



GADYAYANG
YIXUEJIAOCHENG

高压氧医学教程

王强 刘垒 © 主编



军事医学科学出版社

高压氧医学教程

主 编 王 强 刘 奎
副 主 编 王湘渝 刘本禄
编 者 郑世钢 张香菊 李兴明
 陈 洪 王秀薇

军事医学科学出版社
· 北 京 ·

内 容 提 要

《高压氧医学教程》作为教材吸取了国内外多种版本高压氧医学书籍中的经验与内容,充实了本学科及相关学科发展的新知识。本教材共分两部分,上部分主要介绍了与高压氧相关的基础知识及高压氧治疗的机制、治疗适应证、禁忌证、副作用(并发症)与防治对策以及高压氧舱设备的安全操作与管理;下部分主要介绍了高压氧治疗在临床各科疾病治疗中的应用。本教材主要供医学院校学生使用,亦可作为临床医务人员在工作中的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高压氧医学教程/王强,刘垒主编.
-北京:军事医学科学出版社,2006
ISBN 7-80121-803-5

I. 高… II. ①王… ②刘… III. 高压氧治疗-教材
IV. R459.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 083489 号

出 版:军事医学科学出版社
地 址:北京市海淀区太平路 27 号
邮 编:100850
联系电话:发行部:(010)63801284

63800294

编辑部:(010)66884418;66884402 转 6210,6213,6216

传 真:(010)63801284
网 址:<http://www.mmsp.cn>
印 装:京南印装厂
发 行:新华书店

开 本:787mm×1092mm 1/16
印 张:17
字 数:410 千字
版 次:2006 年 9 月第 1 版
印 次:2006 年 9 月第 1 次
定 价:32.00 元

本社图书凡缺、损、倒、脱页者,本社发行部负责调换

前 言

高压氧医学是一门由潜水医学发展而来的新兴边缘学科,并逐步发展成为一门独立的学科。我国高压氧医学的临床与研究起步较晚,但近年来随着科学技术的飞速发展,我国高压氧医学在临床应用、实验研究及氧舱设备方面得到迅速的发展,由于其独特的疗效及人们对高压氧医学认识的逐步提高,这一新的治疗手段在现代医学中发挥着越来越重要的作用,已成为临床治疗学中的一个重要的组成部分。

我校自 1993 年起,对在校的医学生开展了高压氧医学的教学,取得了良好的教学效果,并积累了一定的高压氧教学经验。为了适应我国高压氧医学事业的发展与满足医学院校高压氧医学的教学需要,我们组织了一些专家在原自编教材的基础上编著了《高压氧医学教程》。本教材共分两部分,上部分主要介绍了与高压氧相关的基础知识及高压氧治疗的机制、治疗适应证、禁忌证、副作用(并发症)与防治对策,下部分主要介绍了高压氧治疗在临床各科疾病治疗中的应用。本教材主要供医学院校学生使用,亦可作为其他专科的医务人员在工作中参考。

本教材的编写过程中,主要参考了高春锦、杨捷云编著的《高压氧医学》,房广才编著的《临床高压氧医学》,Eric P Kindwall、Harry T Whelan 编著(高春锦、郭国明主译)的《Hyperbaric Medicine Practice》等书籍,以及国内外基础研究与临床应用的新进展;同时还得到了第三军医大学及大坪医院领导和专家的支持,并提出了许多宝贵意见,谨在此表示诚挚的谢意。由于时间仓促,水平有限,难免有不妥之处,敬请各位专家和广大读者指正。

编 者

2006 年 3 月

目 录

第一篇 高压氧医学基础

第一章 绪论	(1)
第一节 高压氧医学的概念	(1)
第二节 高压氧医学的任务和内容	(1)
第三节 高压氧医学发展史	(2)
第二章 高压氧医学的物理学基础	(5)
第一节 高压氧医学的物理学基础	(5)
第二节 氮的饱和与脱饱和	(9)
第三章 呼吸生理	(13)
第一节 呼吸气体的交换	(13)
第二节 气体在血液中的运输	(15)
第四章 缺氧与氧气疗法	(17)
第一节 缺氧	(17)
第二节 氧气疗法	(21)
第五章 高压氧治疗的机制及其生理作用	(26)
第一节 高压氧治疗的机制	(26)
第二节 高压氧对机体生理功能的影响	(29)
第三节 高压氧与氧自由基	(32)
第六章 高压氧治疗的适应证与禁忌证	(37)
第一节 高压氧治疗的适应证	(37)
第二节 高压氧治疗的禁忌证	(44)
第七章 高压氧治疗的副作用及其对策	(47)
第一节 氧中毒	(47)
第二节 减压病	(51)
第三节 气栓症	(55)
第四节 气压伤	(57)
第八章 高压氧治疗方案及操作护理技术常规	(60)
第一节 高压氧治疗方案	(60)
第二节 高压氧舱操作规程	(62)
第三节 高压氧治疗的医疗护理与舱内的技术操作	(67)
第九章 医用氧舱安全使用与管理	(73)
第一节 高压氧舱分类及组成结构	(73)

