

# 脑部疾病

## 高压氧临床及影像评估

主 编 彭慧平 肖 慧 卢晓欣



科学出版社

# 脑部疾病高压氧临床 及影像评估

---

主 编 彭慧平 肖 慧 卢晓欣



科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书以脑部疾病为主线,从临床实用性的角度出发,阐述高压氧临床及影像评估,重在临床思维的养成与能力的提升。

全书包括高压氧医学发展史及基础理论、脑部解剖及生理和病理学、脑部影像学,以及颅脑外伤、新生儿缺血缺氧性脑病、脑血管疾病、脑复苏、颅内感染、颅内肿瘤、多发性硬化、阿尔茨海默病、帕金森病、多发性硬化、一氧化碳中毒、减压病、高原病等。

本书既可用于高等院校相关专业教材,也可作为高压氧医学和神经科医师、研究生、进修生,以及住院医师规范化培训继续教育用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

脑部疾病高压氧临床及影像评估 / 彭慧平, 肖慧, 卢晓欣主编. -- 北京: 科学出版社, 2017.7

ISBN 978-7-03-053971-7

I. ①脑… II. ①彭… ②肖… ③卢… III. ①脑病—高压氧疗法 ②脑病—影像诊断 IV. ①R742

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 158561 号

责任编辑: 李 玫 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 吴朝洪

版权所有, 违者必究, 未经本社许可, 数字图书馆不得使用

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017 年 7 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2017 年 7 月第一次印刷 印张: 18 3/4

字数: 420 000

定价: 148.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 脑部疾病高压氧临床及影像评估

主 编 彭慧平 肖 慧 卢晓欣

主 审 吴钟琪 陈自谦 潘树义

副主编 秦 茵 倪 萍 邝平定

秘 书 周苏键

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁 政 (湖南省湘潭市中心医院)

卢晓欣 (福州总医院)

邝平定 (浙江大学医学院附属第二医院)

刘 杨 (福建中医药大学)

刘晓波 (海军医学研究所)

孙永军 (海军医学研究所)

李 雁 (福建省立医院)

李铭鑫 (海军总医院)

肖 慧 (福州总医院)

吴钟琪 (中南大学湘雅医院)

余学来 (南京医科大学第二附属医院)

张晓宝 (福州总医院)

陈 思 (福州总医院)

陈自谦 (福州总医院)

陈锐勇 (海军医学研究所)

周苏键 (福州总医院)

秦 茵 (福州总医院)

倪 萍 (福州总医院)

高志强 (南京医科大学第二附属医院)

高进喜 (福州总医院)

崔晓萍 (福州总医院)

彭争荣 (中南大学湘雅医院)

彭慧平 (福州总医院)

潘树义 (海军总医院)

薛 红 (空军航空医学研究所附属医院)

魏梁锋 (福州总医院)

编写一本有关高压氧与影像医学的书是多年以来的想法，能够付诸行动，缘于福州总医院创建研究型医院，成立了由医学影像中心陈自谦主任领衔的“脑损伤康复与影像学研究创新团队”，在团队成员的齐心协力下，这本《脑部疾病高压氧临床及影像评估》得以成书。

《脑部疾病高压氧临床及影像评估》综合高压氧、影像医学、神经科学等内容编写而成，全书共十六章，包括绪论、高压氧医学基础、影像医学基础、脑部解剖及生理，以及脑卒中、脑外伤、减压病等。全书各章内容协调一致，从概念、病因机制、影像医学、诊断、综合治疗、高压氧医学临床应用等方面进行叙述，有较好的过渡与衔接。本书的特点是在疾病诊治的阐述中，把高压氧与影像医学有机地结合在一起，相关疾病的CT和（或）MRI图像使全书内容更生动直观。

