

- renergic receptor blockade in conscious rats[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2007, 293(11): H2799 - H2808
- 29 Ke YS, Wang DG, Wang HG, *et al.* Endoxin antagonist lessens myocardial ischemia reperfusion injury[J]. Cardiovasc Drug Ther, 2004, 18(4): 289 - 293
- 30 张英杰, 刘仁光. 大鼠急性心肌缺血早期心电图 QRS 波群和 ST 段改变[J]. 中国心血管病研究杂志, 2005, 3(6): 456 - 458
- 31 Heidi LL, Victoria JK, Stephen ED. Electroacupuncture decreases the susceptibility to ventricular tachycardia in conscious rats by reducing cardiac metabolic demand[J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2007, 292(1): H2550 - H2555
- (收稿: 2009 - 11 - 20)
(修回: 2009 - 12 - 10)

鼻窦和中耳气压性损伤的发病机制及相关研究

应乐安

“气压变化对人体的生理影响”是航空、航天与航海医学中一个重要的研究内容。人体的耳朵、鼻窦、肺脏、胃脏内都含有气体。由于海拔高度的变化, 飞机等载人机电产品在升降过程中会伴随气压的变化。这一气压变化会对人体上述含气的组织器官产生生理和病理反应。

一、鼻窦的气压性损伤

鼻窦是人体头颅内部鼻腔周围的空腔, 其中含有气体, 其作用主要是湿润空气, 对发音产生共鸣。人体共有 4 对鼻窦: 额窦、上颌窦、筛窦和蝶窦。它们开口于鼻道和鼻甲的不同部位, 都与鼻腔相通。正常情况下, 鼻窦内外的气压平衡。但当外界气压变化时, 这种平衡被打破。例如, 在飞机的上升过程, 外界环境气压随海拔高度的增加而降低, 窦内的气压大于窦外。在飞机的下降过程, 外界环境气压随海拔高度的减少而增加, 窦外的气压大于窦内, 窦内成了局部负压。当窦内形成局部负压时, 鼻腔内的阻塞物容易被吸入鼻窦, 导致鼻窦内外通气发生困难, 鼻窦黏膜充血、水肿, 并伴有鼻塞、头痛等症状。

高空中的飞行员和深海下的潜水员在气压骤变时, 通常会有这种现象。在航空航天医学领域, 人们把飞行员从高空迅速下降时, 由于窦腔内负压、鼻腔内炎性物或污物被吸入鼻窦而产生的鼻窦黏膜的急性炎症称为“航空性鼻窦炎”^[1]。患有鼻窦炎的人在周围大气压强发生较大变化时, 例如乘坐超高速电梯或飞机时, 有时会有病变部位的不舒适感。

闫建齐等人分析了歼击机飞行员鼻窦冠状扫描 CT 影像后认为, 飞行员鼻窦炎发病率显著高于一般

人群, 而且飞行员随着年龄的增长和飞行时间的增加, 鼻窦炎的患病率也增加^[2]。Xu X 等研究了鼻窦炎、鼻息肉与飞行安全之间的关系。他们的研究对象是 11 名患有急性鼻窦炎和 82 名患有慢性鼻窦炎和鼻息肉的飞机机组人员。研究发现, 飞机驾驶员患有鼻窦炎或鼻息肉将会对飞行安全造成威胁, 两者之间具有明确的因果关系^[3]。Weitzel EK 等人研究了航空性鼻窦炎 (aerosinlogusitis) 的病理生理学基础及其防治措施。口服抗组胺药或局部喷涂缓解鼻黏膜充血的药物, 是飞机机组和乘客预防航空性鼻窦炎的有效措施^[4]。Bolger WE 等人研究了“计算机断层扫描技术”与“功能性鼻内镜手术 (functional endoscopic sinlogus surgery, FESS)”相结合, 治疗气压损伤性鼻窦炎的可行性^[5]。Parsons DS 等人对 54 名实施过 FESS 的飞行员进行调查后发现, 92% 的飞行员在术后能重新胜任飞行工作^[6]。

二、中耳的气压性损伤

1. 中耳对外界气压变化的反应: 与鼻窦相比, 气压变化对人体耳朵的影响更大。王勇等人的研究数据表明, “气压损伤性中耳炎”在歼击机飞行员耳鼻喉咽喉疾病中的发病率最高^[7]。