第二节 高压氧治疗的安全管理	(77)
----------------------	------

第二篇 高压氧治疗的临床应用

第十章 高压氧在急症疾病中的应用	(83)
第一节 一氧化碳中毒	(83)
第二节 其他气体中毒	(92)
第三节 毒物中毒	(96)
第四节 休克	(99)
第五节 肺水肿	(103)
第六节 脑水肿	(106)
第七节 脑复苏	(111)
第十一章 高压氧在内科的应用	(116)
第一节 冠状动脉粥样硬化性心脏病	(116)
第二节 心律失常	(119)
第三节 病毒性心肌炎	(122)
第四节 心功能不全	(125)
第五节 支气管哮喘	(127)
第六节 急性呼吸窘迫综合征	(129)
第七节 肺栓塞和肺梗死	(131)
第八节 消化性溃疡	(134)
第九节 溃疡性结肠炎	(136)
第十节 肠梗阻	(138)
第十一节 病毒性肝炎	(140)
第十二节 糖尿病	(143)
第十三节 慢性肾小球肾炎	(146)
第十四节 急性高原病	(148)
第十二章 高压氧在外科的应用	(152)
第一节 颅脑损伤	(152)
第二节 脊髓损伤	(156)
第三节 烧伤	(159)
第四节 冻伤	(162)
第五节 皮肤(瓣)移植	(163)
第六节 慢性溃疡	(165)
第七节 气性坏疽	(167)
第八节 破伤风	(168)
第九节 骨折延迟愈合与不愈合	(170)
第十节 无菌性骨坏死	(171)
第十一节 慢性骨髓炎	(173)

第十二节	断肢(指)再植	(174)
第十三节	挤压综合征	(176)
第十四节	血栓闭塞性脉管炎	(178)
第十五节	运动性疲劳与过度训练	(180)
第十三章	高压氧在神经精神科的应用	(184)
第一节	缺血性脑血管病	(184)
第二节	出血性脑血管病	(187)
第三节	血管性头痛	(189)
第四节	中枢神经系统炎性疾病	(191)
第五节	脑神经与周围神经疾病	(195)
第六节	癫痫	(197)
第七节	多发性硬化症	(199)
第八节	肌肉疾病	(202)
第九节	神经衰弱	(204)
第十节	痴呆	(206)
第十一节	持续性植物状态	(207)
第十四章	高压氧在新生儿及婴、幼儿疾病的应用	(211)
第一节	新生儿及婴、幼儿的高压氧治疗方案和氧舱选择	(211)
第二节	新生儿及婴、幼儿疾病的高压氧治疗	(212)
第十五章	高压氧在妇产科的应用	(229)
第一节	更年期综合征	(229)
第二节	妊娠高血压综合征	(230)
第三节	先兆流产	(232)
第四节	过期妊娠	(233)
第五节	胎儿宫内发育迟缓	(234)
第六节	妊娠合并症	(236)
第十六章	高压氧在五官科的应用	(240)
第一节	高压氧在眼科的应用	(240)
第二节	高压氧在耳鼻喉科的应用	(247)
第三节	高压氧在口腔科的应用	(250)
第十七章	高压氧治疗恶性肿瘤的应用	(256)
第一节	高压氧增强放疗和化疗的疗效	(256)
第二节	放射性损伤	(258)
附录	我国空气潜水减压病加压治疗方案表	(263)

第一篇 高压氧医学基础

第一章 绪 论

第一节 高压氧医学的概念

高压氧治疗(Hyperbaric Oxygenation Therapy, HBOT)是指在超过一个大气压环境内机体吸入氧气而达到治疗目的的一种有效医疗方法。这里指的一个大气压为当地即时大气压,亦称本底大气压,计量单位为 1ATA(Atmosphere Absolute),氧的吸入可为纯氧亦可为混合氧。凡各种因素致使机体组织、器官、细胞缺血缺氧所导致的疾病均可采用高压氧治疗。高压氧医学(Hyperbaric Oxygenation Medicine, HBOM)源于潜水医学,它是一门涉及多学科的边缘学科,其包含基础与临床医学及物理工程学。

第二节 高压氧医学的任务和内容

高压氧医学是从潜水医学发展而来的一门新学科,由于其独特的疗效,而使这一新的治疗手段在现代医学中发挥着越来越重要的作用。随着人们对高压氧医学认识的逐步提高,其临床应用范围日益扩大,治疗的适应证涉及临床内、外、神经、五官、传染、妇、儿等诸科,尤其对某些特殊疾病,如有害气体中毒、气栓症、气性坏疽、减压病等,还有其他疗法所不能达到的独特疗效,已得到医学界同仁及专家的充分肯定,并在一些疾病的治疗中由开始的辅助治疗逐步发展到主要治疗手段,充分证实高压氧医学在临床医学中的不可替代地位。

高压氧医学的任务是运用基础医学和临床医学,以及相关基础理论,不断探索与研究高压氧治疗原理,并应用其作用机制,不断扩大和完善高压氧治疗的各种适应证,慎重掌握其禁忌证,即从基础研究和临床应用着手,促使高压氧医学迅速发展。