对于高压氧医学临床应用而言，影像医学一方面是疾病诊断、适应证把握、疗效判断的重要手段和客观标准；另一方面，影像医学实践与研究需要高压氧作为一个重要的干预因素，尤其在分子功能影像实践与探索的过程，高压氧是一个敏感因素，有助于研究的深化与拓展。本书以脑部疾病的高压氧与影像医学为重点，注重两者的结合。为了确保基础理论与临床实践整合，服务于临床，主体章节内容由各相应专科及高压氧医学、影像医学专业专家共同编写、审定，确保本书的科学性和实用性。同时，在全书中强化临床思维训练和医学整体观，促进高压氧医学临床实践与现代医学同步。

在本书出版之际，感谢福州总医院各级领导及同事们对于创新、发展、交流的重视！感谢第二军医大学徐伟刚教授、海军401医院高光凯主任、406医院李学文主任、福州总医院王守森主任和林航主任给予的支持与鼓励！同时，感谢各位编写专家在书稿撰写过程中认真、求实、创新的态度。在本书的编写过程中，得到了来自各方面的帮助，一并表示感谢！

策划编辑李玫老师对本书出版、制作起了极大的推动作用，致以特别谢意！

本书由高压氧医学、影像医学、神经内科、神经外科、儿科各专业医师、教师共同撰写完成，由于我们水平有限，初次合作缺乏经验。书中欠妥之处还请专家及学者、同道们在使用本书的过程中批评指正，以便日后修订完善。

彭慧平

福州总医院

2017年2月



## CONTENTS

**第一章 绪论 / 1**

- 第一节 概述 / 1
- 第二节 高压氧临床应用的规范化及未来方向 / 3
- 第三节 影像医学与脑部疾病的高压氧应用 / 4

**第二章 高压氧医学基础 / 7**

- 第一节 高压氧医学基础理论 / 7
- 第二节 高压氧医学的生理学基础 / 17
- 第三节 高压氧治疗的基本原理 / 23

**第三章 脑部解剖及生理 / 28**

- 第一节 脑的应用解剖 / 28
- 第二节 脑脊液和脑血液循环 / 30
- 第三节 神经系统主要传导束 / 33
- 第四节 脑神经 / 34

**第四章 脑部影像学 / 36**

- 第一节 常规影像检查技术 / 36
- 第二节 功能与分子成像技术 / 46

**第五章 儿科脑部疾病 / 71**

- 第一节 概述 / 71
- 第二节 新生儿缺氧缺血性脑病 / 72
- 第三节 新生儿颅内出血 / 86
- 第四节 新生儿胆红素脑病 / 92
- 第五节 脑性瘫痪 / 94

**第六章 颅脑损伤 / 99**

- 第一节 概述 / 99
- 第二节 脑挫裂伤 / 103
- 第三节 颅内出血 / 106
- 第四节 弥漫性脑损伤 / 112

**第七章 脑血管疾病 / 116**

- 第一节 概述 / 116
- 第二节 脑梗死 / 122
- 第三节 短暂性脑缺血发作 / 136
- 第四节 脑出血 / 140
- 第五节 蛛网膜下腔出血 / 147
- 第六节 血管性痴呆 / 153

**第八章 脑复苏 / 158**

- 第一节 缺血缺氧性脑病 / 158
- 第二节 影像学变化 / 161
- 第三节 高压氧治疗 / 163

**第九章 颅内感染 / 166**

- 第一节 概述 / 166
- 第二节 脑膜炎 / 171
- 第三节 流行性脑脊髓膜炎 / 181
- 第四节 流行性乙型脑炎 / 185

**第十章 多发性硬化 / 191**

**第十一章 阿尔茨海默病 / 199**

**第十二章 帕金森病 / 208**

**第十三章 颅内肿瘤 / 214**

**第十四章 一氧化碳中毒 / 226**

- 第一节 急性一氧化碳中毒 / 226
- 第二节 一氧化碳中毒迟发性脑病 / 246

**第十五章 潜水减压病 / 258**

- 第一节 概述 / 258
- 第二节 潜水减压病治疗 / 261
- 第三节 影像学 / 264

**第十六章 高原病 / 266**

- 第一节 急性高原反应 / 266
- 第二节 高原肺水肿 / 270
- 第三节 高原脑水肿 / 275
- 第四节 慢性高原病 / 279

**参考文献 / 284**

**附表 减压病治疗加压方案 / 291**

## 第一节 概 述

高压氧医学以高压氧为主要研究对象，是一门综合的临床学科。高压氧医学的学科定义：研究压力与氧在医学的应用理论及实践的学科。换言之，高压氧医学是应用大气压力与氧气及相关方法诊断、治疗疾病和进行医学研究的学科。

