aplicáveis, estará apto a receber ou a revalidar um CMA da classe correspondente à solicitada.

O candidato que possua um CMA expirado há mais de 5 (cinco) anos sem revalidá-lo, ao pretender retornar à atividade aérea, deve ser submetido a um exame de saúde pericial inicial previsto para o CMA do qual seja detentor.

Classes e categorias de CMA

Um CMA de 1ª classe válido deve ser obrigatoriamente exigido de um detentor de licença das seguintes categorias:

(1) Piloto de Linha Aérea (PLA);

(2) Piloto Comercial (PC); e

(3) Piloto de Tripulação Múltipla (PTM).

Um CMA de 2ª classe válido deve ser obrigatoriamente exigido de um candidato ou detentor de licença das seguintes categorias:

(1) Piloto Privado (PP);

(2) Piloto Privado com habilitação IFR (PP-IFR), sendo necessário o cumprimento dos requisitos oftalmológicos correspondentes ao CMA de 1ª classe;

(3) Comissário de Voo;

(4) Mecânico de Voo;

(5) Piloto de Balão Livre (PBL); e

(6) Aluno Piloto, exceto para piloto de planador.

Um CMA de 3ª classe é aplicável à categoria de controladores de tráfego aéreo.

Um CMA de 4ª classe válido deve ser obrigatoriamente exigido de um candidato ou detentor de certificado ou habilitação das seguintes categorias:

(1) Piloto Aerodesportivo (CPA);

(2) Piloto de Planador (PPL); e

(3) Aluno Piloto para Piloto de Planador.

Um CMA de 5ª classe válido deve ser obrigatoriamente exigido de um candidato ou detentor de licença ou habilitação de piloto-remoto de aeronave remotamente pilotada, tal como especificado no Regulamento específico

Um candidato à concessão de um primeiro CMA deve ser submetido a um exame de saúde pericial inicial com os critérios da classe pretendida segundo as subpartes C a G do RBAC 67.

Validade dos CMA

O prazo de validade de um CMA deve levar em conta a capacidade do candidato em cumprir os requisitos deste Regulamento ao longo de todo o período da validade do CMA e pode ser reduzido em relação ao expresso pelo parágrafo (a) desta seção, a critério do examinador ou da ANAC, caso estes considerem clinicamente recomendado. Neste caso, a justificativa da redução deve constar expressa nos registros dos exames de saúde periciais.

O detentor de um CMA válido deve reportar à ANAC, ou ao examinador responsável pela sua certificação, qualquer diminuição de suas aptidões psicofísicas que possa impedi-lo de exercer as prerrogativas de suas licenças e habilitações sem afetar a segurança de voo, assim como deixar de exercer essas prerrogativas até obter um novo julgamento "apto" ou "apto com restrição" por parte de um examinador ou da ANAC.

A ANAC, para fundamentar seu julgamento e a fim de dirimir dúvidas acerca da aptidão psicofísica, poderá solicitar um parecer de um profissional de saúde.

Requisitos para obtenção de CMA de 1ª e 2ª classes

O candidato será considerado apto a obter ou revalidar um CMA de 1ª classe caso atenda a todos os requisitos psicofísicos desta subparte.

O candidato deve dar ciência ao examinador ou à ANAC sobre qualquer problema com sua aptidão psicofísica que seja de seu conhecimento, uso de medicamentos, ou se já teve ocorrência de negação, suspensão ou cassação de CMA em outros exames de saúde periciais prévios, seja no Brasil, seja no estrangeiro.

Nos exames de saúde periciais, deve ser levada em conta a função que o candidato exerce ou exercerá, bem como os recursos terapêuticos e o prognóstico da enfermidade porventura existente.

Devem ser solicitados, minimamente, os seguintes exames:

(1) glicemia em jejum e, nos casos limítrofes, hemoglobina glicada;

(2) colesterol total e frações;

(3) triglicerídeos;

(4) creatinina (redação dada pela Resolução no 547, de 19.03.2020);

(5) hemograma completo;

(6) urina tipo I (EAS);

(7) dosagem de Beta-HCG para candidatas do sexo feminino;

(8) tipagem sanguínea e fator RH, nos exames de saúde periciais iniciais;

(9) ácido úrico.

Requisitos mentais e comportamentais

O candidato não pode sofrer de nenhum transtorno que possa levar ao aumento da probabilidade de não aptidão repentina, seja para operar uma aeronave com segurança ou para executar com segurança tarefas a ele designadas.

O candidato não pode possuir histórico médico ou diagnóstico clínico de:

(1) transtorno mental orgânico;

(2) transtorno mental e comportamental devido ao uso de substância psicoativa, o que inclui a síndrome de dependência induzida pelo álcool ou outras substâncias psicoativas;

(3) esquizofrenia, transtorno esquizotípico ou delirante;

(4) transtorno do humor (afetivo);

(5) transtorno neurótico, transtorno relacionado com o estresse ou transtorno somatoforme;

(6) síndrome comportamental associada com distúrbios fisiológicos e fatores físicos;

(7) transtorno de personalidade ou de comportamento em adultos;

(8) retardo mental;

(9) transtorno do desenvolvimento psicológico;

(10) transtorno do comportamento ou transtorno emocional, com início usualmente na infância e adolescência; ou

(11) transtorno mental não especificado nos parágrafos anteriores de tal forma que possa tornar o candidato não apto para o exercício seguro das prerrogativas da licença para a qual se aplica ou que detém.

Um candidato com depressão, sendo tratado com medicamentos antidepressivos, deve ser julgado não apto, a menos que o psiquiatra, com acesso aos detalhes do caso em questão, considere que a condição do candidato

não vai trazer prejuízo para o exercício seguro das prerrogativas da licença e da habilitação do candidato.

Os transtornos mentais e comportamentais apresentados acima devem ser definidos conforme as descrições clínicas e orientações nosológicas da Organização Mundial de Saúde, tal como consta na Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde, Décima Revisão - OMS de 1992, ou mais recente.

Avaliações psicológicas devem subsidiar os exames de saúde periciais com atestados psicológicos, conforme definido pelo Conselho Federal de Psicologia.

Os testes psicológicos podem ser aplicados individual ou coletivamente, a critério do psicólogo, e o laudo deve, no mínimo, conter parecer sobre a personalidade, a atenção, a memória e o raciocínio do candidato.

O psiquiatra deve emitir parecer em todos os exames de saúde periciais iniciais, pós-acidente, pós-incidente grave, ou quando solicitado pela ANAC ou por um profissional de saúde.

A avaliação psicológica deverá ocorrer nos exames de saúde periciais iniciais, pós-acidente, pós-incidente aeronáutico grave e a cada 5 (cinco) anos nos exames de saúde periciais de revalidação ou, a qualquer tempo, se solicitado pela ANAC ou por um profissional de saúde.

