

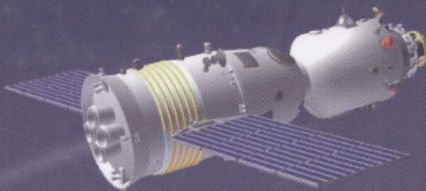
# 航空航天医学全书


Aerospace Medicine Books

总主编 蔡耀明

## 航空航天生理学

主编 余志斌



 第四军医大学出版社

014031713

V7  
17  
V2



国家出版基金项目  
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

# 航空航天医学全书

总主编 常耀明

## 航空航天生理学

主 编 余志斌



第四军医大学出版社·西安



北航

C1720243

V7  
17  
V2

014031713

图书在版编目 (CIP) 数据

航空航天医学全书. 航空航天生理学/余志斌主编. —西安: 第四军医大学出版社, 2013. 12

ISBN 978 - 7 - 5662 - 0444 - 8

I. ①航… II. ①余… III. ①航空航天生理影响 IV. ①R852

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 308927 号

余志斌 主编

航空航天生理学

余志斌 主编

hangkong hangtian shenglixue

航空航天生理学

出版人: 富明 责任编辑: 富明 王雯

出版发行: 第四军医大学出版社

地址: 西安市长乐西路 17 号 邮编: 710032

电话: 029 - 84776765 传真: 029 - 84776764

网址: <http://press.fmmu.edu.cn>

制版: 绝色设计

印刷: 陕西天意印务有限责任公司

版次: 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 21.5 字数: 450 千字

书号: ISBN 978 - 7 - 5662 - 0444 - 8/R · 1297

定价: 86.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书, 凡有缺、倒、脱页者, 本社负责调换

# 航空航天医学全书

Aerospace Medicine Books

## 编 委 会

顾 问 张立藩 俞梦孙 陈善广 梅 亮

总 主 编 常耀明

编 委 (按姓氏笔画排序)

马 进 王 颀 王生成 王建昌

王树明 文治洪 卢志平 白延强

孙喜庆 苏洪余 李松林 李鸣皋

李金声 李勇枝 李莹辉 肖 玮

肖华军 肖海峰 余志斌 张 舒

张作明 张建杰 苗丹民 罗正学

罗永昌 胡文东 姜世忠 姚永杰

耿喜臣 徐先荣 曹新生 董秀珍

虞学军 詹 皓

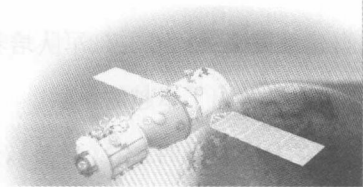
# 航空航天医学全书

Aerospace Medicine Books

## 《航空航天生理学》

### 编 委 会

- 主 编 余志斌
- 副 主 编 马 进 肖华军 虞学军
- 编 者 (按姓氏笔画排序)
- 马 进 王云英 任东青 肖华军
- 余志斌 张 琳 张立藩 费锦学
- 程九华 焦 博 谢满江 虞学军
- 暴军香
- 学术秘书 焦 博



# 序

## 1

近日欣闻常耀明同志担任总主编的国家出版基金资助项目《航空航天医学全书》(以下简称《全书》)即将出版,这套《全书》较为全面地覆盖了航空航天医学领域的各个专业,包括了《航空航天医学史》《航空航天生理学》《航空航天临床医学》等十部专著。作为一名长期从事航空航天医学工作的科技工作者,我非常高兴地看到有这么多同行专家积极参加《全书》的编写,也非常感慨航空航天医学体系能够扩大到今天的规模,并有如此迅猛的发展。因此,当常耀明同志邀请我为《全书》作序时,我乐见其成,也乐为之序。

航空医学的工作于我而言,是近六十年的主要事情,而航天医学也正是在这六十年中逐渐起步并渐趋成熟的。作为一门独特的学科,航空航天医学经历了波澜壮阔的发展过程,与社会的巨大变革紧紧地交织在一起,为百余年来人类飞行的发展做出了重要的贡献。航空医学,从早期仅仅关注高空缺氧、寒冷和低气压等问题,逐步演变成人体生理学、药理学、临床医学、工效学、电子学以及材料学等多学科交叉融合的独立的医学学科,并且衍生发展出航天医学,成为航空航天医学学科。