高压氧医学作为边缘学科,其研究内容由它的任务所决定,并且涉及到有关学科的基本原

理和方法,其研究内容主要有:高压生理学、病理生理学、组化免疫学、基因;高压氧治疗的机制;高压氧治疗临床的适应证与禁忌证;高压氧医学实验研究;高压氧设备的工程技术学。

第三节 高压氧医学发展史

高压氧治疗是人类在与疾病斗争过程中,通过不断实践,反复认识,才逐步发展起来。随着科学技术的进步,高压氧治疗已成为临床治疗学中的一个重要组成部分。回顾历史,可追溯到340年前,最早是高压治疗,100多年后才发展为高压氧治疗,但真正科学地广泛用于临床也不过50年的历史。

有关高压治疗的记载始于1662年,英国医师 Henshaw 首先使用压缩空气治疗疾病,1775年英国的 Priestley 从氧化汞中提取了氧气,为氧疗和高压氧治疗奠定了基础。1887年德国 Vaelenzulele 首次在2个大气压下用纯氧治疗患者成功,但疗效并不确实,但为高压氧的临床应用起到了一个良好的开端。1928年美国 Cunningham 医生修建了有史以来最大的加压舱,这是一个钢铁的球体,多达六层,直径达19.51 m,但遗憾的是 Cunningham 的一些理论得不到任何科学证据支持,美国医学会和克里夫兰市医学会最终迫使他于1930年关闭了他的高压医院。

高压氧舱在当代临床医学上的科学使用始于 Churchill - Davidson 在1955年所作的工作,他是第一个尝试使用高压氧环境加强癌症患者的放射治疗效果的人。同年,荷兰阿姆斯特丹大学外科教授 Boerema 提出了在心脏手术中使用高压氧以延长患者对循环系统骤停的承受力的建议。Boerema 又于1960年在高压氧条件下将动物血放完后,仍维持正常心跳的成功实验,并发表了《无血生命》的论文引起医学界的轰动。因此,临床高压氧其实只能追溯50年,即从 Churchill - Davison 和 Boerema 所做的工作开始。

Boerema 的高压治疗中心从阿姆斯特丹诞生后很快地发展到欧美各地。在美国、英国、法国和意大利等,不但在基础研究、临床应用方面取得重大成果,而且在高压氧舱设备方面也取得令人瞩目的进展。截至目前仅美国就有500台氧舱在运行,前苏联把折叠式高压氧舱装备到团卫生队。亚洲主要是在中国、日本、中国台湾、新加坡等国开展了此项工作,其发展基本与欧美同步。

由于在心血管手术、气性坏疽和一氧化碳中毒的治疗中满意的效果,1963年在阿姆斯特丹大学外科部的倡导和主持下,召开了首届国际高压氧医学会议,大会主席就是 Boerema 医生。自1963年起先后在荷兰、英国、美国、日本、加拿大、前苏联、澳大利亚、意大利、中国、西班牙等召开了十五届国际高压氧会议,2008年将再度在中国召开第十六届国际高压氧会议。

在历次会议上,报告的论文已明确高压氧对某些疾病具有肯定的疗效,是绝对适应证,是其他疗法难以替代的。每次会议都有专题特色,如高压氧治疗创伤,高压氧在急救医学上的应用等。对一些疾病可作为临床有效的辅助疗法,与其他疗法共同使用,能获得良好的结果。1963年英国 Hutchinson 首次报道高压氧成功抢救出生2分钟后窒息的新生儿,医学界至此揭开高压氧在儿科领域应用的序幕,从此各国高压氧医学专家在此领域开始了摸索与实验研究,至今为止获得了较丰富的经验与成果,从而在临床治疗学上确立了它的地位。

同时,对高压氧治疗作用的基础理论、氧的毒性作用、氧中毒的发病机制及其防治方法,以及在高压氧治疗的设备系统方面,都开展了大量的研究,大大地促进了高压氧治疗工作的开

展,应用范围亦日益扩大。全世界出版了高压医学书刊近 2 万余种,其中一半是近 35 年发行的,世界最大的医学文献数据书库 Medical Index 每年收录高压氧治疗论文期刊 117 ~ 158 种之多,1998 ~ 2002 年国外杂志共收录 592 篇有关高压氧的文章中美国占 36.7%,其次为英国、德国、前苏联、日本、澳大利亚和中国台湾。其中有关创伤后高压氧治疗的文章占 17%,其次是各种脑病、骨病等文章居多,在医学上的应用从实验研究、基础理论、临床应用形成了系统的全面的理论。

我国 20 世纪 50 年代初才开始这方面的研究工作,1954 年海军首建加压舱,1958 年军事医学科学院沈霁春教授设计并建造我国第一台动物实验高压氧舱,1964 年由福建医学院李温仁教授建成我国第一台高压氧手术治疗舱,结合低温在舱内开展了心脏直视手术,取得良好效果,真正科学地用于临床。同时,还进行了对休克、心肌梗死的治疗,积累了不少经验。1965 年李温仁教授在上海“全国心脏外科学术会”上首次发表“高压氧在临床上的应用”文章。并在 1984 年美国洛杉矶第 8 届国际高压氧学术会议上报告了两篇论文(《在高压氧 0.3 MPa 浅低温下阻断循环心内直视手术 30 例》、《在高压氧 0.3 MPa 下体外循环心内直视手术 48 例》),受到与会 30 多个国家 300 多名代表的好评。

