

GAOYAYANG ZHILIAO

ZAI SHENJING XITONG JIBING ZHONG DE YINGYONG

高压氧治疗

在神经系统疾病中的应用

主编 陶恒沂 高光凯 刘文武



第二军医大学出版社

Second Military Medical University Press

高压氧治疗在神经系统 疾病中的应用

主 编 陶恒沂 高光凯 刘文武



第二军医大学出版社
Second Military Medical University Press

内 容 提 要

本书系统地介绍了高压氧治疗神经系统疾病的机制及其应用,主要包括高压氧的发展史,高压氧治疗的理论基础,高压氧治疗的实施,高压氧治疗的禁忌证、适应证和可能出现的并发症,高压氧治疗神经系统疾病的相关机制,以及高压氧在治疗常见神经系统疾病中的应用。

本书既可用于高等医学院校相关专业教材,也可作为高压氧和神经科相关从业人员及相关管理人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高压氧治疗在神经系统疾病中的应用/陶恒沂,高光凯,刘文武主编. —上海:第二军医大学出版社, 2011. 9

ISBN 978 - 7 - 5481 - 0304 - 2

I. ①高… II. ①陶…②高…③刘… III. ①神经系统疾病—高压氧疗法 IV. ①R741.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 179166 号

出 版 人 陆小新

责任编辑 王 勇

高压氧治疗在神经系统疾病中的应用

主 编 陶恒沂 高光凯 刘文武

第二军医大学出版社出版发行

上海市翔殷路 800 号 邮政编码: 200433

电话/传真: 021 - 65493093

<http://www.smmup.cn>

全国各地新华书店经销

江苏句容排印厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 10.375 字数: 268 千字

2011 年 9 月第 1 版 2012 年 11 月第 2 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5481 - 0304 - 2/R · 1099

定价: 42.00 元

编 委 会

主 编 陶恒沂 高光凯 刘文武

副主编 潘树义 程晋成 王有存

龙 颖 匡爱华 吴建国

编 委 (以姓氏拼音为序)

程晋成 高光凯 匡爱华 刘文武

龙 颖 潘树义 陶恒沂 王水平

王軼群 王有存 吴建国 许 娟

编 者 (以姓氏拼音为序)

蔡志宇 程晋成 高光凯 胡慧军

黄 辉 匡爱华 李铭鑫 李润平

李文静 连士界 刘文武 吕 艳

吕福祥 茆 丁 孟祥恩 潘树义

陶恒沂 王伯平 王晓红 王有存

吴 镒 吴建国 许 娟 许明月

薛 娟 杨 晨 杨 鹰 于 涛

张 齐 张 禹

编 校 蔡志宇 刘文武 茆 丁

前 言

人的神经系统有着复杂的物质结构以及与之相应的生理功能。在神经系统的调控下,机体各器官系统相互联系、互相协调,完成统一的生理过程。由于神经系统疾病的复杂性,以及神经分布的广泛性,决定了该系统所发生的疾病种类繁多,病情错综复杂,给临床诊断和鉴别诊断造成一定困难,尤其是治疗更加困难。而高压氧治疗对某些神经系统疾病则有较好的疗效,甚至是有独特的疗效。

随着社会的发展和人民生活水平的提高,脑血管病、帕金森病、痴呆症等老年性疾病,焦虑、抑郁、恐惧等心理精神疾病,严重危害人类健康和影响人类生活质量。为进一步提高神经系统疾病的治疗效果,最大限度地改善神经系统疾病患者的健康和生活质量,我们组织有关方面的专家撰写了本书。

到目前为止,国内尚未见类似的专著出版,国外相关专著也非常鲜见。本书内容全面涵盖了高压氧治疗的基础理论,高压氧治疗的实施,高压氧治疗的适应证、禁忌证及可能出现的并发症,高压氧条件下的脑生理学、脑病理生理学,以及高压氧在某些神经系统疾病治疗中的具体应用等。

本书既可作为医学院校学生选修课的教材,也可供高压氧治疗从业人员、神经内科临床医师和其他医护人员参考应用。希望本书的出版能有效地推动高压氧在神经系统疾病治疗中更加广泛地应用,从而造福于广大神经系统疾病患者及其家属。