### 一、高压氧医学的特点

高压氧医学以其应用和研究的范围及侧重点不同，可分为高压氧医学基础和高压氧医学临床应用两部分，其中高压氧医学基础主要包括高气压医学知识、氧及其他气体医学知识等。高压氧医学基础的主要任务是发展、创立新的诊疗技术和方法。高压氧医学的临床应用必须建立在高压氧医学基础之上，就像外科医师必须掌握解剖学和生理学知识一样。因此，在掌握和应用临床医学知识的同时，具备扎实的高气压医学知识是高压氧医学的突出特点。

### 二、高压氧医学相关概念

高压氧医学与潜水医学密切相关，其理论知识来源于高气压医学，两者是高气压医学的重要组成部分。要真正把高压氧医学做好，必须具备良好的高气压医学知识。常用的概念如下。

#### （一）高气压

凡是高于常压（1个大气压强）的压力称为高气压。

#### （二）高压氧

将机体置于高压氧舱内，在高于1个大气压的条件下吸纯氧或高浓度氧称为高压氧。

#### （三）高压氧疗法

用高压氧治疗疾病的方法称为高压氧疗法。

#### （四）高压氧舱

用于实施高压氧疗法的设备称为高压氧舱。高压氧舱是按压力容器规定和高压氧治疗需求标准设计制造的、耐高压的密闭的舱体，也是一种特殊的医疗设备，可通过向舱内输入压缩气体（空气或氧气），在舱内形成一个高气压环境，患者在其中实



施吸氧治疗。现代的高压氧舱设置有各种先进的医疗监护系统，如心电、脑电监护，保证临床治疗和科研的需要。同时，舱内装饰力求美观，舒适，采光好，患者出入安全，解除患者恐惧。

### 三、高压氧医学重要事件与杰出人物

17世纪中叶，意大利物理学家Torriceli发明用汞柱测大气压，英国化学家Boyle发现气体定律，高气压在一些特殊作业环境（如沉箱、隧道、潜水等）中得到应用，以便使呼吸气体内外压力保持平衡。18世纪末，人类发现氧气并将其分离成功，氧气在生命活动的重要作用为人们所认识，并被用来治疗各种疾病。

#### （一）反证高压氧的作用

1891年，美国Curningham发表高压氧治疗精神和神经疾病的论文。1921年，他在美国建造成直径3m、长25m的大型高压氧舱，时逢美国流行性感冒暴发，居住高原地区的患者病死率较高，医务人员推测与气压高低有关。因此，部分合并发绀、昏迷的重症患者被安排进行高压氧治疗，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，所有患者都死亡，Curningham认为这一事件反证高压氧的良好效果。可以说，在特殊时刻、特殊环境下，显示出高压氧治疗的独到之处。

#### （二）无血生命

高压氧医学发展中一个具有里程碑意义的事件是“无血生命”的实验研究。它开创了高压氧医学研究的先河，极大地增加了高压氧应用的理论支撑。看似简单的实验，却是研究者创新思维的生动体现，以及医学家前期工作的积累。因此，任何进步都需要勇于思考，并且付诸行动才能实现。创新、思考、实践，而后有所收获。

1959年，荷兰学者Boerema做了著名的“无血生命”（life without blood）实验：将实验动物的血液全部放光，输入盐水和胶体溶液，随即将几乎没有红细胞的动物置于高压氧舱内，动物顺利生存15min，心电图正常，然后输还血液，减压出舱，动物生存良好；对照组不进行高压氧治疗，动物很快因缺氧死亡。据此，Boerema在美国外科杂志发表著名的论文《无血的生命》，引起医学界广泛的兴趣和重视。