20 世纪 70 年代在我国已有许多医、教、研单位先后建造了多种类型的加压舱,大多是多人舱,也有单人舱,还有多台手术加压舱和可供潜水医学研究用的、工作压力较高、容积较大、设备较先进的大型加减压舱。对淹溺、气性坏疽、减压病、肺气压伤、一氧化碳中毒、脑水肿、心肺复苏、脉管炎以及冠心病等利用高压氧进行了救治,取得了不少经验,为我国高压氧临床应用进行了大量的开拓性工作,并开始总结出以抢救大量一氧化碳中毒、突发性耳聋等临床医疗效果的文章和成果。

1980 年,中华医学会上海市分会为了推动高压氧治疗工作,正式成立了国内第一个高压医学学会,并开展全国性学术研讨会和专题研讨会,涌现出不少具有一定水准的文章在国内外期刊发表。1988 年由刘子藩主编首本《高压氧医学》出版,此后,房广才主编的《临床高压氧医学》、高春锦主编的《实用高压氧学》、及且大文主编的《实用高压氧工程与技术》亦相继出版。2000 年后吴钟琪编的《中国高压氧论文集》及高春锦主译的《实用高压氧医学》出版,有力地推动了我国高压氧医学的发展。吴钟琪所编《中国高压氧论文集》基本上代表了我国近 20 年在基础研究和临床治疗上的最高水平,其某些研究和应用在国际本领域是处领先地位的。

1992 年中华医学会高压氧学会正式诞生,由李温仁教授任主任委员,之后每三年一届相继在重庆、庐山、昆明、桂林产生五届中华高压氧医学学会委员会,并且各大省、直辖市医学分会相继成立高压氧专业委员会,全军军事航海医学专业委员会成立了高压氧医学专业组。中华高压氧学会于 1996 年制定了《医用高压氧舱管理与应用规则》,提出了高压氧治疗的适应证与禁忌证。中华医学会高压氧学会每三年举办一次全国性的学术会议。1993 年在我国福州市举办了第十一届国际高压医学会议。1993 年开始创办《高压氧医学杂志》,后合并改版为《中华航海医学与高压医学杂志》。至此,我国出版了有关高压氧基础理论、临床应用、设备管理、高压氧医学教材等专著以及高压氧医学论文汇编等书籍近 40 余部。从 1978 年到 2002 年在国内期刊上共发表 3473 篇文章,但其中基础研究的文章仅占 2%,以各种脑病的治疗的文章占多数,为 33.1%。从发表的文章看,主要存在的问题是基础研究还显不足,仅占 5%。国外投稿文章太少,仅占总文章数的 2%,而中国台湾为 5.7%。文章散杂,很难形成特色和

专题。

1997 年全军第一个高压氧医学中心在北京海军总医院成立,徐光华教授首任中心主任。第三军医大学、湖南湘雅医科大学、沈阳中国医科大学先后开展大专、专升本、本科教学(选修课)。并先后在北京朝阳医院(北医附院)、上海第二军医大学、湖南湘雅医科大学等开展高压氧医学研究生的培养。近年来,由于国内各大专院校的加入,使其学术水平和整体水平逐年提高。从目前国内已发表的论文看,高压氧在机体免疫、自由基损伤、神经无离子通道及微循环和血液流变学均有明显的作用和影响。临床上高压氧对创伤后的组织细胞恢复、心血管疾病的改善、持续性植物状态的恢复,尤其是对婴、幼儿各种因素造成的缺血缺氧性脑病的治疗均取得了丰硕的成绩,涌现出一大批优秀人才和先进的科研成果。近年来,国内还建立了许多高压氧医学网站为高压氧信息交流提供了新的平台。至目前为止,我国已有高压氧舱 5000 余台(套)含婴儿氧舱,治疗疾病达 130 余种,其氧舱数量居世界第一位。

我国的高压氧医学发展并非一帆风顺,由于管理不善,从 1964 ~ 2005 年在临床治疗中总计发生 30 余起氧舱事故,占现有氧舱的 0.6%,在事故中总死亡人数为 53 人,其中纯氧单人舱(含婴儿舱)占总事故的 80% 以上。1995 年以后,国家特别加强了高压氧临床应用的安全管理,中央卫生部在长沙湖南湘雅医科大学成立了高压氧从业人员上岗前培训基地,从而使所有高压氧从业人员均做到持证上岗,并先后在一些省、直辖市成立了高压氧治疗质量控制中心,以确保高压氧的安全治疗,并针对医用高压氧舱制定了《中华人民共和国国家标准和安全操作规程》,发布并执行医用空气加压舱和医用氧气加压舱及医用氧舱用测氧仪的国家标准,规范了医用氧舱的生产和使用,从而使我国的高压氧医学走上了正规、健康的发展轨道。