由于编者水平有限,书中疏漏或缺陷在所难免,希望同行和读者不吝指教,以利于再版时进一步改进。

编 者

2011年6月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 与高压氧有关的基本概念	1
第二节 高压氧治疗的发展简史	10
第三节 高压氧治疗中的安全问题	24
第二章 高压氧治疗的基础理论	32
第一节 氧气的生理学与生物化学	32
第二节 气体的基本物理定律	36
第三节 惰性气体及其在体内的运动规律	49
第四节 高压氧治疗的基本原理	66
第三章 围高压氧治疗期的处理	74
第一节 高压氧与药物的相互作用	74
第二节 高压氧治疗前患者评估	77
第三节 高压氧治疗的实施	80
第四节 高压氧治疗方案的制订与选择	92
第五节 高压氧治疗中的护理	98
第六节 高压氧舱内紧急处理	105
第四章 高压氧治疗的适应证、禁忌证、并发症及其处理	114
第一节 国内高压氧治疗的适应证与禁忌证	114
第二节 国外高压氧治疗的适应证与禁忌证	118
第三节 辩证地认识高压氧治疗的适应证与禁忌证	123
第四节 高压氧治疗可能导致的并发症及其处理	126
第五章 脑生理学与高压氧	130
第一节 脑循环	131
第二节 脑代谢	135

第三节 脑氧合	143
第六章 高(分)压氧治疗神经系统疾病相关机制	156
第一节 高(分)压氧治疗神经系统疾病相关机制	158
第二节 高(分)压氧在治疗神经系统疾病中的运用	164
第三节 高(分)压氧预处理及其在神经系统疾病中的运用	168
第七章 氧中毒	175
第一节 常见类型	175
第二节 临床表现	178
第三节 病因及影响因素	182
第四节 发病机制	183
第五节 处理与预防	186
第八章 高压氧治疗缺血性脑卒中	192
第九章 高压氧治疗神经型减压病	201
第十章 高压氧治疗脑出血性疾病	215
第十一章 高压氧治疗脑创伤	224
第十二章 高压氧治疗自闭症	230
第十三章 高压氧治疗脱髓鞘疾病	243
第十四章 高压氧治疗新生儿缺血缺氧性脑病	256
第十五章 高压氧治疗一氧化碳中毒	266
第十六章 高压氧治疗高原脑水肿	289
第十七章 神经系统疾病常用心理行为量表简介	295

第一章 绪 论

第一节 与高压氧有关的基本概念

一、大气压

地球是一个椭圆形球体,围绕其周围有一个空气层(又称大气、大气层或大气圈),随地球的转动而流动,是人类赖以生存的重要外界环境之一,其底界为地(或海)面。现代气象学将大气按垂直方向划分为3个主要层次:

1. 对流层 指贴近地面的最低层,在中等纬度上,扩展到海平面以上10~12 km。对流层在地球各部的厚度不一,在赤道上可达16~18 km,在两极则仅7~10 km,作为标准,取其中值。

2. 同温层 自12 km开始再向上约伸展到80 km的高度。从热力性质来说,大气平均每升高1 000 m,温度下降6.5℃;在同温层则恒定在-56℃。

3. 电离层 继续伸展到600 km左右的高度。

据探测,直到2 500 km高度尚有大气踪迹可寻,然后消失在行星间的宇宙空间中。

大气是数种气体的物理混合,其中 N_2 的体积分数为0.78, O_2 为0.21, CO_2 为0.000 3,还有少量的 H_2 、He、Ne、Kr、Ar、Xe、 O_3 等。各种气体分子都有一定的质量,所以受地心引力作用,大气也具有重量。重量是一个力的概念,常称重力,由其重力造成对地面物体的压力。

气压(又称大气压强,简称压强)指的是单位面积上所受大气柱的重量。在任何高度上的压力,等于位于其上的空气柱的重量。

大气总质量的 99.9%集中在 48 km 以下的中低层。在 85 km 以下的大气层,大气的组分比例相同,称匀和层。110 km 以外的大气层分子扩散作用大于湍流扩散作用,大气组分是轻的在上,重的在下,称非匀和层。

地球大气运动受重力、地球旋转和太阳辐射能 3 种物理因素的影响。所以,大气压力在重力影响下,与大气密度、温度和高度等有关。随着高度增加,气压一般按指数规律递减(降低)。在 1 000 m 以下,每升高 10.5 m,大气压力降低 1 mmHg(133 Pa)。一般在 3 500 m 以上的高山地区,空气稀薄,气压偏低。越向上,空气越稀薄。

