

高压氧培训班 讲义

卫生部医政司医用高压氧培训中心

序 言

高压氧医学是人类与疾病作斗争的过程中发展起来的一门新兴学科。近几年来,我国高压氧医学发展迅速,目前全国高压氧舱已超过 1800 台,从事高压氧专业人员及有关技术人员达 5000 余人,在人民的医疗保健事业中发挥了重要的作用。

但是,由于存在着设备质量,专业技术水平,人员素质管理制度不健全等问题,因而安全事故时有发生,给人民生命财产造成损失,也给高压氧事业带来不良影响,有碍我国高压氧医学的发展,这一情况已引起国务院和有关部委的高度重视。卫生部明文规定“今后高压氧从业人员, 必须经过培训, 由卫生部发证,持证上岗”。并批准在湖南医科大学建立《卫生部医政司医用高压氧岗位培训中心》,承担全国高压氧岗前培训任务。为此,我们编写了本教材,希望为高压氧专业人员提供较为规范的培训资料。由于编写时间十分仓促,而我们水平有限,错误和不足之处在所难免,敬希读者提出宝贵意见,以供今后进一步补充和修正。

编 者

一九九六年四月

目 录

第一讲 高压氧医学基础	1-103
高压氧医学的发展史	
高气压物理学	
惰性气体在体内的饱和、脱饱和及过饱和	
高压氧治疗的基础理论	
高压氧对机体的生理影响	
高压氧治疗的适应证、禁忌证和急症处理	
高压氧的副作用	
第二讲 高压氧医学展望	104-124
高压氧医学进展	
我国高压氧医学发展的历史、现状与对策	
高压氧疗法的不安全因素及预防	
第三讲 高压氧设备	125-146
高压氧设备的结构、管理及维修保养	
医用多人氧舱修理、改造安全技术要求	
第四讲 高压氧在内科疾病中的应用	147-162
一氧化碳中毒	
冠心病	
支气管哮喘	
消化性溃疡	
慢性肾小球肾炎	
第五讲 高压氧在妇儿科疾病中的应用	163-169
妊高症	
先兆流产	
过期妊娠	
更年期综合征	
新生儿窒息	
脑性瘫痪	
第六讲 高压氧在外科疾病中的应用	170-188
一、外科感染性疾病	
气性坏疽	
破伤风	

二、周围血管病

血栓闭塞性脉管炎

动脉栓塞

血栓性静脉炎

三、整形外科

烧伤

皮肤移植

四、骨与肌肉损伤性疾病

挤压综合征

骨折延迟愈合和不愈合

无菌性骨坏死

慢性骨髓炎

断肢(指趾)再植术后

第七讲 高压氧在神经系统疾病中的应用189-210

急性脑缺氧、脑水肿

颅脑外伤

脑血管病

病毒性脑炎

多发性硬化症

老年期痴呆

血管性痴呆

感染中毒性脑病

第八讲 高压氧在眼科疾病中的应用211-215

视网膜血管阻塞

中心性浆液性视网膜、脉络膜炎

其他眼科疾病

第九讲 高压氧在耳聋疾病中的应用216-225

第十讲 高压氧 肿瘤226-232

第十一讲 医用氧舱的安全管理及规章制度233-250

氧舱技术人员职责

氧舱安全使用总则

氧舱操作规程

氧舱应急情况处理规则

氧舱各部门管理规则

规章制度

高压氧舱安全管理措施

病人须知

操舱人员职责

高压氧消毒隔离制度

高压氧科主任职责

高压氧医师职责

高压氧护士长职责

高压氧护士职责

【附】：高压氧治疗护理常规

【附件】：一、中央有关部局关于高压氧舱有关文件

1、卫生部关于对“关于请求在我校建立‘卫生部高压氧岗前培训中心’报告”的批示

2、劳动部、卫生部、公安部、国家医药管理局文件

关于发送《医用氧舱安全工作协商会纪要》的通知

【附】：医用氧舱安全工作协商会纪要

3、劳动部、卫生部关于加强对医用氧舱使用管理有关意见的通知

二、中华人民共和国国家标准 GB12130

医用高压氧舱(报批稿)

第一讲 高压氧医学基础

高压氧医学的发展简史

高压氧医学作为一种有效的治疗手段，已发展成为现代医学的一部分；高压氧疗法的一种新的治疗手段，在现代医学中起着重要作用。

高压氧医学与其他医学科学一样，是人类与疾病作斗争的过程中，不断实践，反复认识，而逐步发展起来的一门科学。高压氧医学的发展有二个历史阶段：一是应用于潜水医学，即应用高气压的潜水和潜涵技术，以及治疗减压病的再加压法技术发展的基础上而发展起来的；另一个是1662年英国生理学家Henshaw开创了最早的高气压治疗。