我国是一个名副其实的高压氧医学大国,希望在中华医学会高压氧学会的指导下,使我国高压氧事业人才辈出,科研工作蓬勃兴旺,临床治疗水平不断提高,与国际高压氧同行一道,为保障人类健康做出更大的贡献。

第二章 高压氧医学的物理学基础

第一节 高压氧医学的物理学基础

在高气压下,机体所接触的是高压空气或高压氧气,高气压环境对机体的生理活动将产生各种不同影响,当这种影响超过一定限度时,可使机体出现病理性改变。对于初次接触高压医学的新手,常常缺乏对气体物理学知识的了解,并混淆一些常用的压力单位,下面就有关高压物理学的基础知识作简要介绍。

一、空气的组成

空气是由多种气体组成的一种混合性气体,其成分比较固定,各种气体所占的比例或浓度大致是:氮气 78.84%,氧气 20.94%,稀有气体 0.94% (包含氦、氖、氩、氪、氙、氡,其化学性质很稳定,一般不参加化学反应),二氧化碳 0.033%,其他气体 0.03% (一氧化碳、氢气等)以及水蒸气,另外空气中还含有不同程度的灰尘和其他杂质,以下介绍几种高压氧医学经常涉及的主要气体。

(一) 氧气

氧气能够助燃,但不能自燃,在通常状态下,氧是一种无色、无臭、无味的气体,能溶于水。常压下,把氧气冷却到 -182.96°C 时,就变成淡蓝色透明而易流动的液态氧。在标准状态下,即 0°C 、1 个绝对大气压下,气态氧的密度是 1.4296 g/L ,比空气略重(空气的密度是 1.293 g/L)。O₂能与多种物质发生化学反应,是一种化学性质比较活泼的气体。O₂是所有气体中最重要的一种,是机体唯一赖以维持生命的气体,没有 O₂人就不能生存。但在高压条件下,人体吸入过量的氧气,就有可能产生毒性作用,即氧中毒。

(二) 氮气

氮气无色、无臭、无味,比空气稍轻(比重为 1.25 g/L)。N₂在水里溶解度很小,其化学性质不活泼,分子结构很稳定,故 N₂被称为惰性气体。在吸入高分压 N₂的时候,它具有一种明显的麻醉作用,表现为判断力和定向力障碍,似醉酒状,故称为氮麻醉。

(三) 二氧化碳

在常态下,它是一种无色、无臭、无味的气体,当 CO₂浓度较高时,它具有一种酸臭味,其密度比空气大,微溶于水。人和动植物体内的碳在氧化产能的同时,产生 CO₂这一副产物,通过呼吸排出体外。人体不能长时间吸入高于 0.10% 的 CO₂气体,否则,会引起意识障碍。对于高气压下的人员,CO₂可促发或加重氧中毒、减压病及氮麻醉的发生。因此,在高压氧治疗过程中,必须经常给高压氧舱内通风换气,以排除 CO₂。

(四) 一氧化碳

是一种无色、无臭、无味的气体,空气中含量甚微,常常是由于物质燃烧不完全产生,是一种毒性气体,吸入人体后严重妨碍血红蛋白的携氧功能,导致机体严重缺氧,甚至死亡。

二、气体基本特性

一切物质都由分子组成,分子之间都存在相互作用,物质有三种状态,即固体、液体和气体。固体物质分子之间的空隙和运动速度最小,液体分子较大,而气体的最大;固体不但有一定的体积,并能保持一定的形状;液体的形状随容器的不同而变化,但有一定的体积;而气体既没有一定的形状,也没有固定的体积,并随着压力的变化,其体积也要发生相应的变化。气体分子的运动状态是无规则的朝各个方向迅速移动、互相碰撞而改变运动方向,这就是气体动理学理论。在压力增加时分子间的距离可以缩小,气体容积变小,由于气体的这种特性,使其具有明显的扩散性和压缩性。若将气体放在容器里,气体即会均匀地占有整个容器的空间,且其容积与压力呈反比。

(一) 气体密度

密度即为每单位体积的质量;或者说单位体积物质的质量。气体由于分子间距大,所以质轻,密度小。在标准条件下(0℃、1ATA)1升气体的重量为标准密度。为便于实际工作,在相同的温度和压强下,将空气的密度定为1,其他气体的密度与空气密度的比值,称为某一气体的相对密度。空气中常见气体密度(表2-1)。

表2-1 空气中常见气体的密度

气体	密度(g/L)	
	标准密度	相对密度
空气	1.30	1.00
氧气	1.46	1.11
氮气	1.26	0.97
二氧化碳	1.97	1.53
氢气	0.09	0.07
一氧化碳	1.00	0.77
氦气	0.18	0.14
氟气	0.90	0.69
氙气	5.88	4.52
氩气	1.79	1.38