De acordo com o Documento 8984 da ICAO (Manual de Medicina Aeronáutica Civil), a avaliação de candidatos a pilotos e controladores de tráfego aéreo com diagnóstico estabelecido de depressão em remissão e que estejam tomando um antidepressivo aprovado, ou seja, Inibidores Seletivos da Recaptação de Serotonina – ISRS, deve ser avaliada caso a caso. Pilotos e controladores de tráfego aéreo que tomam outros tipos de antidepressivos não devem ser considerados aptos para certificação.

A certificação de pilotos e controladores de tráfego aéreo que fazem uso de medicamentos aceitos pela autoridade responsável pelo licenciamento deve ser condicionada ao que segue:

a) O requerente deve estar sob os cuidados de um médico com experiência na gestão de depressão;

b) O requerente deve:

1) estar estável em uma dose estabelecida e apropriada de medicação por pelo menos quatro semanas antes retornando às funções de voo/controle de tráfego e exibindo:

I) efeitos colaterais mínimos e aceitáveis;

II) ausência de interações medicamentosas ou resposta alérgica;

2) estar sujeito a revisão clínica regular pelo médico com relatórios de progresso fornecidos ao médico que irá avaliar o CMA. O requerente pode estar envolvido em outros tratamentos (por exemplo, psicoterapia);

3) não apresentam outras comorbidades psiquiátricas significativas;

4) não necessitar de outros medicamentos psicoativos;

c) demonstrar sintomas de depressão bem controlados, sem evidência de distúrbios psicomotores.

d) não ter ideação ou intenção suicida;

e) não ter histórico de sintomas psicóticos;

f) não apresentam características de excitação (por exemplo, irritabilidade ou raiva);

g) ter um padrão de sono normal;

h) ter resolução de quaisquer fatores precipitantes significativos da depressão.

Terapia cognitivo-comportamental, racional-emotiva ou semelhante é desejável, mas não necessariamente requerida para a certificação.

Pilotos e controladores de tráfego aéreo autorizados a voar ou desempenhar funções ao tomar ISRSs ou medicamentos antidepressivos relacionados devem ter suas licenças suspensas se sua medicação antidepressiva for alterada ou se a dose for alterada. Podem retornar às suas funções

quando forem avaliados como estáveis pelo médico assistente e não apresentarem efeitos colaterais indesejados.

Pilotos e controladores de tráfego aéreo cuja medicação está sendo reduzida com vistas à cessação devem ter suas licenças suspensas durante todo o período de desmame da medicação e mais por um período de pelo menos duas semanas após o término da medicação.

Poderão retornar às suas atividades quando forem avaliados como estáveis pelo médico assistente e não apresentarem efeitos colaterais ou evidência de síndrome de abstinência.

O uso de ferramentas objetivas de avaliação deve ser utilizado no monitoramento desses profissionais. A Escala de Hamilton é uma dessas ferramentas e o teste neuropsicológico é outra opção. Simuladores ou outros testes baseados em funcionalidade também podem ser usados para avaliar o desempenho.

Os medicamentos com menores efeitos colaterais, como sertralina, citalopram e escitalopram, são os preferidos para serem utilizados por essa população.

É importante destacar que a depressão é, por natureza, um transtorno recorrente e, embora ocorram episódios únicos, a história de um episódio depressivo deve alertar o médico examinador a fazer perguntas específicas para garantir que o candidato não tenha a doença no momento.

Por ser um transtorno recorrente, é imperativo que o paciente "recuperado" seja monitorado de perto por um certo período após a recuperação. Sabe-se que a recorrência é mais provável de acontecer durante os primeiros dois anos.

Pessoas que apresentaram um episódio depressivo grave têm aproximadamente 50% de chance de apresentar um segundo episódio depressivo grave.

Avaliação da saúde mental

O primeiro instrumento de avaliação da saúde mental de um aeronauta é uma anamnese completa seguida de um exame psíquico criterioso. Para que isso aconteça, o atendimento precisa ser realizado em um ambiente adequado, que garanta o sigilo das informações - seja ele presencial ou à distância (telemedicina).

Quando o indivíduo é encaminhado para avaliação psiquiátrica, o motivo do encaminhamento precisa estar claro para o tripulante antes que ele chegue para a consulta. O serviço médico deve ser visto como uma ferramenta de confiança, apoio e acolhimento.

Além disso, é importante que o médico tenha o máximo de informações complementares ao motivo do atendimento, incluindo exames já realizados ou mesmo desempenho técnico, como relatório de simulador.

A anamnese psiquiátrica na avaliação do aeronauta segue o roteiro habitual, com algumas particularidades:

a) Identificação

Além de dados gerais de identificação, como nome, idade, gênero e estado civil, é importante sabermos detalhes a respeito da carreira do examinando. Para pilotos, saber se é copiloto ou comandante, quais os equipamentos para os quais já foi habilitado, tempo de carreira e horas de voo; no caso de comissários, vale saber se é auxiliar ou líder. Para ambos, é importante saber se fazem rotas nacionais ou internacionais e se acumulam outras funções além do voo, como avaliadores, checadores, gerentes, ou mesmo trabalhos fora da aviação.

Outro dado relevante diz respeito à cidade em que está baseado e a cidade onde mora – isso pode impactar consideravelmente na rotina e nos períodos de folga. Além disso, perguntar sobre sua rede de apoio (saber se mora sozinho, com família ou colegas e cidade em que moram seus familiares mais próximos, como pais e filhos).

Esses dados específicos nos auxiliam a traçar um panorama da carreira do tripulante, sua carga de trabalho, o tipo de rotas que realiza e tempo de descanso.

b) Queixa e duração

Questionar qual a queixa principal do tripulante ou motivo da consulta e há quanto tempo ela ocorre.

c) História da patologia atual

Explorar detalhadamente os sinais e sintomas apresentados desde o início do quadro. Entender em que situação eles começaram, qual era o contexto social naquele momento e os gatilhos associados. Questionar se há fatores relacionados à rotina de voo que melhoram ou pioram os sintomas, como o tipo de chave de voo (longa ou curta), pernoites, sensações em momentos específicos do voo (pouso, decolagem, turbulência) e comportamento em momentos de avaliação.

d) Interrogatório sobre os diversos aparelhos

Questionar ativamente sobre cada um dos aparelhos (sistema nervoso, cardiovascular, respiratório, genito-urinário, musculoesquelético).

e) Interrogatório sobre pontos especiais de atenção

Quando falamos em aeronautas, existem pontos de anamnese que precisam ser explorados ainda mais a fundo e com maior nível de detalhes:

- **Sono:** tem dificuldade em conciliar o sono? Acorda antes do horário previsto? Tem despertares durante a noite? Fica sonolento? Sente-se cansado? Tem roncos? Tem apnéia?
- **Fadiga:** sente-se mais cansado que o habitual? Tem sensação de esgotamento físico e mental? Já solicitou saída de voo devido à fadiga? Fez um relato de fadiga na empresa?

- **Cognição:** como está a memória? Sente-se atento? Tem conseguido ler e absorver conteúdo? O raciocínio está lento?

f) Antecedentes pessoais: clínicos e psiquiátricos

Questionar sobre patologias clínicas, uso de medicamentos, alergias, internações e cirurgias. Dado os impactos clínicos e psicossociais da pandemia de Covid-19, vale perguntar se o indivíduo teve Covid, quando foi e se teve alguma sequela associada.