当时，Henshaw使用一个气密圆顶住室作为高气压舱，用风琴式风箱作为鼓风机，向舱内充气加压。据说能起到促进食欲，改善呼吸，并能防治某些肺部疾病的作用。18世纪30年代，法国兴起了“压缩空气浴”吸引了不少人前去治疗。

1775年，英国的Priestley从氧化汞提取了氧，并发现氧不燃烧，但可使熄灭的蜡烛及木片复燃。次年，在给鼠吸氧时发现氧能治疗某些疾病。1777年，法国人Lavoisier指出，空气中有“可呼吸的气体”和“不可呼吸的气体”，其比例约为1:4。据希腊语“可生酸”的意义，取名为Oxygen。从此，人们逐渐认识了氧在生命活动中的重要意义，氧是高压氧治疗的物质基础。

19世纪初叶，气体物理学中的几项重要定律(Henry定律、Dalton定律等)被发现以后，为高压氧的临床应用提供了理论基础，19世纪中叶，欧洲在短时间内建立了许多高压氧治疗中心，开始了在高压舱内进行外科手术的试探性工作，同时还开创了用再加压的方法治疗潜水减压病。1834年，法国的Junod在直径1.5m铜制装置内加到2~4个气压。他说由于心脏血流增加，脑血流改善有舒适感，尤其对肺部疾患，疗效良好。1837年，Pravaz在里昂制造了能容纳12人治疗的大型舱室，认为高气压能治疗以下疾患：支气管扩张、肺结核、毛细血管出血、耳聋、霍乱、胸廓异常、佝偻病、子宫异常出血、急性结膜炎、慢性咽炎、气管炎、百日咳。Bertin于1855年概述了高压氧舱的历史和临床应用，认为高低压并用的波动加减压有疗效。另外，他于1862年在高气压治疗中并用了氧气。1860——1885年，高气压治疗相继开展，普及到整个欧洲。1860年，加拿大奥沙瓦建成北美第一座供治疗用的高压舱。1879年，Fontaine首先在高压舱内做手术，并在舱内同时吸氧，认为有苏醒早，不发生紫绀和窒息等优点。1867年，Valenzuela第一次成功地在2个绝对大气压下用纯氧治疗疾病，为高压氧的临床应用作出了良好的开端。

1921年，美国的Cunningham建造了直径3m，长25m的大舱，开始利用空气中高分压氧来克服病人缺氧状态。当时正逢西班牙流感袭击美国，他发现海拔较高的地区死亡率

较高，认为气压是一个有关因素，而应用高压氧治疗伴有紫绀和昏迷的病人，取得明显疗效。但在一天晚上，由于空气压缩机故障不能加压治疗，所有病人都死亡。这便是高压氧疗效的有力反证。1928年，美国建立了“大厦式”加压舱，舱内分五层楼，设有病房60间，广泛用于治疗各种疾病。然而，后来因为流于过滥而得不到广泛信赖和支持。

随着高压氧的应用，也不可避免的发生了一些危险和并发症。1670年，Hooke报告了在减压时引进耳痛的例子。1876年，Paul Bert观察到氧中毒引起的呼吸障碍和痉挛，以及高压下出现氮麻醉等现象。1934年，Behnke认为在 ± 4 个大气压下吸氧，可出现以神经系统为主的症状，如痉挛、晕厥、运动失调、注意力不集中等，作为医师的Fontaine由于高压装置事故而以身殉职。

多次经验教训使高压氧治疗有了新的认识和发展。两次世界大战和战后，积累了不少经验，以及医学上存在治疗一些缺氧性疾病和心脏外科直视手术的实际需要，使高压氧结合最新技术成就而被进一步应用于临床医学。1950年，Paek等报告高压氧治疗CO中毒和厌氧菌感染取得了极好的效果。1952年，Cross和Wangensteen报告了实验性肠梗阻的效果。1955年，Chufchill—Davidson应用高压氧配合放疗对恶性肿瘤取得良好疗效。1956年，荷兰人Boerema首次将高压氧应用于胸外科，在3个大气压下，病人吸纯氧进行心脏直视手术取得成功；这些成就在通常情况下不可能获得，证明了高压氧在某些方面具有极大的优越性。因此，高压氧得到了世界科学界，特别是医学界的重视、研究和创新。然而，给高压氧带来再认识最大功绩的是Boerema。于1960年发表论文报告“无血生命”(Life without blood)，他将血液放尽再注等量液体的豚鼠置于3个大气压下吸纯氧，几乎是无血球状态(Hb 0.4%)的动物却安然生存了15分钟，实验后动物仍然富有活力，而对照组动物却很快死亡。这一实验的理论基础是，1895年Haldane提出，根据Henry定律，在高压氧下溶入血浆中的氧能够达到Hb提供组织所需要的氧。1962年，英国等学者报告高压氧对四肢创伤、末梢循环障碍、冠脉闭塞、脑血管闭塞、心搏骤停、CO中毒、巴比妥类中毒均取得了实验性临床效果。此后，欧洲、美国、日本等又兴建了不少高压氧治疗设备。自1963年以来，先后在荷兰、英国、美国、日本、加拿大、前苏联和澳大利亚等国召开了十次国际高压氧医学会议。会上报告了各种实验研究和临床应用情况，每次会议都编印了会刊资料。其中，第8至10届会议有我国专家的论文被录用，并派代表参加了会议。