气体密度与呼吸阻力密切相关,即气压增大,气体密度增加,呼吸阻力也加大,反之则小。由于氧气的密度比空气密度大,故吸纯氧比吸空气易于疲劳。因而,对于年老体弱及肺功能不全患者如有呼吸疲劳时,可暂吸空气,将会缓解呼吸疲劳,因此,了解各种气体的不同密度及在不同压强下气体密度的变化规律,对于高压氧医学具有重要指导意义。

(二) 气体扩散与溶解

分子不停地进行着无定向的运动,其结果是气体分子从分压高处向分压低处发生转移,直至气体分压趋于相等,这一过程称为气体扩散(也称为弥散)。单位时间内气体扩散的容积为气体扩散速率,机体内的气体交换就是以扩散方式进行的。

气体分子与液体接触时,通过其扩散作用而进入液体中去,即溶入液体中,直至平衡为止,称为气体溶解,其实也是气体的一种弥散。气体溶解于液体与其溶解系数有关,溶解系数指在

一定温度和 1ATA 下,某种气体溶解于 1 ml 某种液体中的毫升数,称为该气体在该种液体中的溶解系数。不同气体溶于同一种液体其溶解系数不同,同一种气体溶于不同液体中,其溶解系数也不同。溶解系数大,表明气体在液体中的溶解量也大。空气中常见气体的溶解系数(表 2-2)。

表 2-2 空气中常见气体的溶解系数

气体	水中溶解系数	油中溶解系数
氧气	0.024	0.120
氮气	0.013	0.067
氢气	0.016	0.045
氦气	0.0085	0.015
氩气	0.026	0.140
二氧化碳	0.560	0.876
氙气	0.085	1.700

溶解度是单位分压下溶解于单位容积的溶液中的气体的量。一般以 1 个大气压,38℃ 时,100 ml 液体中溶解的气体的 ml 数来表示。溶解度与分子量平方根之比为扩散系数,其取决于气体分子本身的特性。气体扩散速率与气体的分压差和溶解度成正比,而与气体分子量的平方根成反比。例如,CO₂在血液中的溶解度约为 O₂的 24 倍,若分压差相同,通过计算 CO₂的扩散速率约为 O₂的 21 倍;而正常肺换气时,在肺泡气与静脉血之间,O₂的分压差约为 CO₂分压差的 10 倍,所以,CO₂扩散速率只比 O₂快约 2 倍。

气体弥散或溶解的速度并非一成不变,而是受各种影响因素而呈现不同变化。影响气体弥散或溶解速度的主要因素有:气体分压、气体分子量或密度及气体的溶解系数。其弥散的速度与气体的分压、溶解系数成正比;与分子量的平方根成反比。

(三) 气体定律

在通常条件下,尤其在低压高温下,气体分子间距离大,分子间相互作用力与分子本身所具有的体积都可忽略,此时可将气体看作理想气体。由于在高压氧医学范畴中,所涉及的治疗压力较低(低于 3ATA),温度较高(绝对温度在 273K 以上),基本符合理想气体标准,这种理想气体遵循以下气体规律。

1. 波义耳定律(Boyle's law) 该定律说明气体的体积同压强之间的关系:当温度不变时,一定质量的气体其体积(V)同它的压强(P)成反比,亦即气体温度不变时,一定质量的气体体积与压强的乘积是一个恒量(常数)。用公式表示即 $P_1 V_1 = P_2 V_2$, P_1 为气体初始压强, V_1 为气体初始体积, P_2 为气体终末压强, V_2 为气体终末体积。 $PV = K$, P 为气体初始压强, V 为气体初始体积, K 为常数。当温度不变的条件下,对气体增加一倍的压力,其体积会缩小一半,增加三倍压力,体积则为加压前的 1/3。对于气泡导致的疾病,如气栓症、潜水病,依据此定律,通过再加压可达到消除气泡的治疗目的。

2. 查理定律(Charle's law) 该定律说明气体的压强同温度的关系:当体积不变时,一定质量的气体其压强与绝对温度成正比。或者说,体积不变时,一定质量的气体的温度每升高 1℃ 时,其压强的增加等于它在 0℃ 时压强的 1/273。用方程式表达即: $P_t = P_0(1 + t/273)$ 。在氧舱加减压过程中,由于其体积不变,加压时舱温会升高,减压时舱温会下降。

3. 盖-吕萨克定律(Gay—Lussac's law) 理想气体在常压下,体积与绝对温度成正比,该定律说明气体的体积同温度的关系,准确的表述为:在气体的压强不变时,一定质量气体的体积在温度每升高 1°C 时,就增加其 0°C 时体积的 $1/273$,亦即体积与绝对温度成正比。用方程式表达即: $V/T = \text{常数}$,或 $V_1/T_1 = V_2/T_2$ 。

4. 道尔顿定律(Dalton's law) 多种互相不起化学作用的气体混合在一起组成混合气体,通过各种气体的分子运动而能均匀地混合起来,这种混合气体所产生的压强是各种气体压强的总和,故称为“总压”,而组成混合气体的各种气体自身所产生的各自压强,即称为“分压”。当温度不变时,混合气体的总压等于各组成气体的分压之和。或者说,一种混合气体产生的总压强,等于组成该混合气体的每种气体单独存在并占据整个容积时所产生的压强之和,这就是道尔顿定律,也称为混合气体的分压定律。