Do ponto de vista psiquiátrico, questionar sobre patologias psiquiátricas prévias, uso de medicamentos controlados, internações e psicoterapia.

g) Antecedentes familiares: clínicos e psiquiátricos

Questionar sobre patologias clínicas e psiquiátricas de familiares próximos - não só pela questão genética, mas pelo impacto social que um familiar com alguma condição de saúde desfavorável pode ter naqueles que estão ao seu redor.

h) Antecedentes específicos de performance psicofísica na aviação

Investigar o histórico do paciente na Certificação Médica Aeronáutica, como reprovação em simulador, reprovação em prova de elevação para comandante, afastamento previdenciário e relatos de fadiga.

i) Antecedentes psicossociais

Avaliar questões de vida do tripulante que podem impactar em seu bem-estar – relacionamentos (separações, crises, abusos), problemas financeiros, problemas de moradia, entre outros.

j) Hábitos e vícios

Hábitos saudáveis são fatores protetores para diversas condições de saúde; perguntar sobre a prática de atividade física, meditação e alimentação auxilia no mapeamento de fatores de proteção e risco.

Além disso, considerando os Programas de Prevenção do Risco Associado ao Uso Indevido de Substâncias Psicoativas na Aviação Civil (PPSP), relacionados à RBAC 120, recomenda-se perguntar sobre o consumo de tabaco, álcool e outras drogas.

Sobre cada substância utilizada, deve-se saber quando a pessoa começou a utilizá-la, quando foi o último uso, quantidade, frequência, tentativas de interromper o uso e problemas associados. Para o álcool, nunca se contentar com a resposta: "bebo socialmente".

Exame psíquico

O exame psíquico deve avaliar os seguintes quesitos em relação ao examinado:

- Aspecto geral (apresentação, condições de higiene, vestes e acessórios);
- Orientação têmporo-espacial (localização do avaliando no tempo e espaço);
- Consciência (nível de consciência, entre o estado totalmente vigil até o coma);
- Atenção (capacidade de focar, com ausência, diminuição ou aumento);
- Memória (avaliar a memória imediata, recente e remota);
- Sensopercepção (presença de alterações como alucinações ou ilusões);
- Pensamento (curso, forma e conteúdo, avaliando conteúdos delirantes ou suicida, por exemplo);

- Humor e afeto: avaliar o estado de ânimo (humor) e as reações emocionais que acompanham os estímulos (afeto);
- Psicomotricidade: movimentos, gestos, estereotipias e maneirismos;
- Crítica em relação ao exame e juízo de realidade.
- (NARDI e cols, 2021).

Abordagem e tratamento dos transtornos mentais em aeronautas

A partir da anamnese e exame psíquico, estabelece-se uma hipótese diagnóstica. A história bem tirada e o exame bem descrito darão muitos elementos para a condução do caso e, ao longo do tempo, para observar a evolução.

Existem condições pontuais e que muitas vezes inclusive já se resolveram no momento da consulta – ansiedade por uma cirurgia de um familiar, angústia enquanto aguardava uma notícia, irritabilidade devido à fadiga. Contudo, em muitos casos, o indivíduo necessitará de um tempo maior para poder se restabelecer e retornar às suas atividades de trabalho.

Para além da questão de trabalho, deve-se verificar, no momento da avaliação, se o indivíduo possui alguma condição que demande uma conduta mais urgente – no caso de um paciente com quadro de ideação suicida, por exemplo. Nessa situação, a pessoa necessitará de um suporte de emergência psiquiátrica, e nunca apenas ser liberada para acompanhamento ambulatorial.

Conforme visto nas regulamentações, para ter sua Certificação Médica Aeronáutica, o aeronauta deve estar bem de saúde e preencher uma série de requisitos. Além disso, nos casos em que é necessária medicação antidepressiva, ele precisará aguardar o tempo de adaptação e efeito do remédio para retornar ao voo, o que pode levar pelo menos quatro semanas. Ainda assim, para retornar ao voo usando medicamentos em fase de manutenção, deve estar de acordo com os protocolos da ICAO.

Dessa forma, é importante que o tripulante entenda o seu quadro e a necessidade de se cuidar, dado que o seu trabalho impacta na segurança dele e de muitas outras pessoas. Além disso, para que o tripulante se sinta à

vontade para se cuidar, o ambiente corporativo precisa ter uma cultura de acolhimento e segurança psicológica.

Muitas vezes o sofrimento tem relação com fatores psicodinâmicos; no caso dos aeronautas, ficar longe de filhos pequenos, estar afastado da rotina da casa, ou mesmo manejar questões de relacionamentos na rotina da aviação podem ser gatilhos de crises que precisam ser trabalhados. Para isso, a psicoterapia acaba tendo um papel fundamental na compreensão, acolhimento e novas perspectivas de olhares sobre uma mesma situação. Com a possibilidade de psicoterapia online, o acesso aos aeronautas melhorou bastante.

Fora isso, existem outras medidas, além da medicação e psicoterapia, que fazem a diferença para as pessoas com sofrimento psíquico: atividade física regular (pelo menos 150 minutos por semana), alimentação balanceada, higiene do sono, estar em contato com pessoas que trazem segurança, viver a espiritualidade e praticar técnicas de meditação são grandes aliados e devem fazer parte das orientações aos tripulantes.

A partir dessa avaliação, é estabelecido um canal de comunicação entre o tripulante e o profissional que o atendeu, para esclarecer possíveis dúvidas ou mesmo para fornecer outras informações que possam surgir após o primeiro atendimento.

Conclusão

Cuidar da saúde mental do tripulante é algo extremamente importante para garantir o bem-estar e a segurança da operação. Existem regulamentos específicos sobre os requisitos de saúde mental dos aeronautas e sobre uso de medicação psicotrópica, que devem ser de conhecimento de todos os envolvidos no cuidado. A abordagem precisa ser feita de forma acolhedora e sigilosa, e o tratamento deve englobar não apenas medicamentos quando necessário, mas psicoterapia e estratégias para um estilo de vida mais saudável. O canal entre o profissional e o tripulante deve estar sempre aberto, na construção de um vínculo de confiança.

Referências bibliográficas

BRASIL, **Instrução Suplementar nº 67-002 Revisão C**. Instruções para obtenção, revalidação e convalidação de um Certificado Médico Aeronáutico (CMA) e interposição de recurso. ANAC – Agência Nacional da Aviação Civil, 2021.

BRASIL, **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 67 Emenda nº 5**. Requisitos para concessão de certificados médicos aeronáuticos, para o cadastro e credenciamento de médicos, credenciamento de clínicas e para o convênio com entidades públicas. ANAC – Agencia Nacional da Aviação Civil, 2021. Disponível em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-67/@@display-file/arquivo_norma/RBAC67EMD05.pdf

Acesso em 14 de abril de 2022

COELHO, D. **Transtornos mentais em aeronautas brasileiros e a segurança operacional**. Monografia (Graduação Ciências Aeronáuticas) – Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2016

FEIJÓ, Denise; CAMARA, Volney de Magalhães; LUIZ, Ronir Raggio. **Aspectos psicossociais do trabalho e transtornos mentais comuns em pilotos civis**. Disponível em:

https://buscaintegrada.ufrj.br/Record/aleph-UFR01-000791758

Acesso em 14 de abril de 2022.