1993年9月，在我国福州召开了第十一届国际高压氧医学会议。

日本在高压氧应用方面虽比欧洲起步稍晚，但近几十年来发展迅速，已跃居世界先进行列，日本从大正时代开始用再加压方法治疗减压病，与当时欧美对高压氧治疗再认识相呼应，临床效果引人注目。此后，高压氧的临床应用及基础研究在全日本蓬勃开展。例如，1956年斋藤用于治疗脑卒中后遗症，1965年和田用于CO中毒用大面积烧伤的治疗；1968年成所治疗末梢循环障碍性疾病；同年，岩在高压氧下进行心脏手术，并研究了循环动态影响；1967年，森研究恶性肿瘤的治疗；1968年，日比用于难治性溃疡，等等，均取得良好效果。1967年，在东京召开了第一届日本高气压环境医学会议。1969年，在

札幌召开了第4届国际高压氧会议。日本和欧美各国都已制订了统一的高压氧治疗适应症, 治疗方法及副作用等一系列规定。1990年以来日本和世界其他国家一样, 高压氧治疗舱室都有不断新建, 逐渐增多的趋势。1966年11月, 成立了日本高气压环境医学研究会, 1968年改称日本高气压环境医学会(Japanese Society of Hyperbaric Medicine, JSHM)。日本早期的工作主要是进行潜水作业和高气压作业中的减压病预防和治疗。随着专业技术的不断发展, 不少心胸外科、麻醉科、内科及耳鼻喉科的医师们相继参加到学会的学术活动中来。1990年, 举行了高气压医学会创立25周年活动, 会员逐渐增多。由于当初经验不足, 曾发生过两起火灾亡人事故, 一时受到社会舆论指责, 新闻媒介也大肆攻击。1969年, JSHM的“安全对策委员会”制订了《高压氧治疗的安全标准》。后来, 由于对一些难以治疗的顽固性疾患如视神经病变, 以用一氧化碳中毒和烧伤经高压氧治疗获得满意效果, 从而使高压氧治疗受到极大关注, 认为高压氧是灾害医学中的治疗新方法, 并提出各地职业病医院必备氧舱, 以利急救。至今, 全日本已有300余台氧舱投入使用, 舱体设备也在不断改进。此外, 自70年代以来, 日本先后成立的国防医学院、职业和环境卫生大学、环境医学研究所、以及日本海洋科学技术中心等单位都分别设有潜水医学、潜艇医学、高气压医学的教学研究机构。广泛开展高气压医学专业的医疗、教学、科研工作。

美国在30年代, 其海军在治疗潜水减压病和研究加快减压速度等方面就已开始研究高压氧的作用。在确定了高压氧使用的压力时程即剂量的基础上, 才真正开始广泛研究高压治疗的各个方面的基础理论。到50年代至60年代, 在机体对氧的耐受能力方面, 进行了大量的研究工作。美国很早就成立了水下医学会(Undersea Medical Society, UMS), 其成员主要是从海军退休或正在从事潜水、高气压医学的专业人员。UMS于1975年10月在旧金山加州大学组织举行了一次有关高压氧治疗的学术讨论会, 出版了由Davis等主编的第一本教科书《高压氧治疗》, 对国际高压氧医学的进展起到了一定的促进作用。随着高压氧医学的发展, UMS执委会1976年11月决定, 在学会内成立一个“高压氧委员会”, 并聘请了18名来自军队和大学中心的潜水医学、高气压医学专家来负责这方面的工作。1977年5月发表了第一份工作报告, 澄清了有关高压氧治疗适应症的争论, 以后在1979、1983、1986年又相继发表了委员会工作报告, 明确指出, 减压病、急性气栓症、一氧化碳中毒、烟雾中毒、挤压伤、外伤性缺血、失血后贫血、气性坏疽、坏死软组织感染、顽固性骨髓炎、组织放射性坏死、烧伤、植皮和皮瓣术后、伤口不愈等, 高压氧是主要首选治疗措施, 对于其他疾患则是辅助治疗措施。UMS还成立了情报信息中心, 至1986年止, 已积累了2000余篇关于高压氧治疗的文献及4800篇关于氧中毒的研究资料。此外, UMS还通过出版《水下生物医学研究》杂志及《高压氧评论》杂志来传播高气压医学领域的科技信息。1986年6月, 《高压氧评论》又发展成为《高气压医学杂志》, 1994年, 该杂志又改为《水下与高气压医学》杂志(Undersea and Hyperbaric Medicine), 文章形式有原著、书评、临床经验交流、病例报告、论文摘要、实验报告及综述等, 主要介绍潜水生理、潜水医学、高压氧医学的实验研究和临床应用等, 很有