人体耳朵由外耳 (outer ear)、中耳 (middle ear) 和内耳 (inner ear) 3 部分组成。外耳、中耳和内耳的耳蜗共同组成了人体的听觉器官^[8]。中耳是一个容积为 1 ~ 2 cm³ 的小空腔, 包括鼓膜、鼓室、听小骨、中耳肌和咽鼓管等结构。直接感受外界气压变化的是中耳。鼓膜 (tympanic membrane) 是一层椭圆形的、半透明的、韧性很强的薄膜, 呈漏斗状, 其顶指向中耳, 是外耳和中耳的分界。鼓室位于鼓膜和内耳外侧壁之间, 向前经咽鼓管通往咽部。咽鼓管 (eustachian - tube) 又称耳咽管, 是耳朵和鼻咽部的唯一通道。在正常情况下, 咽鼓管的鼻咽部开口通常是关闭的。

当吞咽、咀嚼、打哈欠或打喷嚏时管口暂时开放,从而使鼓室内的压力与外界大气压平衡,使鼓膜维持正常的位置和形状。

下面以飞机的升降过程为例进行分析,前提假设条件是机舱内没有人造的增压和减压措施。

在飞机的上升过程中,机舱内的气压逐渐降低。由于外耳直接与机舱大气相通,鼓膜外侧的压力随之降低,而鼓膜内侧的压力却相对保持不变。此时鼓膜内侧的压力大于外侧的压力,鼓膜往外凸。随着高度的继续增加,这一压差 ΔP 逐渐增大。鼓膜能承受的最大压差通常在 2000Pa 左右,一旦超过该值,咽鼓管会自动打开,起到“泄压”作用,使 ΔP 降低。 ΔP 降低后,咽鼓管自动关闭。

在飞机的下降过程中,机舱内的气压逐渐增大,鼓膜外侧的压力也随之增加,使得鼓膜内侧的压力小于外侧的压力,鼓膜往内凹。由于咽鼓管的功能类似于一个只允许气流单向流动的单向阀,所以此时咽鼓管不会自动打开,只得通过鼓膜自身的气体渗透来保持内外侧的压力平衡,而这需要较长的时间。如果机舱内的气压增加过快,人们会感到有明显的不舒适感。克服这一不舒适感的方法是乘客自觉做吞咽口水、咀嚼的动作。

由此可见,结合咽鼓管的生理特点,在飞机的上升阶段,人体耳朵的不舒适感较小;但在飞机的下降阶段,人体耳朵的不舒适感较明显。耳朵的舒适性除了与气压变化量有关外,还与气压的变化速率有关。气压的变化速率包括“增压变化率”和“减压变化率”。为了保证中耳的健康和舒适,增压变化率必须严格控制。

2. 气压损伤性中耳炎:气压的突变会使中耳发生严重的病理变化。当高度变化导致大气压强发生急剧变化时,咽鼓管如不能及时开放,鼓室内外悬殊的压力差就无法调节,中耳就会处于相对正压或负压的状态。相比之下,中耳处于相对负压的情况更为多见。当咽鼓管急性阻塞时,中耳腔内的空气逐渐减少并形成负压,此时鼓膜内陷甚至出血,鼓室内黏膜水肿并有液体渗出。中耳的这种损伤在临床上被称为“中耳气压性损伤(middle ear barotrauma)”或“气压损伤性中耳炎(barotitis)”,简称“耳气压伤”。由于这种疾病通常发生在飞机或潜水艇的乘坐过程中,而飞机乘坐过程中的发病率更高,所以也被称为“航空性中耳炎(aviation otitis media)”。患者自觉耳朵阻塞感,并伴有耳鸣、耳痛、听力减退,甚至头晕恶心。这种症状在鼻炎和副鼻窦炎患者身上表现更为明显^[9]。因此,在飞机降落时,人们经常通过咀嚼口香

糖或者与乘客谈话来保持咽鼓管的畅通,从而预防和减轻“耳气压伤”。

众多学者对中耳的气压性损伤进行了研究,尤其是在航空航天医学领域。陈信等人的研究认为:在飞行器驶离地面的过程中,随着高度的增加,当鼓室内的气压超出外界气压 400 ~ 670Pa (3 ~ 5mmHg, 1mmHg = 133.3Pa) 时,鼓膜产生胀感;当鼓室内的气压超出外界气压 2000Pa (15mmHg) 左右时,咽鼓管开口被冲开,使得鼓室内外的气压平衡。在飞行器返回地面的过程中,当鼓室内的负压达到 8000Pa (60mmHg) 左右时,鼓膜达到疼痛的阈值;当鼓室内的负压高达 10000Pa (80mmHg) 左右时,即使通过“Valsalva 动作(捏鼻鼓气法)”等措施,也难以使咽鼓管管口开启;当鼓室内的负压达到 20000Pa (160mmHg) 左右时,鼓膜可能穿孔^[10]。

