

《国防科研试验工程技术系列教材》

航天医学工程系统

航天重力生理学与医学

中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会

国防工业出版社

《国防科研试验工程技术系列教材》

航天医学工程系统

航天重力生理学与医学

中国人民解放军总装备部
军事训练教材编辑工作委员会



国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

航天重力生理学与医学/中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会编. —北京:国防工业出版社, 2001. 1

国防科研试验工程技术系列教材·航天医学工程系统
ISBN 7-118-02452-X

I. 航… II. 中… III. ①重力生理影响—教材
②航空航天医学—教材 IV. R85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 81108 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 16 $\frac{3}{4}$ 438 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 42.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

《国防科研试验工程技术系列教材》 总编审委员会

名誉主任委员 程开甲 李元正

主任委员 胡世祥

副主任委员 段双泉 尚学琨 褚恭信 马国惠

委 员 (以下按姓氏笔划排列)

王国玉 刘 强 刘晶儒 张忠华

李济生 邵发声 周铁民 姚炳洪

姜世忠 徐克俊 钱卫平 常显奇

萧泰顺 穆 山

办公室主任 任万德

办公室成员 王文宝 冯许平 左振平 朱承进

余德泉 李 钢 李长海 杨德洲

邱学臣 郑时运 聂 皞 陶有勤

钱玉民

《国防科研试验工程技术系列教材· 航天医学工程系统》编审委员会

主任委员 沈力平

副主任委员 陈善广 宿双宁 刘新民

委 员 柳玉昌 祁章年 王普秀 马治家
沈美云 陈士贵 陈景山 黄晓慧
黄伟芬 薛 亮 许 铮

主 编 沈力平

副 主 编 陈善广 魏金河 黄端生 姜世忠

秘 书 高青蓝

航天重力生理学与医学

主 编 沈美云

副 主 编 薛月英

主 审 姜世忠

编著人员

第 1 章	沈美云	第 8 章	沈美云
第 2 章	薛月英	第 9 章	沈美云
第 3 章	薛月英	第 10 章	沈美云
第 4 章	沈美云	第 11 章	沈美云
第 5 章	沈美云	第 12 章	沈美云
第 6 章	沈美云	第 13 章	沈美云
第 7 章	沈美云	第 14 章	沈美云 薛月英

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济迅速兴起,国力竞争越来越取决于各类高技术、高层次人才的质量与数量,因此,作为人才培养的基础工作——教材建设,就显得格外重要和紧迫。为总结、巩固国防科研试验的经验和成果,促进国防科研试验事业的发展,加快人才培养,我们组织了近千名专家、学者编著了这套系列教材。

建国以来,我国国防科研试验战线上的广大科技人员,发扬“自力更生、艰苦奋斗、科学求实、大力协同、无私奉献”的精神,经过几十年的努力,建立起了具有相当规模和水平的科研试验体系,创立了一系列科研试验理论,造就了一支既有较高科学理论知识、又有实践经验,勇于攻关、能打硬仗的优秀科技队伍,取得了举世瞩目的成就。这些成就对增强国防实力,带动国家经济发展,促进科技进步,提高国家和民族威望,都发挥了重要作用。

编著这套系列教材是国防科研试验事业继往开来的大事,它是国防科研试验工程技术建设的一个重要方面,是国防科技成果的一个重要组成部分,也是体现国防科研试验技术水平的一个重要标志。它承担着记载与弘扬科技成就、积累和传播科技知识的使命,是众多科技工作者用心血和汗水凝成的科技成果。编著该套系列教材,旨在从总体的系统性、完整性、实用性角度出发,把丰富的实践经验进一步理论化、科学化,形成具有我国特色的国防科研试验理论与实践相结合的知识体系。一是总结整理国防科研试验事业创业 40 年来的重要成果及宝贵经验;二是优化专业技术教材体系,为国防科研试验专业技术人员提供一套系统、全面的教科书,满足人才培养对教材的急需;三是为国防科研试验提供有力的

技术保障;四是将许多老专家、老教授、老学者广博的学识见解和丰富的实践经验总结继承下来。

这套系列教材按国防科研试验主要工程技术范畴分为:导弹航天测试发射系统、导弹航天测量控制系统、试验通信系统、试验气象系统、常规兵器试验系统、核试验系统、空气动力系统、航天医学工程系统、国防科技情报系统、电子对抗试验系统等。各系统分别重点论述各自的系统总体、设备总体知识,各专业及相关学科的基础理论与专业知识,主要设备的基本组成、原理与应用,主要试验方法与工作程序,本学科专业的主要科技成果,国内外的最新研究动态及未来发展方向等。