参考价值。UMS现已改名为水下及高气压医学会(UHMS)。为了促进高压氧医学的发展,该组织经常在一些大医院举办专业培训班,每次国际专业学术会议后,都负责组织出版会议录,刊登会议交流的论文。

我国高压氧医学起步较晚,但总的发展十分迅速。解放前,上海打捞局设有为潜水员防治减压病的高压舱。我海军医学研究所于1954年建成了加压舱,在国内首先开展了用高压氧治疗减压病、肺气压伤以及缺氧症。60年代初又曾应用高压氧对气性坏疽、脉管炎、脑水肿及溺水等病症进行治疗,为我国高压氧的临床应用作出了良好开端;此外,还培训了不少高压氧医学的专业人员。1958年,军事医学科学院沈霁春教授领导设计建造我国第一台动物实验舱,随后于1960年在北京又建成第一台20个大气压的供人试验及模拟潜水的大型加压舱。1964年,福建省福建医学院附属协和医院院长李温仁教授建成了我国第一台高压氧手术治疗舱,开展了高压氧结合低温进行房缺、室缺修补术,以及在高压氧下进行体外循环心内直视手术,取得了良好效果。1965年,李教授在上海召开的全国心脏外科会议上作了“高压氧的临床应用”的报告,受到医学界的重视。1984年,他教授出席了在美国洛杉矶召开的第8届国际高压氧医学会议,在会议上报告了两篇关于高压氧下进行心内直视手术的论文,得到了与会代表的好评。继之,我国上海、杭州、南京、北京、广州、沈阳、天津、大连、青岛、青海及西藏等地都先后建成了各种类型的氧舱,以供抢救、治疗、手术和科研应用。

目前,全国拥有大、中、小高压氧舱逾1800台,居世界第一位,可谓“氧舱大国”;高压氧医学专业人员,包括医生、护士及技术人员共约5000人。

高压氧在临床应用的范围日益扩大,已逐渐成为涉及内、外、神经、五官、传染、妇、儿等科多种病症的防治方法。尤其对某些特殊病症显示出令人满意的作用。自1973年以来,先后在杭州、广州、青岛、福州和郑州、重庆等地召开了八次全国高压氧医学会议,其中第五次会议还邀请了美国、西德、日本、澳大利亚等国20多名代表参加经验交流,为我国与外国高压氧医学学术交流起到了积极作用。

1992年,在兰州召开的第七届全国高压氧医学会议上,正式成立了我国高压氧医学会。北京、上海、山西、河北等省市还成立了高压氧分会。1995年,在重庆召开了第八届全国高压氧医学会议。这将更有利于指导和推动我国高压氧医学事业的进一步发展。

目前,高压氧医学在临床上的应用和研究尚处于发展阶段,还需要在临床实践上,尤其是基础理论上进一步深入、细致、广泛地加以探索和研究,以及加强横向联系,搞好协作,使高压氧医学在临床和科研方面有所发现,有所创新,有所前进,为人类卫生事业作出更大贡献。

(房广才)

高 气 压 物 理 学

在高气压环境下，机体所接触的是高压空气或高压氧气。高气压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。因此，对于从事高压氧医学人员来说，必须学习并掌握有关高气压物理学的基础知识，并能在实际工作中善于应用之，以便充分发挥高压氧医学的有利作用，避免或减少其不良影响。

一、高气压所涉及的气体

大气中存在的气体种类较多，各种气体相混合，组成空气，可以说空气是气体成分比较固定的混合气体。在高压氧治疗及潜水作业中，常根据实际需要组成特殊的混合气体。空气的组成大致是，氮气占78.084%，氧气占20.946%，氩气0.934%，其他稀有气体（氦、氖、氦、氙、等）占0.003%，还有二氧化碳占0.033%，以及水蒸汽、灰尘和其他杂质。以下对各种气体分别作一介绍。