#### （三）全球高压氧应用

因无血生命的巨大鼓舞，短时间内全球各地纷纷开展高压氧治疗临床疾病活动，并进行各项科学实验。由于医学科技水平的提高，人们对高压氧的生理作用、治疗机制、不良反应有了全面的认识，加上氧舱设备的完善和安全，使高压氧医学迅速发展成为一门新兴学科。1963年起，每3年左右分别在不同国家举行高压氧医学国际学术会议，交流高压氧医学实践中的经验和教训。1993年及2008年，先后有两次高压氧医学国际会议在我国的福州和北京召开。总体上说来，国际高压氧医学界不断壮大，各国医学界、医疗保健部门在高压氧医学的基础研究与临床应用中逐年增加投入，高压氧舱设备生产、高压氧临床应用越来越多，并被越来越多的专业人士所认同。

#### （四）高压氧促进干细胞动员

2006年，美国宾夕法尼亚大学Stephen教授在《美国心脏与循环生理杂志》上发表了题为《高压氧治疗使干细胞释放》的文章，将高压氧治疗带入第二个春天，为干细胞对损伤的修复起决定性作用，高压氧治疗后患者体内循环干细胞的数量增加了8倍。高压氧治疗是临床上升高干细胞最安全的方法，比其他任何药物都安全。

#### （五）李温仁教授引进中国第一台高压氧舱

20世纪60年代初，李温仁教授在福建福州协和医院引进中国第一台高压氧舱，在高压氧舱内进行心脏手术，极大地延长了心脏停搏时间，为心脏手术创造了更好的时机，开创了中国的高压氧事业。自那时起，中国的高压氧医学不断发展并呈星火燎原之势，社会影响力日增。近些年来，高压氧医学在我国形成了蓬勃发展的良好势头，高压氧医学队伍不断壮大，高压氧舱台数和医、护、技工作人员逐年增加。中国成为全球高压氧舱最多、从业人员最多的国家。新建氧舱多使用空气加压舱，多舱室互通且独立的高压氧舱群成为主流，无论是规模还是技术含量都大幅提升。2009年，中南大学湘雅医院高压氧大楼投入使用，建筑面积达3000m<sup>2</sup>，拥有供50人使用的高低压氧舱群，该舱三舱八门，拥有坐式治疗舱、担架式治疗舱、超高压治疗舱、低压治疗舱、VIP舱等，配有完善的监测、通信、换气、音乐欣赏等设施。随着科技的进步，宽敞、舒适、舱内设施先进的高压氧舱是现代高压氧医学设备发展的方向。

## 第二节 高压氧临床应用的规范化及未来方向

### 一、高压氧临床应用

#### （一）效果显著的疾病

高压氧治疗涉及临床各科，应用广泛，在心肺脑复苏、减压病、气栓症、脑梗死、脑及脊髓损伤、新生儿窒息、感染性脑病、植物人、老年痴呆、一氧化碳中毒、自缢、溺水、气性坏疽等重症的治疗中均获良好效果。

#### （二）运动康复

对于高强度运动造成的机体缺氧、内环境失调、不同程度地损伤，高压氧治疗是有效的康复疗法，因此高压氧在运动医学应用中具有广阔前景。同时，一些老年疾病成为高压氧治疗的适应证，高压氧治疗老年病和抗衰老受到医学工作者的关注。

#### （三）联合放射治疗、化学治疗抗癌

医学界普遍认为，高压氧是放射治疗和各种抗癌药物的一种增效手段，特别是在寻找更有效抗癌疗法的今天，高压氧在抗癌治疗及放射治疗、化学治疗并发症防治中发挥积极作用，表现出不容忽视的价值。