我国的航空航天医学在新中国成立后的六十四年来也得到了巨大的发展。从初期的飞行人员体检队,逐步建立健全了专业教学机构第四军医大学航空航天医学系、专业研究机构空军航空医学研究所、中国航天员科研训练中心和专业临床机构空军总医院、海军总医院等航空航天医学机构,形成了较为完整的中国航空航天医学组织体系。需要指出的是,第四军医大学航空航天医学系作为国家重点学科,是国内高校唯一的航空航天医学专业本科、硕士、博士授权学科和博士后培养点,并建立了航空航天医学的继续教育体



系,自建系以来,已为国家、军队培养航空航天医学专业人才近万名,对我国航空航天医学事业的发展做出了卓越的贡献。

众多专家编写的这套《全书》,是对我国几十年来航空航天医学工作的一次深刻总结,凝聚了航空航天医学工作者无数的心血。通览《全书》,可以体会到大家充分利用现代科技进步的成果,从不同的研究角度对航空航天医学开展了行之有效的探索,这套《全书》的总结成果对进一步推动我国航空航天医学事业的发展具有重要的意义。

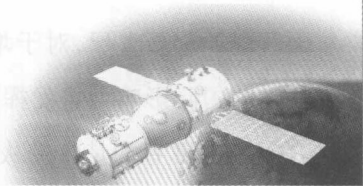
现如今,在疾病机制和防治研究上,国内外都有过于侧重细胞和分子生物学的研究趋向。然而航空航天医学的历史发展证明,真正解决飞行人员的医学问题,还是需要依靠应用科学的实际工作,同时也要继续重视科学的健康管理。我的工作体会,就是充分利用学科交叉的成果,积极探索解决问题的便利手段。

对未来的航空航天医学工作,我也有些思考与大家一同商榷。一是希望继续做好医学与工程的结合,这不仅有助于更好地解决实际工作中的医学问题,也能更好地拓展航空航天医学的学科建设。二是要注重复杂问题的简单化处理,我一直以为解决复杂问题的线索始终存在于简单的事物之中。三是建议把握好独立与系统的关系。这些年来,医学界的学科愈分愈细,追求学科独立,航空航天医学也有这种趋势。我以为单独的学科和片面的趋细是不可能长久立足的,系统应是更加重要和需要把握的方向,只有从整体和系统论的角度把握问题中各环节的关系,才能更有效地解决实际问题。

最后,感谢我国的航空航天医学工作者所付出的艰辛努力,也欢迎更多的有志青年投身于我国航空航天医学的建设事业。



2013年12月



# 序

## 2

随着国家的发展和强大,我国航空兵规模、载人航天工程水平和民航事业已傲然屹立于世界之林,航空航天医学也在国际同领域上占有重要的地位。我从一名战斗机飞行员成长为一名航天员,并驾乘“神舟”号飞船圆满完成了我国首次载人航天飞行任务,亲眼见证和亲身感受到了我国航空航天医学的显著进步。

在飞行部队,航空军医为飞行员安全飞行和顺利完成任务保驾护航,他们的专业知识和素养以及严谨细致的工作态度,给我留下了深刻的印象。在航天员大队,众多的航天医学工作者为我们航天员的职业生涯提供了重要的医学保障。航天飞行环境的特殊性和飞行任务的繁重性、复杂性对航天员提出了更高的要求,航天医学工作者制订了科学严格的训练方案和医监医保方案,并建立了有效的防护措施,很好地帮助我们 from 生理、心理上适应航天飞行的挑战。

当看到第四军医大学航空航天医学院、中国航天员中心、空军航空医学研究所等单位的专家学者共同编纂的《航空航天医学全书》(以下简称《全书》)时,我更加深刻体会到我国航空航天医学工作者们几十年的艰苦奋斗和执著追求,衷心感谢他们为保障我国飞行员和航天员的健康与安全所付出的艰苦劳动,同时也祝贺他们在航空航天医学研究与实践方面所取得的丰硕成果!

《全书》全面系统地回顾了航空航天医学的发展历程,融入了我国航空航天医学研究与实践的最新成果,梳理了当前和今后一个时期航空航天医学领域的重大科学问题和前沿研究热点。我相信,这对于推动我国



航空航天医学的创新发展,对于增强国内相关领域学术交流与合作,对于提高我国航空航天医学的国际影响力将发挥重要的促进作用。

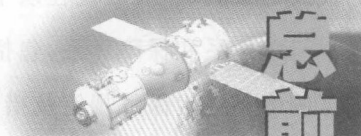
《全书》的编著者均是直接从事航空航天医学研究与实践领域的专家,他们的理论水平和实践经验为本书的科学性、严谨性提供了重要保证。《全书》结构合理、深入浅出,较好地做到了知识性和可读性的和谐统一,既可作为航空航天医学研究人员的理论参考书,也可作为航空航天医学工程人员的工具书,还可作为相关领域本科生、研究生的教科书,具有较为广泛的应用价值。