氧气（分子式 O_2 ，分子量31.9998，原子序数8）：

氧气作为元素是地壳中含量丰富的物质，几乎占地壳总质量的一半，约占水总质量的89%，在空气中占20.946%。氧气能够助燃，但不能自燃。在通常状态下，氧气是一种无色、无臭、无味的气体，能溶于水。在标准状态下，即 $0^{\circ}C$ 、1个绝对大气压(ATA)，氧气的密度是1.429g/L，比空气略重（空气的密度是1.293g/L）。在常压(1ATA)条件下，氧气在 $-183^{\circ}C$ 时变为淡蓝色的液体，在 $-218.4^{\circ}C$ 时变成雪花状的淡蓝色固体。氧气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。氧气是所有气体中最重要的一种，是机体唯一用以维持生命的气体，没有氧气，人不能生存。人体从大气中吸入的其他气体或潜水员从混合气中吸入的其他气体，均作为氧气的“载体”或稀释剂。纯氧(100%)不仅供缺氧病人吸用，也供高压氧治疗时应用。但在高压条件下，人体吸入过浓或过量的氧气，就有可能产生毒害作用，即氧中毒。

氮气（分子式 N_2 ，分子量28.0134，原子序数7）：

氮气为无色、无臭、无味的气体，比空气稍轻（比重为1.25g/L）。氮气在1ATA、 $-195.8^{\circ}C$ 时变成无色液体， $-203.86^{\circ}C$ 时为雪状固体。氮气在水里溶解度很小。其化学性质不活泼，分子结构很稳定，其键能很大，故氮气被称为惰性气体。氮气也是一种重要的元素，它是所有生物的组成成分。但与氧气不同，它不能助燃，也不能维持生命。在潜水员使用的混合气中，氮气常用作氧气的稀释剂，以免产生氧中毒。但与其他某些气体相比，氮气却有许多缺点，如在吸入高分压氧气的时候，它具有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。

二氧化碳（分子式 CO_2 ，分子量44.0103）：

二氧化碳大气中约占0.03%（体积），在常态下，它是一种无色、无臭、无味的气体。当二氧化碳浓度较高时，它具有有一种酸臭味。其密度比空气大，为1.977g/L，微溶于水，易液化，也易固化。在常温下压强增至60kgf/cm²时（约为6MPa），二氧化碳可变成无色液体。经过压缩后的固态二氧化碳称为“干冰”，是一种良好的致冷剂，可产生 $-78^{\circ}C$ 的低温。二氧化碳是各种自然过程如动物代谢、燃烧和发酵的产物。人和动物体内碳的

氧化产能的同时，产生二氧化碳这一副产，通过呼吸排出体外。二氧化碳是一种化学性质活泼的气体，可用作面团发酵，使其膨胀，人们所见的苏打水、香槟酒、汽水及啤酒中的气泡，就是二氧化碳。尽管人们通常认为二氧化碳是无毒的，但当其过多或浓度过高，就会产生毒害作用。人体不得长时吸入高于0.10%的二氧化碳混合气体。否则，对潜水员的威胁可引起意识障碍，对于其他高压下人员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须经常向高压氧舱内通风换气就是这个原因。

一氧化碳(分子式CO, 分子量28.0106)

空气中一氧化碳的含量甚微，只有0.04ppm，是一种无色、无臭、无味的气体，故难以测出。其密度为1.25g/L，比空气轻。常压下-192℃时变成液体，-199℃时凝成固体。一氧化碳是碳氧化物燃烧不完全时的产物，是一种毒性气体，化学性质活泼，经呼吸道吸入人体后，能严重妨碍血液携带氧气的功能，以及对组织细胞的直接毒害作用，导致机体严重缺氧，对生命产生很大威胁。

氦气(分子式He, 分子量4.0026, 原子序数2):

氦气是一种惰性气体，无色、无臭、无味、氦在游离状态下是以单原子存在的。氦气不溶于水。氦气是一种稀有元素，在空气中含量极少(约1/200000)。希腊语Helios意即“太阳”，1868年对太阳进行光谱分析是首次发现氦气，后来将词头两字母定为氦气分子式He。由于氦气比空气轻得多，约为空气重量的1/7，所以20世纪初曾经用来充气球和气艇。在已知的所有物质中，氦气的沸点最低，为-286.9℃。在深潜水时，为防止产生氮麻醉，而改用氮氧混合气，以氦气作为氧的稀释剂。但氦气也有其特殊的缺点，如氦气环境中的语音失真(“氦气性语音”，声音似鸭子叫，亦称杜纳德·达克效应)，由氦气独特的声学特性所致，它会影响深潜水时的语音通讯。此外，氦气有很高的导热性，在氦气环境中迅速使热和呼吸散失。

氢气(分子式H₂, 分子量2.01594, 原子序数1):