某种气体的分压值大小与它在混合气中所占的百分比成正比关系。例如,空气中 O_2 占 20.96%, N_2 占 78.84%,而 CO_2 只占 0.04%。在标准状态下大气总压力为 101.3 kPa(760 mmHg),故空气中氧分压 = $101.3 \times 20.96\% = 21.2 \text{ kPa}$ (159 mmHg),氮分压 = $760 \text{ mmHg} \times 78.84\% = 599.1 \text{ mmHg}$ (79.1 kPa),二氧化碳分压 = $101.3 \times 0.04\% = 0.04 \text{ kPa}$ (0.3 mmHg)。

溶解于液体中的气体向外扩散(返回气态环境)的力称为张力。例如在一定分压下溶解于液体内的 O_2 分子存在从液体内向外出力的力,即为氧张力,或者说,在一定分压下溶解于液体内的氧分压。总之,分压或张力都是气体在空气(或混合气中)或液体中由于分子运动所产生的压强。

5. 亨利定律(Henry's law) 亨利定律表述为当在一定的温度下,气体溶解达到平衡时,气体在液体中的溶解度和气相中该气体的分压成正比。依道尔顿定律及此定律,当增加环境气压时,溶解于液体中的某一气体的量与该气体的分压也增加,如在 2 大气压下呼吸高压空气,此时氮气与氧气的分压力皆增加 2 倍,溶解于人体组织的氮气与氧气量便会增加 2 倍。反之,当从高压环境下减压,气体分压随之降低,溶解于液体中气体的随之释出,其溶解量减少。

三、常用的气体物理量

(一) 质量

即气体的重量,通常以国际公制单位毫克(mg)、克(g)、千克(kg)、吨(t)来表示。

(二) 温度

气体温度是气体分子热运动产生的,温度单位常用摄氏($^{\circ}\text{C}$)表示,物理学上常用绝对温度(K)表示,绝对温度是以 -273°C 作为零度,摄氏温度与绝对温度的关系是 $T = t + 273$ 。

(三) 体积

常以立方毫米(mm^3)、立方厘米(cm^3)、立方米(m^3)、毫升(ml)、升(L)表示。

(四) 压力与压强

由于地球引力而使包围着地球的气体对其表面施加一种外力(或产生重力),即压力,故在地球表面的一切物质都受大气压压力的作用,这种压力称为大气压。大气压系大气中各种气体的重力所形成,它作用于大气中的所有物体上。大气压作用于任何一点上的各个方向,由于它向各个方向的作用力都相等,因此,这些作用力通常相互抵消,单位面积上所承受的大气重量叫大气压强,简称气压。通常情况下,大气压力用单位面积上所受到的力表示。

作用于单位面积的力,称为压强,用数学公式表示:压强 = 力/面积或 $P = F/S$,气压的单位

通常用 kg/cm^2 、 mmHg 高度或 kPa 表示。

最初规定在摄氏温度 0°C 、纬度 45° 、晴天时海平面上的大气压强为标准大气压,其值大约相当于 76 cmHg 高。后来发现,在这个条件下的大气压强值并不稳定,它受风力、温度等条件的影响而变化,并且发现 76 cmHg 高的压强值也是不稳定的,汞的密度大小受温度的影响而发生变化;为了确保标准大气压是一个定值,1954 年第十届国际计量大会决议声明,规定标准大气压值为 1 标准大气压 = $101325\text{ 牛顿}/\text{米}^2$,但通常情况下还是以 1 标准大气压为 760 mmHg 计算。我们知道,水银比重为 $13.6\text{ g}/\text{cm}^3$, 760 mmHg 时的水银柱压力是: $13.6 \times 760 = 1.0336(\text{kg})/\text{cm}^2$ 。为了计算方便,通常以 $1\text{ kg}/\text{cm}^2$ 为 1 个大气压,1 个大气压又称为常压。

单位面积上所承受的实际压力,或所施加的总压力称为绝对大气压(或绝对压),以 ATA (atmosphere absolut) 来表示。绝对压是当地大气压与人工附加压之和,即:绝对压 = 常压 + 附加压(表压、相对压)。不论理论上和实际应用中,高压氧治疗压力都以绝对大气压(ATA)来表示。

(五) 气压计量单位与换算

在高气压物理学中,运用最多的是压力或压强单位,这也是最复杂、最重要的计量单位。因此,我们应该正确理解压强(压力)单位的意义及其换算方法。

常用的压力及其等值换算如下:

$$1\text{ ATA} = 760\text{ mmHg} = 101.3\text{ kPa} = 0.1013\text{ MPa} = 1.0336\text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$1\text{ mmH}_2\text{O} = 9.80065\text{ Pa}$$

$$1\text{ kg}/\text{cm}^2 = 98.0665\text{ kPa} = 763\text{ mmHg} = 10.336\text{ mH}_2\text{O}$$

$$1\text{ mmHg} = 0.133\text{ kPa}$$

其中 ATA = 绝对大气, Hg = 汞柱, H_2O = 水柱, Pa (Pascal) = 帕(帕斯卡)