这套系列教材的使用对象主要是:具有大专以上学历的科技与管理干部,从事试验技术总体、技术管理工作的人员及院校有关专业的师生。

期望这套系列教材能够有益于高技术领域里人才的培养,有益于国防科研试验事业的发展,有益于科学技术的进步。

《国防科研试验工程技术系列教材》

总编审委员会

1999 年 10 月

序

航天医学工程是以载人航天任务为背景,为适应我国载人航天领域研究和研制的实际需要而形成、发展起来的一门医工结合的综合性的技术学科。它以系统论为指导,利用现代科学技术理论与方法,研究载人航天活动对人体的影响规律及其防护方法,研究与研制可靠的工程防护措施,设计和创造合理的人工环境,寻求载人航天系统中人(航天员)、机(载人航天器/运载器)与环境(航天环境/飞行器内环境)之间的优化组合,确保航天活动中航天员的安全、健康和高效工作。

在我国载人航天事业发展的 30 多年历程中,我国从事航天医学工程的专家和广大科技工作者,紧紧围绕航天员和航天器环境控制与生命保障工程这两项最具载人航天特征的研究任务,经过几代人的不懈努力,在关键技术预先研究、系统方案概念论证与可行性论证、工程型号研究和国外先进技术跟踪研究的实践中,逐步建立了以航天医学、航天环境控制与生命保障工程为主线的多学科综合性航天医学工程学科体系。

本套教材对航天医学工程研究的前期工作进行了系统的总结,其目的:一是为本专业人才培养提供一套基础教材,并为本学科的发展起承前启后的作用;二是促进相关专业的技术及管理人员之间的交流,以推动我国国防科技与载人航天事业的发展。本套教材既可作为大专以上从事航天医学工程研究、研制和管理人员的基础教材,也可作为相关领域的技术人员、管理人员以及院校师生的参考用书。

本套教材共分 14 卷。包括:《航天医学工程概论》、《航天环境医学基础》、《航天重力生理学与医学》、《航天员选拔与训练》、《航

天心理学》、《航天工效学》、《航天服工程》、《航天营养与食品工程》、《航天环境控制与生命保障工程基础》(上、下册)、《航天生物医学电子工程》、《航天员医学监督与医学保障》、《载人航天环境模拟技术》和《航天飞行训练模拟技术》。

在本套教材的编写过程中,得到了总装首长、领导机关和兄弟单位的热情支持与帮助,本学科的一些老专家也提出了许多宝贵的意见与建议,在此一并表示衷心的感谢。由于本套教材涉及面广,学科也还在发展之中,加上编者的水平有限,书中难免有疏漏和不当之处,诚请读者予以指正。

《国防科研试验工程技术系列教材·
航天医学工程系统》编审委员会
2000年10月

前 言

重力生理学是随着航空和航天事业发展而逐步形成的一门学科。在1993年我们曾出版了一部关于此方面的专著-重力生理学-理论与实践。由于国外航天事业的迅速发展,飞行中和地面医学研究数据的不断积累,原有的著作已不适应当前我国航天事业发展的需要。因此在总装备部的统一要求下,我们将国内外有关的资料 and 我国航天医学的研究成果加以整理,编写了此书。其中很多国外研究资料来自于最近美国出版的“Space biology and medicine III, Humans in spaceflight book 2.”。

本书共分14章。第1章概论主要介绍重力生理学的发展,重力的基本概念和重力生理学研究常用的模拟方法。第2、3章介绍超重对机体的影响、机理和防护。第4~12章按生理系统分别介绍失重对机体的影响及其机理。第13章是目前航天中应用的失重防护措施。第14章简要地介绍我国重力生理学研究的概况及指出失重生理学研究中应该注意的问题。本书内容全面,层次分明,是一部有实用价值的著作,可作为从事载人航天的专业技术人员、管理人员及从事生理、特殊医学(环境医学、航空医学等)研究人员的教科书和参考读物。

本书在编写过程中得到总装备部和航天医学工程研究所领导的关心和支持,得到杨光华、史之祯、吴大蔚、陈建和、汪德生、赵伦、唐承业、高青蓝等同志的帮助,在此一并表示谢意。

书中有不当之处,恳请读者指正。

编 者

2000年9月

内 容 简 介

本书是航天医学的基础教材,也是关于重力生理学的专著。它系统地阐述了有关重力的基本概念,基本理论,基本方法和国内外研究进展。其主要内容包括:失重和超重的基本概念,生理系统对重力变化的适应和再适应过程,超重和失重对动物和人体各生理系统的影响、机理和防护措施及简要地介绍了我国重力生理学研究的进展。

本书可作为从事载人航天的专业技术人员、管理人员及从事生理、特殊医学(环境医学、航空医学等)研究人员的参考读物。

目 录

缩略词	(1)
第1章 概论	(3)
1.1 航天重力生理学的形成和发展	(3)
1.2 重力的基本概念	(7)
1.3 重力生理学研究常用的模拟方法	(9)
1.4 航天医学研究中的数学模型	(17)
参考文献	(34)
第2章 航天超重环境对人体的影响	(37)
2.1 航天超重环境的特点	(37)
2.2 超重对心血管系统的影响	(42)
2.3 超重对呼吸功能的影响	(63)
2.4 超重对视觉功能的影响	(68)
2.5 超重对中枢神经系统的影响	(70)
2.6 超重作用下的工作效率	(72)
2.7 人的超重耐力	(77)
参考文献	(94)
第3章 航天超重的防护	(98)
3.1 抗超重措施	(98)
3.2 超重耐力的选拔	(104)
3.3 超重耐力的训练	(106)
3.4 航天技术的提高	(108)
参考文献	(108)
第4章 生理系统对重力变化的适应与再适应	(110)
4.1 失重时生理系统变化的起因	(110)