我国正在大力发展航空航天事业,这对航空航天医学工作者提出了新的、更大的挑战。强化科技基础、培育创新人才、增强自主创新能力是应对这些挑战的重要举措。借此机会,期望我国的航空航天医学工作者始终以航空航天事业的需求为牵引,再接再厉,不断创新。也期望更多的有志青年胸怀梦想、勇挑重担、勤勉自强,为推动我国航空航天医学的创新发展贡献力量!这也是我欣然受邀,为本书作序的重要原因之一。



2013年12月

# 总前言



航空航天是目前人类认识和改造自然进程中最具活力、最具影响的科学技术领域,尤其是载人航空航天活动,其发展水平不仅是一个国家综合国力的集中体现,更与国防安全息息相关。尽管现代航空器或航天器携带的系统配备越来越精确、灵敏,并能够进行自动观察、存储、处理数据并自动操作,但永远代替不了人的作用,人始终是航空航天活动的核心要素,因此,保证飞行员、航天员生命安全,为他们创造健康、高效的工作生活环境,也是航空航天事业的一个重要组成部分,这就催生了航空航天医学的建立与发展。只要有载人航空航天活动,就离不开航空航天医学。

航空航天医学(aerospace medicine)是研究人在大气层和外层空间飞行时外界环境因素(低压、缺氧、宇宙辐射等)及飞行因素(超重、失重等)对人体生理、心理功能的影响,寻找有效的防护措施,保证飞行员和航天员的健康与安全,提高完成各种飞行任务的效率以及为航空航天工程技术发展提供医学数据的一个综合性的医学分支,是一门集医、工、理、化、生及社会科学等于一体的前沿交叉学科,经历了一个从萌芽到诞生、再到飞速发展的过程。它涉及航空航天生理学、航空航天生物动力学、航空航天心理学、航空航天临床医学、航空航天医学工程学等多个学科。

从中国人独立自主制造各种飞行器上天,到中国航天第一人杨利伟的太空遨游,再到翟志刚在太空留下中国人的第一个脚印,我国航空航天事业空前繁荣,航空航天医学的发展也驶入快车道,取得了举世瞩目

的成果与成就,主要表现在以下几个方面:建立了一套完整的具有中国特色航空航天医学组织体系和保障体系,包括飞行人员的体检标准和体检制度,航空航天生理心理训练制度及卫生保障规定及措施等;对航空病和飞行人员常见病、多发病的防治研究取得了较大进展,制定了供氧、抗荷、弹射救生装备的生理卫生学标准;建立起几十家航空航天医学教学、训练、科研、临床医疗机构,培养了一大批优秀的航空航天医学人才,为我国航空航天医学的发展做出了卓越贡献。这些成果与成就是广大航空航天医学工作者心血和智慧的凝练与结晶,是航空航天医学领域甚至航空航天事业的宝贵财富。身为欲为航空航天医学事业奋斗终生的一员,深感把这些优秀成果转化为知识力量的必要性与重要性。这正是《航空航天医学全书》(以下简称《全书》)这套丛书的动意。

《全书》力求全面、系统,从航空航天医学研究内容出发,共设十个分册,《航空航天医学史》《航空航天生理学》《航空航天生物动力学》《航空航天心理学》《航空航天临床医学》《航空航天药理学与毒理学》《航空航天卫生学》《航空航天卫生勤务》《航空航天医学工程学》《航空航天生理心理训练及疗养学》,几乎涵盖了航空航天医学各个学科。《全书》首次对我国乃至全球航空航天医学进行系统、全面的总结;首次深入分析比较我国及其他发达国家航空航天医学发展的历程、现状及前景,为实现我国航空航天医学的长期、可持续发展提供理论依据;首次全面梳理当前航空航天医学领域的重大科学问题和前沿研究热点,对于增强国内、国际学术交流与合作,促进我国航空航天医学事业国际化进程,尽快缩短与发达国家的差距具有重要的推动作用。《全书》不仅对于我国航空航天医学领域而言具有较高的学术价值和应用价值,即便在全球范围,由于其特殊的承载和交流作用,对于提升我国航空航天医学在国际领域的影响力和地位亦有重要意义。

《全书》从策划、编纂到出版历时两年有余,凝结了第四军医大学航空航天医学院、中国航天员科研训练中心(原航天医学工程研究所)、空军航空医学研究所、空军总医院、民航医学中心(民航总医院)等代表我国航空航天医学研究最高水平的权威机构学科带头人和科研工作者的心血,是一次集体智慧和学术的呈现,在此向给予《全书》关心、支持和帮助的各级领导以及付出辛苦劳动的各位同仁表示衷心的感谢!