LICATI, Paulo Rogério; PORTO, Paulo Horta Araújo; FELIPE, Márcia Martins; NOCE, Franco; MELLO, Marco Tulio de. **Efeitos da jornada de trabalho nos estados de humor de pilotos comerciais**. *In* **VII SISTRAER SIMPÓSIO DE TRANSPORTE AÉREO**, 2008, Rio de Janeiro.

MULDER, Sanne; ROOY, Diederik de. Pilot Mental Health, Negative Life Events, and Improving Safety with Peer Support and a Just Culture. **Aerospace Medicine and Human Performance.** 89(1), 41–51, 2018.

NARDI, Antonio Egidio; SILVA, Antonio Geraldo da; QUEVEDO, Joao. **Tratado de Psiquiatria da Associação Brasileira de Psiquiatria**. São Paulo: Artmed, 2021

THE UNITED NATIONS **Doc 8984** - **Manual of Civil Aviation Medicine.** International civil aviation organization. 2012. Disponível em:

https://www.icao.int/publications/pages/publication.aspx?docnum=8984

Acesso em 10 de abril de 2022.

ZOPPÉ, Monise; ALMEIDA, Tatiana Lima. **A saúde mental dos pilotos de avião**: Uma Análise Sistemática da Literatura. Disponível em:

http://revistas.ung.br/index.php/engenhariaetecnologia/article/view/4741

Acesso em 10 de abril de 2022.

16

ABORDAGEM MÉDICA AOS PROGRAMAS DE RISCO ASSOCIADO AO USO DE SUBSTÂNCIAS PSICOATIVAS NA AVIAÇÃO CIVIL

Dr. Diego Del Bianco Dias Netto
e Drª. Érica Leitão Ermel

Orientadores:

Prof. Dr. Eliezio Aguiar
e Prof. Dr. Sergio Duailibi

introdução

O ABUSO DE ÁLCOOL E DROGAS ILÍCITAS É UM PROBLEMA DE SAÚDE PÚBLICA COM IMPORTANTE PREVALÊNCIA NA POPULAÇÃO EM GERAL E ESTÁ RELACIONADO A UM SIGNIFICATIVO AUMENTO DO RISCO DE ACIDENTES DE DIVERSAS NATUREZAS, UMA VEZ QUE ESSAS SUBSTÂNCIAS TÊM O POTENCIAL DE AFETAR DE FORMA SUBSTANCIAL O FUNCIONAMENTO PSÍQUICO, INFLUENCIANDO EM FATORES COMO NÍVEL DE ALERTA, JULGAMENTO, TEMPO DE REAÇÃO E ALTERAÇÕES DE COMPORTAMENTO (ICAO, 1995).

Da mesma forma, muitas medicações (de prescrição controlada ou não) podem apresentar efeitos terapêuticos ou adversos que interferem no sistema nervoso central (SNC), e seu uso pode ter efeitos deletérios em determinadas situações (AKPARIBO, 2017).

Na aviação, tendo em vista a alta complexidade das tarefas envolvidas no segmento operacional, qualquer substância que tenha efeito psicoativo pode representar um aumento no risco de acidentes ou incidentes quando utilizadas indevidamente por pessoas que detenham funções consideradas sensíveis. Além disso, o acúmulo deste efeito com outros fatores de potencial impacto negativo na performance, como a fadiga, alterações de ciclo circadiano, ambiente de hipóxia e adversidades meteorológicas ou operacionais, que aumentem ainda mais a demanda cognitiva do trabalho, podem produzir efeitos catastróficos (ICAO,1995).

Em 2011, um estudo realizado por meio da análise dos resultados de exames toxicológicos aleatórios e pós-acidentes reportados ao FAA entre 1995 e 2005 revelou que, embora pouco prevalente, o uso de drogas ilícitas por funcionários da aviação civil resulta em um aumento significativo no envolvimento em acidentes. A prevalência de violações encontradas (resultados positivos, recusas ou tentativas de adulteração) foi de 0,64% nos exames aleatórios e 1,82% nos testes pós-acidentes. A chance de envolvimento em acidentes para os empregados que testaram positivo para drogas foi quase três vezes maior do que para os que testaram negativo, com um risco atribuível estimado de 1,2%. Neste estudo, a maconha foi a droga mais comumente encontrada, representando 67,3% das drogas ilícitas detectadas (LI, 2011).

Uma pesquisa realizada pelo Comitê americano de Segurança em Transportes (NTSB, 2014) analisou testes toxicológicos de 6.677 pilotos fatalmente envolvidos em 6.597 acidentes aéreos entre os anos de 1990 e 2012. Foram encontradas evidências de um aumento significativo no uso de diversas drogas ao longo dos anos da pesquisa, incluindo algumas classificadas como potencialmente prejudiciais ao desempenho da atividade aérea (comumente associadas a sedação e alterações comportamentais), medicação de prescrição controlada e drogas ilícitas.

O álcool, por sua vez, é sabidamente um depressor do SNC, e, mesmo em doses baixas a moderadas, causa prejuízo em quase todos os aspectos envolvidos no processamento de informações, incluindo: capacidade de abstração e julgamento, percepção e integração de estímulos simultâneos, além de afetar a habilidade cognitiva necessária para utilizar as informações recebidas na formação de consciência situacional. Como extensão, uma pessoa sob efeito de álcool, mesmo em pequenas doses, também apresenta uma percepção reduzida do perigo e está sujeita a tomar atitudes sem considerar, de forma ponderada, suas potenciais consequências negativas (MODELL, 1990).

Um estudo americano, realizado pelo Instituto de Pesquisa Toxicológica Forense do Instituto Aeromédico Civil da FAA, mostrou que, entre os anos de 1987 e 1993, 12,08% dos acidentes aéreos foram relacionados ao uso de álcool (FAA, 1996). Em outro estudo abordando o uso de álcool entre funcionários da aviação nas principais empresas aéreas americanas, foram analisados os resultados dos testes aleatórios e pós-acidente realizados entre os anos de 1995 e 2002, em um total de 511.745 funcionários em funções de risco. Dentre estes, 329 (0,06%) apresentaram um resultado positivo (>0.02g.210l-γ no ar expirado, que é equivalente a >0.02% da concentração de álcool no sangue), ou se recusaram a submeter-se ao exame, configurando um evento impeditivo (LI,2001).

Diante desse cenário, com o objetivo de aumentar os níveis de segurança e mitigar o risco de acidentes relacionados ao uso de substâncias psicoativas, diferentes autoridades de aviação civil de todo o mundo têm adotado programas que geralmente incluem, além de medidas de educação e conscientização sobre o tema, a aplicação de exames toxicológicos em funcionários cujas funções são consideradas de risco operacional (pilotos, tripulantes de cabine, funcionários de manutenção de aeronaves, despachantes de voo, controladores de voo, trabalhadores que atuam nas áreas restritas de aeroportos, entre outros).