谢鼎华等人的研究认为:飞机上升时,当鼓室内的气压高于外界气压 1300 ~ 2000Pa 时,耳部胀闷不适感加重,并可出现听力下降。飞机下降时,当鼓室内的气压低于外界气压 1300 ~ 3900Pa 时,鼓膜内陷;当鼓室内的气压低于外界气压 8000Pa 时,可出现类似“急性化脓性中耳炎”的症状,并伴有恶心、眩晕等症状;当鼓室内的负压为 8000 ~ 10000Pa 时,耳部疼痛可放射至颞、腮腺和面部部,听力大减;当鼓室内的负压为 15000Pa 时,鼓膜破裂,耳内犹如爆炸声,鼓膜破裂后耳痛稍有缓和,但听力锐减^[11]。

3. 耳气压伤的相关研究内容:早在 1869 年, Helmholtz^[12]在研究中耳和鼓膜的生理机制时提出了“中耳气压性损伤”的概念。1944 年, Teed^[13]在研究潜水员的耳气压伤时,把气压变化导致的鼓膜损伤分为“0 ~ 4”共 5 个等级。其中,“0 级”代表正常;“1 级”代表鼓膜内陷,并且锤骨柄局部充血;“2 级”代表鼓膜明显内陷,并且整个鼓膜都充血;“3 级”代表中耳内积液、流血;“4 级”代表鼓膜穿孔、破裂。

文献[14] ~ [17]所报道的航空性中耳炎都与外界气压的变化速率有关。气压变化速率越大,耳气压伤的发生率和危害程度也越大。与减压变化率相比,增压变化率对中耳造成的危害更严重。在确定飞行器增压速率的具体数值时,应兼顾气压变化绝对值和累计时间。绝对值虽不大,若持续时间长,在中耳腔内气压的累计值也会使鼓膜达到疼痛的阈值。当增压率为 670Pa/s (5mmHg/s) 时,如果咽鼓管处于关闭状态,经 12s 就会在中耳腔内产生 8000Pa (60mmHg) 的负压,使鼓膜达到疼痛的阈值^[10]。

飞机升降过程中的气压变化对中耳的影响还表现为使人的听力下降,尤其是低频和中频段听力的影

响。Maier W 和 Kitahara M 等人结合纯音测听和声阻抗技术,对气压变化后的中耳功能进行了分析^[18-23]。他们做了大量的工作,研究咽鼓管如何适当地开启来缓解中耳腔内和鼓膜两侧过大的气压差,以此模拟飞行器上升和下降过程对宇航员耳朵的影响,并把这些结论作为选拔和训练宇航员的生理学依据。

近年,这方面的研究也有不少最新成果。笔者曾以电梯为例,研究了 2000Pa 和 4000Pa 的气压变化量对人体 500Hz、1000Hz 和 2000Hz 纯音气导(AC)听力的影响以及中耳腔压力(MEP)、外耳道容积(ECV)的影响^[13]。白艳巧等人对有反复中耳气压损伤史的 41 例飞行员(49 耳)进行了纯音听阈测定和声阻抗检测^[24]。唐明瑞等人调查了 243 名民航初飞学员,通过对各种不同飞行阶段和飞行机种下飞行员咽鼓管功能的测定,为耳气压伤的预防和鉴定提供标准^[25]。徐先荣对鼻中隔偏曲、鼻窦炎、过敏性鼻炎、鼻息肉等咽鼓管周围病变与中耳气压性损伤之间的关系做了探讨^[26],并选用健康豚鼠为样本,从其左侧鼻腔内插入 PVC 管至鼻咽部,建立航空性中耳炎的动物实验模型,研究气压变化后豚鼠的鼓膜、鼓室图和鼻腔鼻窦炎症的变化情况,从而为航空性中耳炎的临床诊断和治疗提供依据^[27]。吴家林等人探讨了咽鼓管通气阻力(VRET)与气压变化之间的关系及其对预防耳气压伤的作用^[28]。在国外,Mirza S 等人研究了口服外周血管收缩药麻黄碱对于缓解航空性中耳炎所致耳痛的功效。Gutovitz S 等人研究了跳伞过程中的气压变化对跳伞运动员中耳腔压力(MEP)的影响。此外,Uzun C 和 Toklu AS 等人研究了潜水员咽鼓管功能异常时以及潜艇逃逸过程中的耳气压伤问题。我们相信,随着航空医学和耳鼻咽喉科学的深入发展,这方面的基础理论研究工作必将有新的突破。