氢气是一种无色、无臭、无味的气体，由两个原子结合而成，其化学特性非常活泼，以至于在地球上很少有游离状态的氢。氢是最轻的一种元素，广泛应用于气球和航空器中，在潜水技术中，曾用氢气来代替氮气和氦气，但因高浓度氢有爆炸的危险，因而氢气仅限于较少的实验研究中使用。

氖(分子式Ne, 分子量20.183, 原子序数10):

氖是一种无色、无臭、无味的单原子惰性气体，在大气中含量极少。在很低压力下，氖是良导体，且能发出独特的橙黄色光，故广泛用于信号灯和广告牌的制造。氖是一种重气，作为呼吸介质使用时，无麻醉作用，也无语音失真现象，且具有优良绝热性，故已成为某些实验性潜水研究课题。

水蒸汽(分子式H₂O, 分子量18.0153):

空气含有一定量的水蒸汽，即湿度。要高压舱内该气体过多(温度大)，使人不适，减压时因气温下降易使水蒸汽凝结成汽雾；湿度过大还易损害设备仪器。

二、气体分子运动论

一切物质都由分子组成。一切物质的分子之间都存在相互作用力，物质则有三种聚集状态，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，液体分子的较大，而气体的更大。因此，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。

一切物质的分子都在不停地作无规则运动。这是分子运动论的基本含义。“运动”一词是由希腊字派生的，它表述了气体的正常状态是处于不停的运动之中。“气体”一词直接来源于希腊字“chaos”，其意是混乱、无秩序，表述了气体分子的运动状态是朝各个方向迅速移动、互相碰撞而不断改变运动方向。这就是气体分子运动论。

在正常大气压下，如果将气体保存在容器里，则容器各个方向每 $\text{in}^2(6.4\text{cm}^2)$ 面积上每秒钟将承受 2×10^{24} 个气体分子的撞击。由于气体分子极小，以致每个分子的撞击力微乎其微。但如此之多的分子共同作用，其产生的撞击力则可测得，即为压力，亦即气体的动能。

气体的动能与以下两个因素相关：

- (1) 分子运动的速度（它是温度的一个函数）；
- (2) 每种气体分子的质量即重量（它是气体类型的一个函数）。

在一定温度下，较重气体的分子运动慢于较轻的气体，但质量和速度结合起来产生的动能和撞击力则相同。因此，气体分子运动论说明，所有气体分子运动产生的可测压力，都受相同因素的影响；一定温度下，任何气体的动能与相同温度下任何其他气体的动能相同。

任何一种气体，如果分子撞击数量或撞击力发生改变，则压力也随之发生改变。例如，若温度增高，则分子运动速度增大，结果使撞击力更大，撞击也更频繁；如果温度下降，分子运动将减慢，测得的压力也减小。如果气体的体积发生改变，则压力也将发生相应改变。比如，将一定量的气体分子挤进一个较小容积的容器，那么单位面积容器壁上所承受的撞击次数将增加，压力也将增大。如果将更多的气体分子压进一定容积的容器，也出现相同的情况：分子数增多，撞击次数增多，压力增高。

一般认为，地球表面的大气压力及气体成分基本恒定。但是在高压环境下将发生各种变化，这种特殊变化将对高压环境下的所有人员产生特殊作用。因此，作为专业技术人员必须应用气体分子运动论对不同温度和压力下气体特性的变化加以解释。

三、气体压强

作用于单位面积的力，称为压强。用数学公式表示：

$$\text{压强} = \frac{\text{力}}{\text{面积}} \text{ 或 } P = \frac{F}{A}$$

压强单位通常用 kg/cm^2 表示。

由于地球引力而使包围着地球的气体产生重力，即压力，故在地球表面的一切物质都受大气层压力的作用，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（或一切物质）上。大气压在任何一点上都作用于各个方向，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。

在温度0℃、纬度45°的海平面上，大气压力（重力）等于760mmHg/cm²，这种情况下的大气压力定为标准大气压。我们知道，水银比重为13.6g，760mmHg/cm²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1kg/cm²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（大气压与额外施加压力之和）称为绝对大气压（或绝对压），以ATA(atmosphere absolute)来表示。在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。

由于压强需用特制的仪器来测量，即用压力表来测量压强数值。但在压力表上所标的刻度表示在周围环境压力下额外所施加的压力，在未加压的情况下，压力表报指示的刻度“0”（在海平面与大气相通时），当加压时，其指针所指的刻度表示出所加压强数值。因此，压力表所显示的数值就称为表压，或称附加压，是绝对压与常压之间的差值。表压亦称相对压。