Tais exames são, na maioria das vezes, realizados em circunstâncias bem delimitadas pelas regulações, como anteriormente à contratação, após

acidente ou incidente, mediante suspeita de violação à regulamentação e de forma aleatória e não previamente anunciada durante o cumprimento da jornada de trabalho. Muitos programas preveem, ainda, a adoção de medidas de tratamento, recuperação e reabilitação em caso de identificação de transtornos associados ao uso de álcool e drogas entre esses trabalhadores, com objetivo de garantir o retorno seguro destes ao ambiente de trabalho (ICAO, 1995).

Em consonância com as diretrizes da Organização Internacional de Aviação Civil - ICAO, em seu Doc. 9654-AN/945 (Manual de Prevenção de Problemas do Uso de Substâncias no Local de Trabalho da Aviação), a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) no Brasil foi uma das primeiras agências reguladoras ao redor do mundo a deliberar e aprovar uma regulamentação específica sobre o assunto, denominada Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 120 (RBAC 120), publicado por meio da Resolução nº 190, de 31 de maio de 2011, a qual aborda o Programa de Prevenção de Risco Associado ao Uso Indevido de Substâncias Psicoativas na aviação civil (PPSP). O RBAC 120 está atualmente em sua terceira emenda, aprovada em fevereiro de 2021, e é complementado pela Instrução Suplementar (IS) nº 120-002.

Requisitos RBAC 120

Este regulamento se aplica, em território brasileiro, a todas as pessoas que exercem Atividades de Risco à Segurança Operacional (ARSO) na aviação civil (listadas no quadro a seguir), atuantes nos seguintes tipos de empresas: de transporte aéreo, que prestem serviços aéreos públicos especializados, responsáveis pela manutenção de aeronaves que atuam nestes setores e operadores de aeródromos (classes III ou IV, segundo RBAC 153). Excluem-se as empresas estrangeiras que fazem transporte aéreo público entre o Brasil e outros países, regidas pelo RBAC nº 129 (ANAC, 2021).

Tabela 101.

ATIVIDADES DE RISCO À SEGURANÇA OPERACIONAL (ARSO)
Cálculo de combustível, de posição de carga, bagagem e passageiros (além de acompanhamento do progresso do respectivo voo);
Manutenção, manutenção preventiva ou alteração de produtos aeronáuticos;
Inspeção e certificação da manutenção de produtos aeronáuticos;
Abastecimento das aeronaves, supervisão do abastecimento e manutenção dos veículos que serão utilizados para esse abastecimento;
Inspeção de segurança da aviação civil contra atos de interferência ilícita aplicadas em pessoas, objetos, áreas ou aeronaves;
Carregamento e descarregamento de bagagem e carga em aeronave, incluindo a abertura e fechamento de portas, supervisão do carregamento e condução/operação dos veículos ou equipamentos utilizados no transporte da bagagem e carga;
Sinalização para estacionamento de uma aeronave ou sua orientação para movimentação;
Atividades realizadas por fiscal de pátio;
Atividades de condução de veículos e/ou operação de equipamentos, por pessoas com credencial aeroportuária permanente e que atuem na área operacional (excetuando os motoristas do Serviço de Salvamento e Combate a Incêndio);
Atividades de varredura contra objetos estranhos em área operacional não edificada; calço das aeronaves;
Exercício do controle operacional de aeronaves e atividades exercidas por tripulantes (pilotos e comissários de voo).

O RBAC 120 tem como objetivo promover o aumento do nível de segurança das operações em aviação civil, e, para isso, busca atuar principalmente com enfoque preventivo e educativo no que se relaciona ao uso de álcool e drogas neste setor. Além disso, visa a identificação precoce de possíveis problemas de saúde ligados ao tema (transtornos mentais e comportamentais relacionados ao uso de substâncias psicoativas) com seu devido encaminhamento para as modalidades de tratamento adequadas a cada caso, o que aumenta as possibilidades de reabilitação dos funcionários acometidos.

A normativa engloba duas grandes premissas: a proibição dos empregados ARSO de usarem substâncias psicoativas (SPA) durante o exercício de suas atividades ou, ainda, o desempenho destas atividades sob efeito de qualquer substância psicoativa. Além disso, não podem exercer função ARSO funcionários que estejam em evento impeditivo (após exame toxicológico positivo para SPA ou recusa em submeter-se a este tipo de exame), em circunstâncias a serem detalhadas posteriormente (ANAC, 2021).

Substância psicoativa, segundo o texto desta norma, significa álcool ou qualquer substância no escopo da Portaria SVS/MS Nº 344, de 12 de maio de 1998, do Ministério da Saúde, excetuando-se as substâncias pertencentes às classes C2, C3, C4, C5 e F3 da referida Portaria. Trata-se de uma extensa lista contendo tanto drogas ilícitas como maconha, cocaína, ecstasy e outras dro-

gas sintéticas, quanto medicações sujeitas a diversas modalidades de controle de prescrição, destacando-se as seguintes classes: antidepressivos, anticonvulsivantes, opiáceos, benzodiazepínicos, anfetaminas, entre outras.

O uso indevido de substâncias psicoativas consiste, segundo descrito no RBAC, na utilização comprovada de uma ou mais substâncias psicoativas cujos efeitos se façam presentes na situação de trabalho de qualquer pessoa responsável pelo desempenho de ARSO. É importante ressaltar que mesmo um fármaco devidamente utilizado para tratamento de saúde pode representar um risco à segurança da operação e deve ser sempre avaliado em relação a potenciais efeitos prejudiciais às faculdades mentais e, se considerado incompatível com a atividade, o empregado deverá ser afastado até que estes efeitos não estejam mais presentes.

Com a finalidade de atender ao disposto neste regulamento, os serviços aos quais este se aplica devem desenvolver e manter um Programa de Prevenção do Risco Associado ao Uso Indevido de Substâncias Psicoativas na Aviação Civil (PPSP), com requisitos mínimos obrigatórios, porém podendo ter características próprias e adicionais, de acordo com as especificidades culturais e organizacionais de cada empresa. A especificação do método de cumprimento de cada requisito deste programa e seus subprogramas deve constar em uma Declaração de Conformidade, assim como em um Manual específico, com os detalhamentos de seu funcionamento. Minimamente, todo PPSP deve conter três subprogramas: subprograma de Educação para Prevenção do risco associado ao uso indevido de SPA, subprograma de exames toxicológicos e subprograma de resposta a evento impeditivo, a seguir detalhados.

Subprograma de educação para prevenção

Com o objetivo de promover a conscientização sobre os riscos à saúde e outras possíveis consequências deletérias associadas ao uso de álcool e drogas, além de dar visibilidade aos métodos de funcionamento dos subprogramas, as empresas devem oferecer um treinamento para todos os funcionários designados para desempenho de atividades ARSO, antes do início

das mesmas e com atualização a cada 5 anos ou menos. Recomenda-se, no mínimo, 100 minutos de duração para o treinamento inicial, que pode ser realizado nas modalidades presencial ou à distância.