在《全书》的编写过程中,我们参考、借鉴了许多国内外作者的观点和有关资料,主要参考文献均列于每章内容之后,在此谨向各位作者表示最衷心的感谢。有些资料因

各种原因,已无法找到原始出处及作者,在此谨向原作者致歉并表示衷心的感谢。《全书》得以顺利出版,还要特别感谢国家出版基金的资助。

在编写过程中,我们始终保持科学、严谨、缜密、认真、负责的态度,对所著内容反复论证、修订,以期成书尽善尽美,成为经典、传世之作,但却难免留下一些不足和遗憾,希望本《全书》对学界同行的学术探索有所镜鉴,对青年一代航空航天医学工作者的学术成长有所启迪,对我国航空航天事业的发展有所支撑和保障。未来航空航天医学工作者的职责任重道远,本次创作只是一次知识的激荡和学术的碰撞,我们还要继续努力。

A handwritten signature in black ink, reading '常魏明' (Chang Weiming). The characters are written in a cursive, flowing style.

2013年12月



# 前言

随着我国经济的快速发展,我国的航空航天事业已步入快车道且前景广阔。在军事活动中,喷气式战斗机已发展到第四代,并出现第五代战机。在民用航空中,500座以上的大型民用客机已投入营运。在航天活动方面,2003年神舟五号载人航天圆满成功,使我国成为世界上第三个能独立自主开展载人航天的国家。2011年11月,天宫一号与神舟八号飞船成功对接,由此,我国成为世界上第三个自主掌握空间交会对接技术的国家。2013年6月,天宫一号与神舟十号飞船第五次成功交会对接,标志着我国具备独立建立空间站的能力。然而,在所有这些航空航天活动中,除飞行器外,由于人的主动性与创造力,人成为不可或缺的、至关重要的因素之一。因此,所有载人飞行器必须依据人的各种耐受限度而设计。另一方面,航空航天活动带来了特殊的环境因素,这些因素对人产生影响的规律、机制与防护等,则成为航空航天生理学的主要内容。

《航空航天生理学》不仅系统描述了航空航天特殊环境因素对人体生理功能影响的规律、机制及其防护原理与措施,而且介绍了航空航天生理学的最新进展。全书分为九章,主要内容包括:地球大气环境的特征;在航空活动中,气体环境变化(低气压与缺氧)、辐射、温度与时差效应对机体的影响及其防护与对抗措施;在航天活动中,失重、辐射和隔离环境对机体的影响与对抗措施。这些系统知识对保障航空航天活动的安全,维护机组人员和乘客的健康、舒适及提高飞行劳动效率均具有重要意义。

航空航天生理学是航空航天医学的重要基础,亦是一名航空航天医务工作者必备的基础知识。因此,《航空航天生理学》一书不仅可作为航空航天医学专业本科生和研究生的教科书与工具书,亦可作为航空航天医务工作者

及航空航天医学教育和科研工作者的的重要参考书。同时,本书对于从事飞行器设计、制造的工程技术人员,广大飞行人员和飞机乘务人员,以及从事生理学与病理生理学教学与科研的工作者亦具有实际参考价值和借鉴作用。细心的读者如发现书中的错误与不足,敬请不吝赐教。

余志斌

2013年7月





# 目 录

101  
100  
101  
104  
171  
170  
178  
182  
182  
181  
190  
200  
213  
213  
210  
210  
252  
252  
282  
282  
282  
282  
301  
301  
310  
310  
310  
310

绪论 .....	1
第一章 航空航天环境 .....	11
第一节 地球大气 .....	11
第二节 月球环境 .....	23
第三节 火星环境 .....	28
第二章 低气压的物理性影响 .....	34
第一节 高空胃肠胀气 .....	35
第二节 高空减压病 .....	37
第三节 体液沸腾 .....	54
第四节 迅速减压——肺损伤 .....	56
第五节 中耳及鼻窦的气压性损伤 .....	62
第六节 增压座舱的压力制度 .....	66
第三章 高空缺氧与过度通气 .....	73
第一节 体内气体运输的规律 .....	74
第二节 高空缺氧的分类与意义 .....	83
第三节 急性高空缺氧 .....	86
第四节 过度通气 .....	112
第五节 暴发性高空缺氧 .....	117
第四章 航空供氧 .....	126
第一节 航空供氧原理 .....	126
第二节 加压呼吸的生理影响 .....	130
第三节 航空供氧系统 .....	137