4.2	生理系统对失重的适应和再适应	(125)
4.3	长期飞行面临的医学问题	(132)
	参考文献	(135)
第5章	感觉和感觉—运动功能	(137)
5.1	失重对感觉功能的影响	(137)
5.2	失重时感觉—运动系统的变化	(146)
5.3	失重时感觉—运动协调能力变化的原因	(152)
5.4	提高航天员工作效率的几项措施	(160)
	参考文献	(167)
第6章	航天运动病	(170)
6.1	概述	(170)
6.2	航天运动病的发病机理	(174)
6.3	航天运动病的防护和治疗	(178)
	参考文献	(185)
第7章	失重对血液系统的影响	(187)
7.1	血量	(188)
7.2	红细胞	(198)
7.3	白细胞	(209)
7.4	血液流变性	(212)
7.5	失重时红细胞减少的机理	(221)
	参考文献	(230)
第8章	失重对心血管系统的影响	(233)
8.1	心脏	(233)
8.2	血管	(248)
8.3	脑循环	(261)
8.4	肺循环	(270)
8.5	失重心血管失调的表现	(276)
8.6	失重心血管失调的机理	(288)
	参考文献	(297)
第9章	失重对体液调节系统的影响	(303)

9.1 航天中的研究方法	(303)
9.2 失重和模拟失重时水和电解质的变化	(308)
9.3 失重对肾功能的影响	(323)
9.4 水盐代谢紊乱的机理和影响	(328)
参考文献	(340)
第 10 章 失重对骨骼肌的影响	(344)
10.1 骨骼肌的功能、结构和分类	(344)
10.2 肌肉萎缩	(349)
10.3 骨骼肌代谢	(358)
10.4 骨骼肌功能	(365)
10.5 对机体的影响及机理	(376)
参考文献	(381)
第 11 章 失重时的骨矿物质代谢	(385)
11.1 骨密度	(385)
11.2 骨代谢	(397)
11.3 失重时骨丢失机理	(407)
11.4 骨丢失的危害及防护	(412)
参考文献	(417)
第 12 章 失重对免疫系统的影响	(420)
12.1 免疫器官	(421)
12.2 非特异性免疫功能	(426)
12.3 细胞免疫功能	(431)
12.4 体液免疫功能	(442)
12.5 对机体的影响和机理	(445)
参考文献	(450)
第 13 章 防护措施	(453)
13.1 航天员的选拔和训练	(453)
13.2 飞行中的一般对抗措施	(459)
13.3 飞行中的特殊对抗措施	(465)
13.4 人工重力	(475)

13.5 飞行后的康复和治疗·····	(478)
参考文献·····	(480)
第 14 章 我国重力生理学研究的进展 ·····	(482)
14.1 失重生理学的研究概况·····	(482)
14.2 超重生理学的研究概况·····	(499)
14.3 失重生理学研究的实验设计·····	(508)
参考文献·····	(512)

缩 略 词

ADH	抗利尿激素	HDT	头低位倾斜
ADP	二磷酸腺苷	Ig	免疫球蛋白
ANP	心房尿钠肽	IFN	干扰素
ATP	三磷酸腺苷	IL-2	白细胞介素 2
CBF	脑血流量	LBNP	下体负压
ConA	刀豆球蛋白	LVET	左心室排血时间
CNS	中枢神经系统	LVEDV	左心室舒张末容积
CVR	脑血管阻力	MABP	平均动脉压
CVP	中心静脉压	MCHC	平均血红蛋白浓度
DI	红细胞积分变形指数	MCV	平均红细胞体积
DI max	红细胞最大变形能力	MICP	平均颅内压
		MVBP	平均静脉压
DNA	脱氧核糖核酸	NASA	美国航空航天局
DTH	迟发性超敏反应	NK	自然杀伤细胞
ECG	心电图	PACs	房性期前收缩
ET	脑超慢涨落技术	PHA	植物血凝素
+ Gx	胸背向超重	PTH	甲状旁腺激素
- Gx	背胸向超重	PVCs	室性期前收缩
+ Gy	右左向超重	REG	脑阻抗图
- Gy	左右向超重	SL-1	空间实验室-1
+ Gz	头盆向超重	STS-1	空间生命科学实验室-1
- Gz	盆头向超重	SV	每搏心输出量
GVHR	移宿主反应	Tc	杀伤性 T 细胞
Hct	血细胞比容	Tcs	反抑制性 T 细胞