Entre o conteúdo mínimo a ser abordado, incluem-se: informações sobre as funções de trabalho consideradas de risco, circunstâncias e metodologia de coleta, matrizes utilizadas para a realização dos exames toxicológicos, informações sobre as substâncias psicoativas testadas e outras substâncias de uso restrito (incluindo medicações sujeitas ou não a controle especial), consequências da recusa em submeter-se ao exame toxicológico, procedimentos em caso de um resultado positivo, formas específicas de cumprimento de cada requisito da regulamentação, informações sobre o impacto psicossocial e no ambiente de trabalho do uso de álcool e drogas, sinais e sintomas de uso nocivo e dependência de SPA, tipos de tratamento disponíveis na comunidade e contato dos responsáveis por sanar dúvidas relacionadas ao tema.

Além disso, este subprograma deve conter uma capacitação adicional (também com duração recomendada de, ao menos, 100 minutos), específica para supervisores de funcionários ARSO. Eles serão, desta forma, capacitados a reconhecer em seus subordinados certos indicadores físicos, comportamentais e de desempenho que possam sugerir o uso de SPA.

Subprograma de exames toxicológicos de substâncias psicoativas

Com o objetivo de identificar e inibir o uso indevido de SPA por funcionários que desempenham funções de risco, o RBAC 120 determina que sejam realizados exames toxicológicos que possam detectar o uso recente de álcool e drogas.

O Exame Toxicológico de Substâncias Psicoativas (ETSP) é definido pelo regulamento em questão como um exame dedicado à identificação laboratorial das seguintes substâncias no organismo humano: álcool, metabólitos de opiáceos, metabólitos de canabinoides, metabólitos de cocaína, anfetaminas, metanfetaminas, metilenodioximetanfetamina e metilenodioxianfetamina.

Considera-se um ETSP quando todas as substâncias citadas forem testadas (para tal pode ser pesquisada mais de uma matriz, por exemplo, urina para drogas e etilômetro para álcool). O regulamento admite, ainda, a testagem de outras substâncias além das citadas, a critério do médico revisor para cada caso, ou de forma generalizada, caso especificado no Manual do Programa da empresa.

Tipos de ETSP

a) ETSP prévio

O exame toxicológico deve ser realizado antes que um determinado funcionário inicie o desempenho da atividade de risco. Pode ser pré-admissional, quando ocorre antes do contrato do empregado para o desempenho de função ARSO (neste caso, admite-se o uso de matriz de larga janela de detecção, como queratina). Também pode ser realizado em um funcionário já contratado pela empresa para desempenho de atividade não ARSO, desde que haja intenção de que o mesmo passe a atuar em uma função ARSO (neste caso, apesar de também ser um ETSP prévio, a regulamentação, por meio da IS, determina que deve ser usada uma matriz de curta janela de detecção, como urina ou fluído oral).

Em ambas as situações, a contratação ou alocação para a função de risco só poderá ocorrer mediante um resultado negativo do ETSP prévio, que terá validade de até 180 dias (caso passe mais tempo entre a realização do exame e o início da atividade, o exame deve ser repetido).

b) ETSP aleatório

São exames a serem realizados de forma não previamente anunciada, em uma porcentagem mínima dos funcionários ARSO anualmente, selecionados de forma aleatória e imparcial. Cada funcionário que esteja no escopo do programa deve ter a mesma chance de ser testado a cada vez que a seleção for realizada.

A taxa mínima de exames varia conforme a média de funcionários ARSO da empresa, sendo:

- Até 500 ARSO - 50%
- 501 a 2000 ARSO - 28% ou 250 ETSPs (o que for maior)
- Mais de 2000 ARSO - 7% ou 560 ETSPs (o que for maior)

Esta modalidade baseia-se no elemento de imprevisibilidade, no qual os funcionários têm ciência de que poderão ser submetidos ao exame a qualquer momento, durante seu turno de trabalho, ou seja, enquanto desempenham ou estão disponíveis para o desempenho de suas atividades (incluindo sobreavisos ou equivalentes). Por tal motivo, os exames devem ser distribuídos de forma não regular durante o ano e o empregado apenas deverá tomar conhecimento de sua seleção pouco antes do horário designado para que se dirija ao local designado para coleta.

Obs.: as empresas que operam sob o RBAC 135 (aviação executiva) que tenham até 10 funcionários ARSO (excluindo os de empresas por elas contratadas, direta ou indiretamente), as empresas públicas que são prestadoras de serviços aeronáuticos especializados e as de certificação de produtos aeronáuticos (exceto as que aprovam para o retorno aeronaves da aviação comercial, regidas pelo RBAC 121), são dispensadas de realizar exames toxicológicos pré-admissionais e aleatórios.

c) ETSP pós acidente

O exame deve ser realizado em todos os funcionários ARSO envolvidos, após a ocorrência de acidente, incidente ou ocorrência de solo, exceto quando, para cada envolvido, se possa determinar com clareza que o evento não teve relação com sua performance. A regulação deixa claro que a empresa não deverá aguardar a classificação oficial pelos órgãos de investigação para adoção dos procedimentos necessários e que este tipo de exame só deve ocorrer caso existam as denominadas "condições adequadas" que são: a submissão a estes exames não pode atrapalhar ou atrasar o recebimento de atenção médica a qualquer envolvido, sempre que esta for necessária, e não podem ter se passado mais de 8 horas do evento, no caso de exame de álcool, e 32 horas, para detecção de outras SPA.

d) ETSP baseado em suspeita justificada

Trata-se de um exame a ser realizado quando um supervisor treinado (em curso específico para este fim, conforme descrito no item "subprograma de educação"), com base em indicadores físicos, psicossociais e de desempenho, observados em circunstâncias presentes durante o desempenho de atividade ARSO, puder justificar, por escrito, de forma articulada e coerente, que existem evidências de que o funcionário esteja sob efeito de SPA. Exemplos de indicadores que podem levantar este tipo de suspeita podem ser: funcionário comparecer ao trabalho com odor etílico, fala empastada, alterações de marcha, olhos avermelhados, pupilas dilatadas, sonolência, agressividade, queda brusca de performance, atrasos frequentes injustificados, desatenção, descuido em relação ao asseio e higiene pessoal, entre outros.