浸泡于水下的所有物体，均受到水的重力作用，从而产生压强，就是静水压。在水下任何一深度，静水压向各个方向的作用相等，而且深度越大，静水压越大。两者呈正比关系。如在海水中，每下潜9.75m，静水压就增加1kg/cm²；在淡水中，每下潜10m，静水压就增加1kg/cm²。

在多种气体组成的混合气中，其中某一气体本身所产生的压强是该混合气总压强的一部分，这一部分压强就称为某一气体的分压。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，氧在空气（混合气）中所产生的分压值应为： $760\text{mmHg} \times 20.9\% = 159\text{mmHg}$ 。氧在空气中所产生的压强（分压值）称为氧分压；同样还有氮分压，二氧化碳分压等。若呼吸1个大气压的纯氧（100%），则吸入的氧分压应为： $760\text{mmHg} \times 100\% = 760\text{mmHg}$ 。压力以P(pressure)表示，加上某一气体的分子式，就表示该气体的分压，如PO₂（氧分压）、PN₂（氮分压）、PCO₂（二氧化碳分压）等。溶解于液体中的气体向外扩散的力称为张力，故溶解于液体中的氧向外扩散的力称为氧张力。也就是说，在一定分压下溶解于液体内的氧气分子从液体内向释出的力，或者说，在一定分

压下溶解于液体内的氧分压，即为氧张力。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。因此，分压、张力与压强三个物理量意义相同，有时可以通用。

为能正确使用各个压强单位或术语，现将它们的概念及其相互关系小结如下：

大气压（常压）——在地球表面自然气压，通常用 $1\text{kg}/\text{cm}^2$ 表示。

表压（相对压、附加压）——绝对压与大气压之间的差值，即压力表上所指示的读数。

绝对压（ATA）——所施加的总压，即大气压与表压之和。

以上三者关系是：绝对压 = 常压 + 表压。

分压（张力）——某一气体在混合气中所产生的一部分压强。

静水压——在水下所受到的水的重力（压强）作用。静水压也是附加压。

四、气体定律

如要表明一定量的某一气体的物理状态，必定涉及到压强、体积和温度这三个物理量。按分子运动论，这三个物理因素中如有一个发生变化，其余的物理量也会发生相应的变化。分子运动论还表明，任何一种气体的分子运动性质都和混合气体分子运动性质相同。人们在科学探索 and 实践中，不断发现和总结这些物理因素变化的客观规律，从而制定了一些基本规则，即气体定律，以便预测高压环境中所出现的气体压强、体积和温度的相应变化。

与高压氧医学有关的气体定律有：波义耳——马略特定律、查理定律、盖——吕萨克定律、气态方程、道尔顿定律和亨利定律等。

应该指出的是，应用这些定律时，所有压强都用绝对压表示，所有温度都用绝对温度表示，公式中所用的单位都统一用公制。

（一）、波义耳——马略特（Boyle——Mariotte）定律

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同经压强成反比，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）。

这就是说，压强越大，体积越小；反之，压强越小，体积越大。或者说，气体密度的变化与压强成正比。波义耳——马略特定律以数学公式表示如下：

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{或} \quad P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$PV=K$$

式中 P = 气体压强 P_1 = 初始压强 P_2 = 终末压强 V = 气体体积

V_1 = 初始体积 V_2 = 终末体积 K = 恒量 (常数)

我们可用分子运动论来解释这个定律。在一个容器内，由于气体分子的不停运动，使气体分子不断撞击容器壁，这种撞击力的总合。就表现为气体对容器壁的压力（压强）。单位面积上所受压力的大小，就是气体的压强。当气体体积缩小后，即气体密度增大，那么气体分子与容器壁撞击的机会就增多，故压强增加；反之，如体积增大，气体分子与容器壁撞击的次数减少，压强就变小。

计算举例：

1、某高压舱容积 25m^3 ，当温度不变时，加压到 2.5ATA ，需要多少常压下的空气体积？

解： $V^1 = 25\text{m}^3$

$$P^1 = 2.5\text{ATA}$$

$$P_2 = 1\text{ATA} (\text{常压})$$

$$V_2 = \frac{V^1 P^1}{P_2} = \frac{25 \times 2.5}{1} = 62.5\text{m}^3$$

可知需要常压下的空气体积是 62.5m^3 。

2、有一储气瓶的容积是 40L ，瓶内的气体压强是 150 个大气压，假如在温度不变的情况下，把储气瓶内气体减至常压，那么气体将占有多大体积？

解： $P^1 = 150 + 1 = 151\text{ATA}$

$$P_2 = 1\text{ATA}$$

$$V^1 = 40\text{L} + V_2 = \frac{V^1 P^1}{P_2} = \frac{151 \times 40}{1} = 6040\text{L}$$