在地面上,大气压力被认为是恒定的。虽然地面和空气的局部可受到不均匀的加热并发生许多变化,但从宏观来说可略而不计。所以人类在地球表面被浸没在大气层的底部,在空气所产生的某一恒定重量下生活,和所有物体一样处于一定的压力环境条件下。

通常所说的海平面 1 个大气压是指当温度为 0℃时,在纬度 45°处所承受的大气重力,亦称常压。1979 年国际上规定 101.325 kPa 的气压为 1 个标准大气压,它相当于重力加速度为 9.806 65 m/s²、温度为 0℃、760 mm 垂直水银柱的压强。

1643 年,意大利科学家 Torricelli 测定了大气的重量。他利用一根长 1 m,一端封闭的玻璃管,截面 1 cm²,装满水银,倒立于一水银槽中,管内水银柱下降到 760 mm 不再下降,这时,水银柱压强与同时压在水银槽上的大气压强相平衡,所以可用水银柱的高度来表示气压的高低,1 个大气压等于 760 mmHg。

由于水银的相对体积质量是水的 13.6 倍,即 13.6 g/cm³,所以,海平面上每平方厘米面积上所承受的压强,也可表达为:76 cm×

$13.6 \text{ g/cm}^3 = 1\,033.6 \text{ g/cm}^3 = 1.033\,6 \text{ kg/cm}^3 \approx 1 \text{ kgf/cm}^2$ 。

一个体重约 70 kg、身高约 170 cm 的男子,其体表面积约为 1.7 m^2 (可换算为: $17\,000 \text{ cm}^2$)。他身体上每一个平方厘米面积上承受 1 个大气压 (即 $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.807 \text{ N/cm}^2 = 98.07 \text{ kPa}$),全身上下要承受 17 000 kg 的重量 (可换算为 17 吨),是相当可观的。由于在大气中,机体上下、前后、左右、内外承受的压力是相等的、平衡的,所以感觉不出来,并不是身上没有承受压力。

在讨论气体的物理状态时,多用压强、温度、体积 3 个物理量来描述。由于气体分子无规则的运动,所以气体没有一定的形状,也没有一定的体积。但是在一个密闭容器中的气体,它对容器壁的压强是大量分子对壁碰撞的结果。所以,在高压氧治疗时,加压舱内的压力,就可从安装并开口于舱壁上的压力表得到读数。

二、法定计量单位

在高压医学领域里,经常要用具体的计量数值来表示压强 (压力)。1 个大气压强可以用以下不同单位加以表达:

1. 水银柱的高度 760 mmHg 或 76 cmHg。
2. 水银柱的重量 可由水银柱的高度和水银的相对体积质量算出。
3. 水柱的高度

(1) 淡水柱的高度: 由于水柱的高度是水银柱高度的 13.6 倍,所以,相当于 1 个大气压的淡水柱高度为: $76 \text{ cm} \times 13.6 = 1\,033.6 \text{ cm} = 10.336 \text{ m} \approx 10.3 \text{ m}$ 。

在江、河、湖的淡水中,水深每增加 10.3 m,就增加 1 个大气压。

(2) 海水柱的高度: 由于海水含有较多的盐分,海水的相对体积质量为 1.03,所以相当于 1 个大气压的海水柱高度为: $10.3 \div 1.03 = 10(\text{m})$ 。

在海水中,水深每增加 10 m,增加 1 个大气压。在高压氧治疗的实践中,许多资料(包括减压方案等)都是从潜水医学在海水环境中获得的研究成果移植、引用过来的,所以,必须了解换算关系。

我国国务院于 1984 年 2 月 27 日发布了在我国统一实行法定计量单位的命令,要求自 1986 年起,压力、压强的法定计量单位为帕[斯卡],符号为 Pa,与国际上压强的标准公制单位相一致,而且是国家法律承认、具有法定地位的计量单位。正确写法: kPa, MPa;错误写法: Kpa, mpa。

国家质量技术监督局、卫生部联合文件(质技监局量函[1998] 126 号)规定:关于血压计量单位:①在医疗文件,非出版物中,可用 mmHg 或 kPa;②在出版物中,如用 mmHg,应同时注明与 kPa 的换算关系($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$, $1 \text{ kPa} = 7.5 \text{ mmHg}$);③表示高压氧舱的压力仍应使用 kPa 或 MPa。