Diante de uma suspeita, o supervisor deverá comunicar os fatos observados ao médico revisor para que este determine sobre a adequação da indicação de realização do ETSP para o caso específico. É importante ressaltar que, sob nenhuma hipótese, o supervisor que encaminha o funcionário ao ETSP nesta modalidade pode participar da coleta ou de nenhuma etapa da realização do exame, e que nenhuma ação pode ser tomada apenas com base em suspeita, na ausência de um exame positivo.

f) ETSP de retorno ao trabalho

É aquele realizado após um evento impeditivo, uma vez que o funcionário tenha cumprido satisfatoriamente todas as recomendações do ESP. Um resultado negativo neste exame é mandatório para que possa haver o retorno à atividade ARSO.

g)ETSP de acompanhamento

São aplicados aos funcionários inseridos no subprograma de resposta a um evento impeditivo. Também devem ocorrer de forma não anunciada e com distribuição irregular durante o ano, para que se mantenha o fator de imprevisibilidade. Uma vez inserido no programa, o colaborador deixa de

integrar a lista de exames aleatórios e poderá ser convocado a qualquer momento para testagem (desde que esteja em desempenho de suas atividades ou à disposição para tal). Devem ser realizados, no mínimo, 6 ETSPs de acompanhamento nos primeiros 12 meses após o retorno ao trabalho decorrente de um evento impeditivo. Após este período, a critério do ESP, o funcionário pode continuar sendo testado, até o máximo de 60 meses após o retorno. Caso o ESP entenda que não são mais necessários os exames de acompanhamento, eles podem ser suspensos a qualquer momento (após os 12 meses e 6 testes iniciais).

Matrizes e limites de detecção

A detecção de álcool pode ser feita através do uso de um etilômetro (vulgo "bafômetro"), utilizando como matriz o ar expirado. Outras matrizes que podem ser utilizadas são: urina, fluido oral (saliva) e queratina (pelos, cabelo). Esta última é admitida apenas em casos específicos, que serão abordados mais adiante (ANAC, 2021).

A determinação da matriz deve levar em conta alguns aspectos, como janela de detecção (ou seja, por até quanto tempo após o consumo é possível identificar o contato com a substância), custo, viabilidade dos procedimentos de coleta (métodos invasivos são desencorajados), confiabilidade dos resultados, etc.

Para caracterização de um ETSP não negativo, a substância pesquisada deve ser detectada em concentração superior ao nível de corte especificado para cada matriz, com confirmação posterior pela técnica de espectrometria de massa (exceto para uso do etilômetro). Além disso, as amostras são analisadas para garantir que não houve tentativa de substituição ou adulteração.

Tipos de matrizes recomendadas pelo RBAC 120 e respectivos níveis de corte

a)Ar expirado

Obtido com a utilização de um etilômetro (medidor de alcoolemia). O valor de corte indicado para a caracterização de resultado positivo é de 0,10 mg/L. Se o resultado for positivo, outro exame confirmatório deve ser feito em um intervalo de 30 minutos, durante os quais o indivíduo não deve se ausentar do local de coleta. Independentemente do resultado, apenas o segundo exame será levado em conta nestes casos.

b) Urina

Amostra biológica recomendada para detecção de outras substâncias psicoativas previstas além do álcool, como maconha, cocaína, anfetaminas e opiáceos.

Geralmente tem janela de detecção de 2 a 4 dias, identificando apenas uso recente, porém, para algumas substâncias como a maconha e seus metabólitos, este período pode se estender até 30 dias, a depender da frequência, quantidade, tempo de uso e de características individuais de metabolização (RAOUF, 2018).

c) Fluido oral

Também é recomendado para detecção de outras substâncias psicoativas previstas além do álcool, como maconha, cocaína, anfetaminas e opiáceos. A janela de detecção varia de 12 a 24 horas, detectando apenas o uso recente da droga.

d) Queratina

O uso de amostra biológica de queratina para a realização dos ETSP só é aceitável para ETSP prévios pré-admissionais ou após evento impeditivo configurado, como ferramenta diagnóstica auxiliar a ser utilizada pelo ESP. Em geral, detecta o uso de substâncias psicoativas entre os 3 e 6 meses anteriores, porém não detecta o uso recente (entre 5 a 7 dias).

Subprograma de resposta a eventos impeditivos

Quando é detectada a presença de uma das substâncias psicoativas testadas (exceto para o álcool) acima do nível de corte estabelecido, devidamente confirmada pela técnica de espectrometria de massa, temos o que o RBAC 120 denomina "resultado não negativo". Um profissional médico, com registro ativo no conselho de classe e designado pela empresa para tal finalidade, deverá avaliar se este resultado se deu em decorrência de um tratamento médico legítimo (como por exemplo, um resultado positivo para opiáceo quando o funcionário comprova o uso de medicação compatível, devidamente prescrita para o tratamento de um quadro álgico agudo dentro do período da janela de detecção), ou no caso de um "falso" positivo por reação cruzada com uma substância inócua. Nessas condições, o ETSP não será referendado e não produzirá as consequências de um resultado positivo.

Além de referendar os exames não negativos, o Médico Revisor também é responsável por determinar se um candidato à função ARSO ou um funcionário ARSO, por alguma razão médica, não é capaz de fornecer material biológico para realização de um ETSP e, se for o caso, determinar a troca de matriz (exemplo: no caso de um candidato que tenha um quadro de alopecia genética e não tenha cabelo ou pelos corporais em quantidade suficiente para realizar um ETSP prévio de queratina, o médico revisor pode determinar a troca pela matriz urina ou saliva).

Um ETSP não negativo que não se enquadre em nenhuma das hipóteses anteriores, deverá ser referendado pelo médico revisor e passará a ser denominado um ETSP positivo. No caso de um resultado positivo em exame prévio pré admissão, o candidato não poderá ser admitido, e, em caso de exame objetivando mudança de função não ARSO para ARSO, esta não poderá ser aprovada.

No caso de um funcionário da empresa que já desempenhe atividade ARSO e obtenha resultado positivo (referendado) para qualquer SPA, haverá a caracterização de um evento impeditivo.

A recusa em submeter-se a qualquer etapa de um ETSP (comparecimento ao local de coleta, assinatura do termo de consentimento, forneci-

mento de material biológico conforme as instruções do coletor etc.) ou ainda, a adulteração ou tentativa de adulteração de uma amostra corporal (mistura de outras substâncias na amostra, tentativa de substituição por material biológico de outra pessoa ou animal, entre outros), também se caracteriza como um evento impeditivo. Digno de nota, também se considera uma recusa quando o funcionário, após ter sido devidamente informado de uma convocação para realização de um ETSP, não comparece ao local designado no período estabelecido sem justificativa plausível.

Na vigência de um evento impeditivo (seja por um resultado positivo ou por recusa), a empresa deverá tomar as medidas necessárias para afastar imediatamente da função de risco o empregado em questão, que deverá então ser inserido no subprograma de resposta a evento impeditivo e cumprir as etapas pré-determinadas pela regulamentação antes do retorno às atividades ARSO.

O funcionário em evento impeditivo passará por uma avaliação abrangente a ser realizada por um ESP (especialista em transtornos mentais e comportamentais relacionados ao uso de substâncias psicoativas), o qual será responsável por averiguar se há a presença de um transtorno associado ao uso indevido de Substância Psicoativa, como o uso nocivo ou dependência, e, se for o caso, encaminhar para a modalidade de tratamento mais adequada presente na comunidade. No caso da ausência de problemas de saúde, as recomendações do ESP poderão estar relacionadas a medidas disciplinares e de orientação em relação à regulamentação e ao risco associado ao uso de SPA na aviação.