## 二、高压氧临床应用规范化

中华人民共和国国家标准《医用高压氧技术》由第二军医大学附属长海医院刘青乐教授为主要起草人。标准的制订从以下几个方面进行了规范。

### （一）高压氧学科定位

标准建议：高压氧科是从事日常缺氧、缺血性及中毒性疾病诊治，并承担急诊救治任务的综合学科，属临床医学学科。高压氧舱承担着有害气体中毒、自缢、溺水等急、危重患者的救治任务，将高压氧科定为临床学科，有利于救治患者，充分和有效发挥高压氧治疗在急诊救治方面的作用。

### （二）高压氧科室设置

标准建议：高压氧科宜设专科门诊，三级医院宜设有专科病房。这将有助于提高高压氧医务人员的工作积极性和主动性。

### （三）助推高压氧医学诊治标准化

高压氧医学在医学学科建设中全面临床化是一种趋势，它同临床各学科紧密交叉联系，是多学科的融合。高压氧医学实践中，参照药物研究与临床应用方法，从剂量、疗程、不良反应方面进行探讨，用全面和全新的观念解读与应用高压氧治疗，加强临床应用中的诊治标准化。

## 第三节 影像医学与脑部疾病的高压氧应用

当今科技迅猛发展，这使得影像医学在临床医学中发挥着越来越重要的作用。在脑部疾病的高压氧治疗应用中，影像医学成为治疗适应证和疗效判断的客观评价指标。

### 一、影像医学简介

1895年，伟大的德国物理学家伦琴发现了肉眼看不见的X线，至20世纪初X线诊断成为临床医学的重要手段，从此影像医学应运而生，成为现代医学不可分割的重要组成部分，是对人体组织非侵袭性的成像诊疗技术。在当今生物-心理-社会医学模式下，医学的境界不断拓展，在诊断和治疗上强调关心患者、关注社会、注重技术与服务的共同提高。人们不仅仅要求微创甚至无创诊疗方法，还要求对疾病进行早期诊断和预防，这必然要求和促进诊断方法不断变革和更新，影像医学飞速发展的基础和动力即来源于此。影像医学是借助医学影像设备对人体或人体某部分进行检查的一门科学，目前常用的影像学技术有X线成像检查、荧光透视镜、心血管摄影、CT成像检查（包括普通CT和螺旋CT）、磁共振成像、超声成像、热影像技术、光声成像技术、荧光血管显影术等。

影像医学在临床医学中发挥着重要的作用。疾病的诊断依据包括临床症状体征、影像学检查、功能学检查和实验室检查四部分，其中影像学的结果占很重要的比例，大多数疾病是基于影像学结果做出最终诊断。临床医师需要影像科医师提供精准的疾

病诊断、定位、分期和疗效评价等信息以指导治疗计划的制订和调整；影像科医师需要临床提供精准的临床信息参考以更准确地做出诊断。同时，未来的影像医学将以预测、预防为先导，以早期诊断为重点，为预防医学、临床医学和康复医学提供一切与健康有关的、以影像为基础的生物学信息，是制订各种治疗计划不可或缺的基础。

## 二、脑部疾病在临床医学中占有较大比重

脑部疾病在临床医学中占有重要地位，而在高压氧医学临床应用中更是首当其冲第一重要的疾病。高压氧医学研究以高压氧为主要诊疗手段的相关疾病，作为一门临床医学学科，对于脑部疾病的发生、发展、诊断、治疗及预防是高压氧医学的主要内容。

高压氧医学对于脑部疾病的应用，主要体现在以下几个方面。

### （一）脑是人体最重要的器官

脑的结构最复杂，它控制着人体全部器官的活动。脑是人体最大的耗氧器官，氧供应的保障对于脑来说至关重要。高压氧的应用对象近50%为脑部疾病者。对脑部疾病的治疗在临床医学中的重要性毋庸置疑。