英国旧制: 1 个大气压 = 14.71 bs/in^2 (磅/平方英寸)。由于单位面积不同($1 \text{ in}^2 = 6.452 \text{ cm}^2$),所以要换算。在阅读以往的文献资料时,常会见到,应予注意。

三、高压氧的定义

高压氧(hyperbaric oxygen, HBO)的定义虽然非常简单,但在国内部分医务人员中还存在一定的误区,有不少人常常把“高分压氧(high partial pressure of oxygen)”与之相混淆。国外有关专著中对高压氧是这样描述的:“Hyperbaric oxygen, hyperoxia (i. e. pure oxygen) at pressures greater than 1 atm, is used as a therapeutic modality for a variety of diseases.”对高压氧治疗是这样描述的:“Hyperbaric oxygen therapy (HBOT) is a medical treatment in which a patient breathes pure oxygen while the pressures of the treatment chamber is slowly increased above atmospheric pressure.”我国在 20 世纪 70 年代出版的一本《高压

氧的临床应用》专著,其中对高压氧的定义与上述英文专著中的定义是完全一致的,即“大于一个大气压的纯氧称高压氧”。以治疗为目的,让患者呼吸高压氧称为高压氧治疗或高压氧疗法。相反,近些年来有越来越多的有关高压氧的专著问世,对高压氧的定义可以说是“五花八门”,尽管描述各有不同,但最根本的缺陷就是将“高分压氧”与“高压氧”两个并不等同(至少不完全等同)的概念之间画上了等号。例如:在5年前出版的某专著中是这样描述的:“凡氧分压超过1个大气压的混合气体即称为‘高压氧’。”假定这样的定义是正确的话,6个绝对大气压(absolute atmosphere, ATA)的压缩空气中氧分压显然也大于一个大气压,按上述“高压氧”的定义,就可以把“6 ATA的压缩空气”理所当然地认定为“高压氧”。之所以有人挑战国际上(包括中国)公认的高压氧的定义,理由是医学领域中根本就没有真正意义上的“纯氧”,因为氧气瓶中的医用氧,其氧浓度(99.5%)也未达到1.0体积分数(100%)。其实这里千万不能将物理意义上的“纯氧(氧浓度的体积分数等于1.0)”与临床意义上的“纯氧(氧浓度的体积分数 ≥ 0.8)”相混淆。尽管医院用的氧气其氧浓度体积分数并未达到1.0,但人们仍然将其称为“纯氧”,其衡量的标准就是临床意义上的“纯氧”标准而不是物理意义上的“纯氧”标准。尽管近些年来出版的有关高压氧的专著,其中高压氧的定义多数都与“凡氧分压超过1个大气压的混合气体即称为‘高压氧’”相类似,但此时不能简单地用“少数服从多数”的原则作为衡量是非的标准,就像高压氧治疗的“适应证和禁忌证”中的“证”,有很多专著中,包括媒体的期刊杂志、报纸、电视广告以及药品包装盒上的说明等都将“证”写成了“症”或“征”。不能认为多数人或多数地方都用“症”或“征”作为“适应证和禁忌证”中的“证”,就可以是非颠倒。我国某三级医院的一位高压氧科主任曾用英文撰写了一篇论文投送某SCI期刊,论文的题目是“高压氧治疗肾移植后排斥反应的疗效观察和机制分析”,结

果外籍审稿专家在给她的主要审阅意见中提出：“文题不符(标题是“高压氧治疗”，但内容则是“高分压氧治疗”或“富氧治疗”)，建议退稿。”因为在文稿中，作者注明用的是单人氧舱，在治疗过程中，舱内氧浓度为 57%~69%，治疗压力为 2 ATA。论文作者对专家的审阅意见感到不解，请求笔者给予解释。

在一个大气压的常压环境中，其氧分压为 0.21 ATA，因此不管是什么混合气体，也不管气体总压是多少，只要其中的氧分压等于 0.21 ATA，都将其中的氧习惯地称为“常压氧”甚至直接称为“常氧”；如果其中的氧分压大于 0.21 ATA，都将其中的氧习惯地称为“高分压氧”。