Uma vez que o/a Especialista em transtornos mentais e comportamentais decorrentes do uso de substância psicoativas (ESP) avalie satisfatoriamente o indivíduo, mesmo que o empregado ainda esteja em vigência de tratamento (desde que considere que esteja estável e que o retorno seja seguro), poderá autorizar a realização de exame toxicológico de retorno ao trabalho, informando ao representante designado da empresa sobre a possibilidade de agendamento. Uma vez que obtenha um resultado negativo para todas as SPA testadas, o funcionário poderá retornar às funções ARSO, porém mantendo-se monitorado pelo subprograma de resposta a evento impeditivo.

O ESP então fará o planejamento dos ETSPs de acompanhamento, conforme já mencionado.

O RBAC 120, assim como sua instrução suplementar, não menciona nenhuma ação diferenciada para o caso de reincidência de evento impeditivo, ou seja, o funcionário que, após o retorno ao trabalho, apresentar novamente um exame positivo ou recusa. Entende-se que, independentemente do tempo em que esteja monitorado e do número de exames de acompanhamento já realizados, um novo evento impeditivo demandará que a contagem destes períodos e de exames mínimos seja reiniciada.

As empresas poderão, em suas políticas, estabelecer critérios de exclusão do subprograma, assim como determinar as medidas disciplinares específicas a serem adotadas nos casos em que houver o descumprimento das prerrogativas determinadas em sua política.

Identificação, tratamento e reabilitação de transtornos mentais e comportamentais relacionados ao uso de substância psicoativa

Conforme já mencionado, pelo menos uma vez após cada configuração de evento impeditivo, o funcionário deve ser avaliado por um ESP (especialista em transtornos mentais e comportamentais decorrentes do uso de SPA). O RBAC define certos critérios mínimos/pré-requisitos que este profissional deve cumprir. Basicamente, ele deve ser um profissional de saúde habilitado para realização de diagnósticos deste espectro e encaminhamento para tratamento adequado, se necessário. Além disso, deve estar familiarizado com este regulamento e com os aspectos relacionados ao assunto no contexto operacional da aviação civil. No caso de o ESP ser um médico, este poderá também atuar como médico revisor.

A avaliação abrangente a ser realizada pelo ESP visa identificar, principalmente, se o indivíduo necessita de alguma modalidade de tratamento ou apoio especializado, ou ainda, se é suficiente reforçar as orientações sobre o regulamento e os riscos do uso de álcool e drogas.

A critério deste profissional, a depender da especificidade de cada caso, o colaborador pode ser encaminhado para tratamento psicológico, farmacológico, participação em grupos de apoio, internação ou outros.

Um evento impeditivo por resultado positivo pode ser resultado de um contato pontual/recreativo (ou até involuntário) com a substância, porém pode fazer parte de um padrão de abuso ou de dependência. Além disso, o uso de álcool ou drogas pode estar sobreposto à presença de outros transtornos psíquicos como os de ansiedade ou depressivos. A diferenciação entre estas situações pode ser bastante desafiadora até que se estabeleça uma relação de confiança entre o funcionário e o profissional de saúde. Por tal motivo, deve-se sempre assegurar o sigilo das informações obtidas e enfatizar o caráter não punitivo deste tipo de programa, para que, aos poucos, se construa um vínculo terapêutico que possibilite a acurácia na identificação dos problemas e abordagem mais adequada ao caso.

Conclusão

As substâncias psicoativas podem ter efeitos deletérios sobre o funcionamento psíquico, de forma a comprometer o desempenho seguro de certas atividades ligadas às operações no contexto da aviação. Por tal motivo, trabalhadores com funções consideradas críticas (de risco operacional) devem ser especialmente alertados e conscientizados sobre as possíveis consequências do uso indevido de substâncias desta natureza, tanto em relação à saúde quanto à segurança individual e coletiva, uma vez que podem ser elementos deflagradores de acidentes.

Como forma de mitigação deste risco, a regulação prevê, além do componente preventivo e educativo, formas de monitoramento por meio de exames toxicológicos a serem realizados em circunstâncias específicas, também com objetivo de identificar precocemente funcionários com problemas de saúde relacionados ao uso de substâncias psicoativas, permitindo que sejam devidamente tratados e reabilitados, aumentando as possibilidades de um retorno seguro às atividades de risco.

Referências bibliográficas

AKPARIBO, I. Y.;STOLFI, A. **Pilot Certification, Age of Pilot, and Drug Use in Fatal Civil Aviation Accidents.** Aerosp Med Hum Perform. v.1, n.88(10) p.931-936, 2017.

Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC. **Portaria nº 6.433/SPO, de 17 de novembro de 2021**. Instrução Suplementar (IS) nº 120-002, Revisão D. Orientações gerais para a implantação dos programas de prevenção do uso indevido de substâncias psicoativas na aviação civil. Disponível em:

https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/boletim-de-pessoal/2021/46/anexo-ii-is-no-120-002-revisao-d

Acesso em: 24 abr.2022.

Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC. **Resolução nº 605, de 11.02.2021**. [Dispõe sobre a emenda nº 03 do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil nº 120 (RBAC no 120)]. Programa de prevenção do risco associado ao uso indevido de substâncias psicoativas na aviação civil. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao1/resolucoes/2021/resolucao-no-605-11-02-202. Acesso em: 24 abr. 2022.FAA OFFICE OF AVIATION MEDICINE CIVIL AEROMEDICAL INSTITUTE PUBLICATIONS. **Alcohol and Flying: a deadly combination**. PublicationAM-400-94/2. Disponível em:

http://www.spilve.lv/library/human/Alcohol%20and%20Flying.pdf.

Acesso em: 24 abr.2022.

International Civil Aviation Organization - ICAO. **Manual on Prevention of Problematic Use of Substances in the Aviation Workplace**. DOC 9654-AN/945, 1995.

LI, G. et al. Alcohol Violations and Aviation Accidents: Findings from the U.S. Mandatory Alcohol Testing Program**. Aviation Space and Environmental Medicine.** v. 78, n. 5, Section I, p. 510-5134, 2001.

LI, G. et al. Drug Violations and Aviation Accidents: Findings from the U.S. Mandatory Drug Testing Programs. **National Institutes of Health.** v.106, n.7, p. 1287-1292, 2011.

MODELL, J. G.; MOUNTZ, J.M. Drinking and Flying: The Problem of Alcohol use by Pilots. **N Eng J Med**. v.323 p.455-461, aug.1990.

NATIONAL TRANSPORTATION SAFETY BOARD**. Drug Use Trends in Aviation: Assessing the Risk of Pilot Impairment. Safety Study NTSB/SS-14/01**. Washington, DC, 2014

RAOUF, M.**;** BETTINGER, J.J.;FUDIN, J. Practical Guide to Urine Drug Monitoring. **Fed Pract**.*v.*35, n.4, p.38-44, 2018.

FACULDADE PAULISTA
DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

ASSOCIAÇÃO PAULISTA PARA O DESENVOLVIMENTO DA MEDICINA