<b>第五章 高压氧医学基础</b> .....	160
第一节 高压氧医学的发展简史 .....	160
第二节 高压氧医学的基本概念与作用机制 .....	161
第三节 高压氧对机体生理功能的影响 .....	164
第四节 高压氧在临床治疗中的作用 .....	171
第五节 高压氧治疗的适应证、禁忌证和副作用 .....	176
第六节 氧中毒 .....	178
<b>第六章 辐射环境与防护</b> .....	185
第一节 基本概念 .....	185
第二节 航空航天活动中辐射的来源 .....	191
第三节 辐射的生物效应 .....	199
第四节 航空航天活动的辐射防护 .....	206
<b>第七章 温度负荷及其防护</b> .....	213
第一节 航空航天温度环境 .....	213
第二节 温度环境的构成 .....	216
第三节 人体与环境的热交换 .....	219
第四节 人体体温生理调节 .....	227
第五节 人的行为调节 .....	232
第六节 人体对温度环境的耐受与评价 .....	235
第七节 航空航天中的温度负荷防护 .....	248
<b>第八章 航空航天活动中的似昼夜节律</b> .....	263
第一节 似昼夜节律 .....	263
第二节 似昼夜节律与航空 .....	271
第三节 似昼夜节律与航天 .....	282
<b>第九章 航天生理学概述</b> .....	285
第一节 空间生命科学的研究领域与分类 .....	286
第二节 微重力对机体的影响 .....	289
第三节 其他环境因素对机体的影响 .....	301
第四节 对抗措施及其对抗效果 .....	303
<b>参考文献</b> .....	312
<b>附录</b> .....	314
<b>索引</b> .....	319

# 绪论

## 一、航空航天生理学及其发展简史

航空航天生理学(aerospace physiology)主要研究航空航天特殊环境因素对人体影响的规律及其机制,并探讨防止其危害或不利影响的防护或对抗措施。它既是航空航天医学的一个重要组成部分,又是生理科学的一个分支。本门学科对保障飞行安全(flying safety),维护机组人员和乘客的健康与舒适,以及提高飞行劳动效率均有重要意义。

航空航天生理学及医学的发展可追溯到19世纪的高空生理研究。第一次载人热气球升空试验成功于1783年。从此,人类的活动范围扩展到陆地与水域之外的第三环境。法国生理学家Paul Bert(1833—1886)于19世纪最先利用低压舱进行高空生理研究,并于1878年发表了《大气压力》一书。虽然第一架由人操纵做动力飞行的飞机成功于1903年,但航空医学却诞生于第一次世界大战及其随后的时期。第一次世界大战期间,飞机被用于军事行动,一些交战国相继认识到医学对飞行工作的特殊重要性,先后成立了专门的卫生机构,设置航空军医,制订军事飞行人员体格标准,开展了最早的飞行卫生保障工作,并对缺氧、供氧、寒冷、飞行服装、营养、飞行眼镜以及视觉功能、前庭功能等进行了初步的研究。当时很重视缺氧耐力检查和飞行人员耐受情况的分级,进一步推动了高空生理研究工作。自20世纪30年代到第二次世界大战结束,航空医学进入成长时期。第二次世界大战期间,主要交战国均注意大力组织航空生理与航空医学研究工作,并取得一系列重大进展。这些工作的意义是深远的:

1. 在应用方面,提出了重要的防护原理或概念,导致诸如密封增压座舱,以及常规与应急加压供氧、抗荷、弹射救生等航空防护救生装备的问世,其对航空事业发展的意义,已无需赘述。

2. 在理论方面,不仅阐明了航空生理学的许多基本问题,也带动了循环、呼吸、温度生理等的基础研究。

3. 在方法学方面,航空生理研究所发展起来的大型模拟设备(如低压舱、人体离心机)和监测技术(如血氧测定、气体组分测定),对后来发展无创和动态生理功能监测均有推动和借鉴作用。

4. 推动了应用生理学的发展。第二次世界大战后的几十年,航空医学进入全面发