在临床实践中，经常会碰到这样的患者，由于病情需要不得不给患者长期呼吸医用纯氧，但长期呼吸医用纯氧又有导致患者发生“肺型氧中毒”的危险，这时医生就会陷入两难的境地，继续呼吸医用纯氧可能使患者的“肺型氧中毒”越来越重，最终必将导致患者死亡；如果为了防止“肺型氧中毒”的严重后果，又不得不中断吸氧，可是有的患者一旦中断吸氧又立即面临生命危险。因而有人提出了“富氧”的概念，即氧浓度的体积分数为 0.21~0.8。但临床上常用的氧浓度的体积分数为 0.4~0.6。在实践中，根据患者“肺型氧中毒”的程度，决定给予患者何种体积分数的富氧，一般原则：“肺型氧中毒”的程度较轻，可以给予体积分数较高的富氧；反之，给予体积分数较低的富氧。高压氧治疗时所用的“医用氧”，其氧浓度为 0.995 体积分数。医用氧中除氧外，仅含有少量 N_2 及水蒸气，绝不允许含有杂质及有害气体，所以可供医疗使用。而“工业用氧”中含氧 0.7~0.8 体积分数，并含有其他杂质和有害气体，所以不允许供人体呼吸用。由于工业用氧价格低廉，个别医疗单位为了单纯地追逐经济效益，不顾患者的身体健康，完全违背医德，竟然以工业用氧冒充医用氧，这实际上是严重的违法行为。

加压舱是为高压氧治疗提供高压背景压力环境的特殊设备。舱内充注压缩空气升压者称“空气舱”，充注纯氧升压者称“氧舱”；用以进行高压氧治疗的加压舱可简称“高压氧舱”。当舱内压力提高到某一水平时，舱外氧气瓶中很高压力(13~15 MPa)的氧经减压器、硬质管路进入加压舱，接到供氧面罩上时，面罩内的氧压与舱内环境压力平衡，即能吸到该压力的高压氧。氧舱中充满的是设定压力的纯氧，则可直接呼吸高压氧。

当加压舱的门开启时，舱内原为一舱空气，其压力为 1 ATA，舱上压力表的指针在“0”位(图 1-1)。关闭舱门，用压缩空气加压，所加压力称“附加压”，加压舱压力表上所显示的值都是附加压值。附加压又称“表压”。

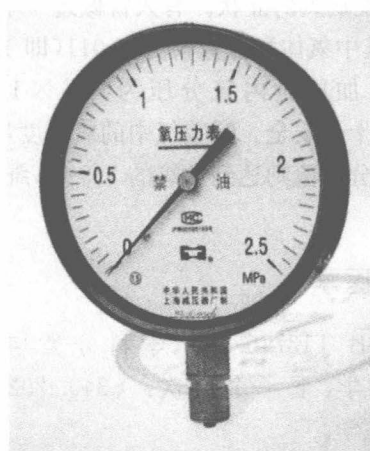


图 1-1 压力表

附加压(表压)与大气中原有的压力之和等于“绝对压”，如果均以大气压为单位，称绝对大气压(即 ATA)。用公式可以表示为：绝对大气压(ATA)=附加大气压+1。需要注意的是，使用该公式时，其压力单位应该完全一致。曾有学员将附加压为 0.2 MPa 的绝对压写成了 1.2 MPa，而正确答案是 0.3 MPa。因为

正常大气压如果要用“MPa”单位来表示,应该是 0.1 MPa。

常压下氧浓度低于 21%,称为低氧。

Paul Bert(1878)已明确指出:“混合气中各成分在人体内的生理作用,不取决于它们在混合气中的含量百分比(体积分数,此处指浓度),而取决于各该气体的分压。”

通常有一种误解,把在高原地区患高山病的原因归诸于大气中氧浓度较低,空气稀薄缺氧。事实上在高原地区大气中氧的体积分数与海平面是相同的,但环境总的大气压力降低了,因而氧分压也相应降低,这种缺氧称为“低压性缺氧”(hypobaric hypoxia)。

在常压下,呼吸的大气中 O_2 的体积百分数为 0.21,而低于 0.18 就会开始出现缺氧的症状。有人曾做过一个实验:潜水员呼吸氮-氧混合气,其中氧体积分数仅为 0.011(即 1.1%),将环境压力加到 36 ATA,加压舱内氧分压为: $36 \times 1.1\% = 0.396 \approx 0.4$ ATA,受试者十分安全。呼吸气中的氧浓度虽然非常低,看来是难以生存的,但分压值则达到常氧的 1.9 倍,维持正常生理功能就毫无问题了。