参考文献

- 1 韩德民,许时昂. 听力学基础与临床. 北京:科学技术文献出版社,2004
- 2 闫建齐,甄杰,张志勇,等. 歼击机飞行员鼻窦冠状扫描 CT 影像分析. 第四军医大学学报, 2000,21(6):670-672
- 3 Xu X, Zhang Y, Ma X, *et al.* Diagnosis, treatment and medical evaluation of sinusitis and nasal polyp in aircrew. Lin Chung Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi (Chinese). 2009, 23 (5):194-196, 200
- 4 Weitzel EK, McMains KC, Rajapaksa S, *et al.* Aerosinusitis: pathophysiology, prophylaxis, and management in passengers and aircrew. Aviat Space Environ Med. 2008, 79 (1):50-53
- 5 Parsons DS, Chambers DW, Boyd EM. Long-term follow-up of aviators after functional endoscopic sinus surgery for sinusitis barotrauma. Aviat Space Environ Med, 1997, 68 (11):1029-1034
- 6 王勇,徐先荣. 230 例三代歼击机飞行员耳鼻咽喉病谱对比分析. 临床耳鼻咽喉科杂志, 2006,20(1):13-15
- 7 董榕. 生理学. 南京:东南大学出版社,2000
- 8 刘绍武. 五官科疾病诊断与治疗. 天津:天津科技翻译出版公司, 2000
- 9 陈信,袁修干. 人-机-环境系统工程生理学基础. 北京:北京航空航天大学出版社,1995
- 10 谢鼎华,杨伟炎. 耳聋的基础与临床. 长沙:湖南科学技术出版社,2003
- 11 叶发林,王国和,张来虎. 飞行人员乘火车致气压损伤性中耳炎 6 例. 中华航空医学杂志,1997, 8(2):93
- 12 国玉曼,周仁海,毕耀华,等. 波音 737 飞机乘客空中同时发生耳气压损伤 48 例. 中华航空医学杂志,1997, 8(2):126-127
- 13 应乐安. 升降型机电产品舒适性的生理心理学评价方法:电梯乘坐舒适性的生理学与心理学研究. 上海交通大学博士学位论文, 2008
- 14 白艳巧,许平. 飞行员反复中耳气压损伤 41 例分析. 中国误诊学杂志, 2008, 8 (28):6978-6979
- 15 唐明瑞,陈天明,赵越兴,等. 初飞学员耳气压性损伤的调查. 中华航空航天医学杂志, 2005, 16 (4):299-300
- 16 徐先荣. 咽鼓管周围病变与耳气压伤. 听力学及言语疾病杂志, 2008,16(6):443-445
- 17 徐先荣,张扬,金占国,等. 航空性中耳炎的实验研究. 临床耳鼻咽喉科杂志, 2006, 20 (22):1032-1034
- 18 吴家林,郑章清,王先桥,等. 大气压变化对咽鼓管通气阻力的影响及耳气压伤的预防. 中华航空航天医学杂志, 2006, 17(1):18-21
- 19 Mirza S, Richardson H. Otic barotrauma from air travel. J Laryngol Otol, 2005, 119 (5):366-370
- 20 Gutovitz S, Weber K, Kaciuban S, *et al.* Middle ear pressure and symptoms after skydiving. Aviat Space Environ Med,2008, 79 (5):533-536
- 21 Uzun C. Evaluation of prediving parameters related to eustachian tube dysfunction for symptomatic middle ear barotrauma in divers. Otol Neurotol,2005, 26 (1):59-64
- 22 Toklu AS, Shupak A, Yildiz S, *et al.* Aural barotrauma in submarine escape: is mastoid pneumatization of significance?. Laryngoscope, 2005, 115 (7):1305-1309
- 23 Kitahara M, Kodama A, Ozawa H, *et al.* Pressure test in normal subjects. Acta Otolaryngol Suppl. 1994,510:104-106
- 24 白艳巧,许平. 飞行员反复中耳气压损伤 41 例分析. 中国误诊学杂志,2008,8(28):6978-6979
- 25 唐明瑞,陈天明,赵越兴等. 初飞学员耳气压性损伤的调查. 中华航空航天医学杂志,2005,16(4):299-300
- 26 徐先荣. 咽鼓管周围病变与耳气压伤. 听力学及言语疾病杂志, 2008,16(6):443-445
- 27 徐先荣,张扬,金占国等. 航空性中耳炎的实验研究. 临床耳鼻咽喉科杂志,2006,20(22):1032-1034
- 28 吴家林,郑章清,王先桥等. 大气压变化对咽鼓管通气阻力的影响及耳气压伤的预防. 中华航空航天医学杂志,2006,17(1):18-21

(收稿:2009-11-16)

(修回:2009-12-16)