由此可知，常压下的气体体积将是 6040L 。

波义耳——马略特定律对潜水员来说是重要的，因为它说明了这样的关系，即潜水深度不同引起不同的压强变化，压强变化又导致气体体积的变化；同时确定了各种呼吸气源的压强和体积的关系。同样，对高压氧下的所有人员来说，掌握并应用该定律也是十分重要的。因为，在高压下停留时，肺内容纳的是高压气体，如要减压过程中屏气时，肺内气压就会高于肺外气压，当这种

压差达到一定程度而超过肺组织的抗压限度，就有可能使肺组织过度膨胀而造成肺撕裂伤，即肺气压伤。

(二)、查理(charles)定律

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。查理定律以数学公式表示如下：

$$P_t = P_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) \quad \text{或} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{273 + t_1}{273 + t_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

式中 P_t = 温度升至 $t^\circ\text{C}$ 时气体的压强 P_0 = 在 0°C 时气体的压强 P^1 = 初始压强

P_2 = 终末压强 t_1 = 初始 $^\circ\text{C}$ t_2 = 终末 $^\circ\text{C}$ T_1 = 初始绝对温度 (K)

T_2 = 终末绝对温度 (K)

当体积不变时气体的压强和温度的关系，仍可用分子运动论来解释。查理定律用分子运动论解释为：气体分子的平均运动速度与温度密切相关，温度越高，分子的平均运动速度越大。当一定质量的气体在某一容器里受热而温度升高时，气体分子的平均运动速度也增大。这样，气体分子对每单位面积容器壁的撞击次数就增多，而且每次的撞击力也增强，则气体的压强也就增大。

计算举例：

1、某舱室加压至 2.5ATA 时，舱温为 40°C ，由于气体的热传导而使舱温降至 30°C 。此时的舱内压力该是多少、

解： $P^1 = 2.5\text{m}^3$

$$t_1 = 273 + 40 = 313\text{K}$$

$$t_2 = 273 + 37 = 303\text{K}$$

$$P_2 = \frac{P_1 t_2}{t_1} = \frac{2.5 \times 303}{313} = 2.4\text{ATA}$$

当舱温降至 30°C 时，舱内的气压也随之降至 2.4ATA，比原先降低约 $2.5 - 2.4 = 0.1\text{ATA}$ 。

也就是说，此时就及时向舱内补充 0.1ATA 气压方可达到治疗压力 2.5ATA。由此可知。当加压停止后不久，舱压即稍有下降，这是气体热传导使舱温下降所致，随之其压强也相应下降，这种现象往往会被误认为舱室漏气所致。

2、有一高压氧气瓶在 0°C 时瓶内氧气的压强是 150ATA，要是将这氧气瓶放在热源旁，温度升高到 54.6°C ，此时瓶内氧气压强将是多少？

解: $P_0=150\text{ATA}$

$t=54.6^\circ\text{C}$

$$P_t = P_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) = 150 \left(1 + \frac{54.6}{273}\right) = 180\text{ATA}$$

在气温升高到 54.6°C 时, 高压氧气瓶内压强已增至 180ATA , 若是超过氧气瓶允许承受的压强, 将会引起爆炸。因此, 高压储气瓶放在烈日下或热源旁, 是非常危险的。

(三)、盖——吕萨克 (Gay-Lussac) 定律

该定律是说明气体的体积同温度的关系: 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 , 就增加其 0°C 时体积的 $1/273$ 。亦即体积与绝对温度成正比。

用公式表示:

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) \text{ 或 } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

式中 V_t = 温度升高到 $t^\circ\text{C}$ 时气体的体积

V_0 = 温度在 0°C 时气体的体积

V_1 = 初始体积 V_2 = 终末体积

T_1 = 初始绝对温度 (K) T_2 = 终末绝对温度 (K)

还是用分子运动论来解释该定律。我们知道, 当一定质量的气体受热而温度升高时, 如果要使它的压强保持不变, 那就只有让它的体积增大。此时, 一方面由于温度升高, 以至气体分子对每单位面积容器壁的撞击次数增多, 而且每次撞击的作用力增强, 有使压强增大的倾向; 另一方面由于体积增大, 以至气体分子对每单位面积容器壁的撞击次数增多, 而全每次撞击的作用力增强, 有使压强增大的倾向; 另一方面由于体积增大, 以至气体分子对每单位面积容器壁的撞击数减少, 且每次撞击的作用力减小, 有使压强减小的倾向。这两种相反的倾向, 即气体压强的增大与减小, 最终结果是互相抵消, 可以使压强保持不变。

计算举例:

1、一定质量的气体在 2°C 时的体积为 10L , 如压强保持不变它在 57°C 时体积等于多少?

解: $V_1=10\text{L}$

$T_1=273+2=275\text{K}$

$T_2=273+57=330\text{K}$