### （二）高压氧是意识障碍的重要治疗手段

以高压氧为主的综合治疗，对于意识障碍患者有明显的保醒作用，可显著降低其致残率、提高生活质量，可以说是起到了“关了一扇门，打开一扇窗”的作用。

### （三）促进颅脑手术恢复

颅脑术后出现昏迷、意识障碍、运动功能、语言功能受损害的患者，进行高压氧治疗可以促进苏醒，运动、智能恢复快，成为手术治疗颅脑疾病的重要辅助手段。

## 三、学科联合助推高压氧医学临床应用

1. 注重对高压氧医学临床思维的培养，强调应用拓展，以下三部分内容相互衔接和彼此渗透，融为一体。

（1）脑部解剖学，以清晰了解脑的组成及脑各部分功能。

（2）脑部影像学。

（3）脑部疾病的高压氧医学，包括损伤、肿瘤、炎症等疾病的发生、发展、机制等，综合治疗，高压氧特色治疗。

### 2. 高压氧医学的发展方向

（1）高压氧医学的应用：临床化是大趋势，将推动学科的全面发展，包括技术、人才、设备等。重点在于医学影像、电生理监测、呼吸、生命支持技术等。

（2）高压氧医学临床研究：高压氧治疗剂量、不同疾病的治疗方案、机制，以及联合治疗等，都可以开展广泛深入的研究。

（3）高压氧医学基础研究：脑的再生、重塑、重构，对人体智能的恢复具有重要意义，能起到促进苏醒的作用，在脑损伤的高压氧应用基础方面，有许多未知领域有待于研究。

（4）高压氧设备的开发和升级换代：有软体氧舱、保健氧舱、便携式氧舱等，可克服生理和地理环境的障碍。

(5) 团队化研究：包括跨学科研究、学科联合研究等。高压氧医学是现代医学的重要内容，促进了医学科学的发展与细化。抗生素的应用使得人类在与疾病的斗争中多了一个杀伤性武器，高压氧使人类面对缺血缺氧性疾病有了一个保护性武器，增加了人体“内力”。高压氧医学是一门综合性学科，而影像医学是典型的形态与功能相结合的学科，两者的结合将对于脑部疾病的治疗起到更好的提升作用。

( 彭慧平 吴钟琪 陈自谦 )



## 第一节 高压氧医学基础理论

## 一、高压氧医学的物理学基础

高压环境下，机体所接触的是高压空气或高压氧气，高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。

## (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78.084%，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）及水蒸气，另外空气中还含有不同程度的灰尘和其他杂质。高压氧医学涉及的主要气体如下：

1. 氧气 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。常压下，把氧气冷却到 $-182.96^{\circ}\text{C}$ 时，就变成淡蓝色透明而易流动的液态氧。在标准状态下即 $0^{\circ}\text{C}$ 、1个绝对大气压下，气态氧的密度是 $1.426\text{g/L}$ ，比空气略重（空气的密度是 $1.293\text{g/L}$ ）。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，是机体唯一赖以维持生命的气体，没有氧气人就不能生存。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。

2. 氮气 氮气无色、无臭、无味，比空气稍轻（比重为 $1.25\text{g/L}$ ）。 $\text{N}_2$ 在水里溶解度很小，其化学性质不活泼，分子结构很稳定，故 $\text{N}_2$ 被称为惰性气体，在吸入高分压 $\text{N}_2$ 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。

3. 二氧化碳 在常态下它是一种无色、无臭、无味的气体。当 $\text{CO}_2$ 浓度较高时，它具有有一种酸臭味，其密度比空气大、微溶于水。人和动物体内的碳在氧化产能的同时，产生 $\text{CO}_2$ 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 $\text{CO}_2$ 气体，否则会引起意识障碍，对于高压下的人员， $\text{CO}_2$ 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，以排出 $\text{CO}_2$ 。

4. 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，吸入人体后会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) 气体基本特征

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地朝各个方向迅速移动，互相碰撞而改变运动方向，这就是气体动力学理论，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，且其容积与压力成反比。

1.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），1L气体的质量为标准密度。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如表2-1所示。

表2-1 空气中常见气体的密度

| 气体   | 密度        |      |
|------|-----------|------|
|      | 标准密度（g/L） | 相对密度 |
| 空气   | 1.30      | 1.00 |
| 氧气   | 1.43      | 1.10 |
| 氮气   | 1.25      | 0.96 |
| 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 |
| 氯气   | 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，将会缓解呼吸肌疲劳，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。