进位倍数词头: m = 毫 k = 千 M = 兆

以上压力单位之间的等值仅是相近数,故仅作为参考使用。但是,除特殊科研或实验外,这些单位的精确度是完全足够了。为了方便应用与计算,我们只要掌握以下几个最常用的压力单位,并取其近似值,对于常规工作便足够用,所以拟近似等式是:

$$1\text{ ATA} = 1\text{ kg}/\text{cm}^2 = 760\text{ mmHg} = 10000\text{ mmH}_2\text{O} = 100\text{ kPa} = 0.1\text{ MPa} = \text{常压}$$

第二节 氮的饱和与脱饱和

惰性气体在化学上是指分子由单原子构成的,最外电子层都有八个电子(氦是二个),具有稳定的结构和化学性质,包括氦(He)、氖(Ne)、氩(Ar)、氪(Kr)、氙(Xe)、氡(Rn),通常不与其他元素和化合物发生反应。而高压氧医学范畴中所谓的“惰性气体”是指仅以物理方式溶解于血液及组织中,不能被机体组织利用的气体。空气中的 78.1% 是氮气,由于氮气不能被组织利用,因此机体本身没有调节氮气含量的系统,仅靠外界压力的高低进行调节,氮气属于惰性气体,空气中还有氢、氦、氖、氩、氪、氙、氡等都是高气压医学范畴中的惰性气体。

一、氮的饱和与饱和过程

机体暴露于高压空气时,溶于体内的氮相应增加,直到体内氮张力与外界氮分压平衡才停止,这一平衡状态称为氮的完全饱和,这一过程称为氮的饱和过程。如果组织中氮张力与外界

氮分压未达到平衡时称为部分饱和,若组织中氮张力达外界氮分压的 50% 时称为半饱和。

氮的饱和过程是通过呼吸和循环系统完成的。当环境压力逐渐增加时,肺泡内氮分压也随着升高,由于肺泡中的氮分压高于血液,故氮气通过肺毛细血管向血液中弥散,并逐渐达到饱和。当饱和了氮气的血液流经组织时,血液的氮分压高于组织,便向组织弥散,直至双方平衡为止,完成了氮在组织中的完全饱和过程。

在高气压医学中,通常把氮气在机体组织内达到 50% 饱和(即半饱和)所需的时间称为半饱和时间,为方便计算氮饱和时间与饱和度,通常把一个半饱和时间作为一个假定时间单位。从理论上计算,组织氮饱和永远达不到 100% 的饱和,我们把饱和度 98.437% 作为完全饱和,通过推算经过 6 个假定时间单位时间,氮饱和度可达到 98.437%,完成饱和过程。

不同的组织,其半饱和时间各不相同。何尔登(Haldance)根据其空气潜水实验研究,按机体各组织在高气压下氮达到半饱和度所需的时间不同,把整个机体组织分为五类,这种分类某种程度上是一种假设性的,故称为“理论组织”,这五类“理论组织”具体的分类、半饱和时间、饱和时间(表 2-3)。

表 2-3 各理论组织氮半饱和、饱和时间表

组织类型	半饱和时间	饱和时间	组织
		(半饱和时间 × 6)	
第一类理论组织, I 组织	5 min	30 min	血液、淋巴
第二类理论组织, II 组织	10 min	60 min	神经系统灰质、腺体
第三类理论组织, III 组织	20 min	120 min	肌肉
第四类理论组织, IV 组织	40 min	240 min	神经系统蛋白质、脂肪
第五类理论组织, V 组织	75 min	450 min	肌腱、韧带

二、氮的脱饱和与脱饱和过程

机体在高压空气下停留一定时间以后,回到较低气压或常压时,此时就会出现体内的氮张力高于外界氮分压的现象,也就是说出现了一定的内高外低的情性气体压差。由于压差梯度的存在,气体分子必定从体内向体外扩散,直至平衡。情性气体按压差梯度从体内向体外扩散直到平衡的过程,称为情性气体在体内的脱饱和(desaturation)。氮的脱饱和过程与饱和过程相同,只是方向相反。即当环境压力逐渐降低时,肺泡内氮分压也随着降低,由于血液与肺泡的氮分压差,氮气通过肺毛细血管向肺泡中弥散,当氮分压降低的血液流经组织时,组织中的氮分压高于血液,便向血液中弥散,直至与周围环境平衡,即完成整体的脱饱和过程。脱饱和过程比饱和过程要复杂些,脱饱和也有它的规律性,与饱和过程相比,有些规律相同,而另有些则不同。脱饱和与饱和具有以下共同的规律和特点:

1. 脱饱和与饱和速度相同,饱和速度快的组织,脱饱和也快。
2. 组织的脱饱和与饱和时间相同,完成 50% 的脱饱和需 1 个假定时间单位,完成 98.437% 的完全脱饱和,需 6 个假定时间单位。

三、影响体内氮饱和及脱饱和的因素

氮的脱饱和过程与饱和过程相同,只是方向相反,因而影响体内氮饱和及脱饱和的因素也