四、高压医学

国家标准 GB T13745—92《学科分类与代码》中列出:(340.20)特种医学,下一个层次:(340.2020)潜水医学及(340.2030)航海医学。

国际上广泛采用《医学索引》(Index Medicus)中的医学主题词表(MeSH),美国国立医学图书馆为便于国际联机检索,有利于资源共享,亦将其用于《医学文献分析与检索系统》(MEDLARS)中。在 MeSH 中可查到:① Hyperbaric Medicine;② Underwater Medicine;③ Diving Medicine;④ Submarine Medicine;⑤ Undersea Medicine;⑥ Hyperbaric Oxygen therapy;⑦ Hyperbaric Oxygenation。但没有“高压氧医学”这一主题词。

虽然从历史发展上,高压医学是潜水医学的一个分支,航海医学将潜水医学作为它的一个特殊领域,但从一个学科的实质特征和技术内容来看,高压医学应是一个总的名称,一切研究在高压环境条件下的医学问题的领域,都可作为亚学科内容归在其中,例如潜水医学、水下(海下)医学、潜艇医学、高压作业(桥墩、隧道)工程、高压氧治疗等。

国际上涉及这些亚学科内容的学术会议,主要有 3 个系列:①International Symposium on Underwater and Hyperbaric Physiology; ② International Symposium on Hyperbaric Medicine; ③International Congress on Hyperbaric Medicine,均使用了“Hyperbaric Medicine 或 Physiology”一词。

早年,专门介绍高压氧治疗的专著有,1966 年由 UMS 出版的 *Fundamental of Hyperbaric Medicine* 和 1977 年出版的 *Hyperbaric Oxygen Therapy*。

涉及高压氧治疗的学术期刊有,1980 年由 UMS 出版的 *Hyperbaric Oxygen Review*,1986 年发展为 *the Journal of Hyperbaric Medicine*,1993 年又改称 *Undersea and Hyperbaric Medicine*,它是这一领域的权威刊物。从发展演变过程来看,趋向于使用“Hyperbaric Medicine”名称。

从学会名称来看,美国 1967 年成立“UMS”(“Undersea Medical Society”),并在其内部特设一个下属机构 Hyperbaric Oxygen Committee。由于高压氧治疗业务发展,1993 年 UMS 正式更名为“Undersea and Hyperbaric Medical Society”(“UHMS”)。日本于 1968 年成立“日本高压环境医学会”,英译名“Japanese Society of Hyperbaric Medicine”(“JSHM”),均用“Hyperbaric Medicine”名称。

我国,《中华航海医学杂志》从专业内容上包括了前述潜水医学、高压氧治疗等众多领域,又是国内外公开发行的刊物,为便于国际联机检索,采用 MeSH 主题词表,与同类刊物相对应,所用名

称必须与国外接轨一致,故现改为《中华航海医学与高气压医学杂志》。

学科的发展也是日新月异,与时俱进的。在高气压医学的大学科中,高压氧治疗这一领域将会有不断的进展,与潜水医学的交流也会日益增多,互相促进。

第二节 高压氧治疗的发展简史

一、发展概况

高压氧治疗是人类在与疾病斗争的过程中,通过不断实践,反复认识,才逐步发展起来的。随着科学技术的进步,高压氧治疗现已成为临床治疗学的一个重要组成部分。

回顾历史,1662年的文献曾有“高气压治疗”的记载,一名叫 Henshaw 的牧师用金属建了一台“加压舱”,用压缩空气加压,凭直觉可以治疗某些疾病,由于缺乏科学依据和理论基础,没有什么结果。当时人们还不知道空气中含有氧气,所以不能认为这是高压氧治疗的萌芽。

自 1775 年 Priestley 从空气中分离氧气成功后,氧在机体生命活动中的重要作用才被逐步认识。但总体来说,对高压氧治疗的基本生理、病理过程则是在漫长的临床实践和基础理论的探索中不断了解的。

随着物理学的发展,特别是对气体在液体中的溶解以及气体分压定律的认识,才为高压氧治疗提供了理论基础,推动了临床应用的发展。

1879 年,法国外科医师 Fontaine 建造了一个有轮子的活动房子,可以加压。他用压缩空气加压到 2 ATA,可产生 0.42 ATA 的氧分压条件,在用笑气(nitrous oxide, N_2O)作麻醉剂的情况下