2.气体扩散与溶解 分子不停地进行着无定向运动，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。气体溶解于液体与其溶解系数有关，溶解系数指在恒定温度和 1 ATA 下，某种气体溶解于 1ml 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如表 2-2 所示。

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   | 0.008 5 | 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，100ml 液体中溶解的气体的毫升（ml）数来表示。溶解度与分子质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，而与气体分子质量的平方根成反比。例如，CO<sub>2</sub> 在血液中的溶解度约为 O<sub>2</sub> 的 24 倍，若分压差相同，通过计算 CO<sub>2</sub> 的扩散速率约为 O<sub>2</sub> 的 21 倍；而正常肺换气时，在肺泡气与静脉血之间，O<sub>2</sub> 的分压差约为 CO<sub>2</sub> 分压差的 10 倍，所以 CO<sub>2</sub> 扩散速率只比 O<sub>2</sub> 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、气体分子质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；与分子质量的平方根成反比。

3. 气体的比热容和热传导

（1）气体的比热容：质量为 1g 的物质，温度升高 1℃ 时所吸收的热量，称为该物质的比热容。比热的单位为 J/（g·℃）或 kJ/（kg·℃）。

气体受热时，它的体积和压强都会发生改变，这对气体比热的影响较大。因此，必须分别在气体的压强不变而其体积可以改变，或气体的体积不变而其压强可以改变的两种情况下研究气体的比热容，前者称为等压比热容，后者称为等容比热容（表 2-3）。等压比热容要大于等容比热容，这是因为在等压过程中，气体体积膨胀做了一定的功，要消耗一部分热能，所以气体在等压过程中比在等容过程中所吸收的热量要多一些。由表 2-3 可见，氦气的等压比热容是 5.23，而氮气为 1.05，因此氦气的比热容比氮气大 4



倍。在潜水作业中，当用氦气代替氮气配成混合气体供潜水员呼吸时，氦气将比氮气吸收更多的热量，这对潜水员的体温调节有较大的影响。

表2-3 各种气体的比热容[J/ ( g · °C ) 或kJ/ ( kg · °C ) ]

| 气体   | 等压比热容 | 等容比热容 |
|------|-------|-------|
| 二氧化碳 | 0.84  | 0.63  |
| 氧气   | 0.92  | 0.67  |
| 空气   | 1.00  | 0.71  |
| 氮气   | 1.05  | 0.75  |
| 一氧化碳 | 1.05  | 0.75  |
| 水汽   | 1.84  | 1.38  |
| 氦气   | 5.23  | 3.14  |
| 氢气   | 14.23 | 10.09 |

(2) 气体的热传导：热传导是物体内部温度的均匀化过程，在此均匀化过程中，能量由温度高的地方向温度低的地方传递，因此也可以说，热传导是能量的运输过程。

物质的热传导性能通常用导热系数来表示。导热系数小则表示物质的热传导性能差。不同气体的导热系数是不同的（表2-4）。

表2-4 各种气体的导热系数[kJ/ ( m · h · °C ) ]

| 气体   | 0°C时导热系数 | 与空气导热系数之比 |
|------|----------|-----------|
| 二氧化碳 | 0.049 34 | 0.61      |
| 氩气   | 0.056 87 | 0.71      |
| 空气   | 0.080 31 | 1.00      |
| 氮气   | 0.082 11 | 1.02      |
| 氧气   | 0.083 91 | 1.04      |
| 氟气   | 0.159 87 | 1.99      |
| 氦气   | 0.496 34 | 6.18      |
| 氢气   | 0.568 32 | 7.08      |

由表2-4可以看出，氦气的导热系数约为空气的6.2倍，所以采用氦气潜水时，通过氦气的热传导，人体将丧失更多的热量，因此必须采取相应的保温措施，以防止潜水员在呼吸氦氧混合气体时过度受寒。

4. 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。