



航天科技图书出版基金资助出版

航天员出舱活动 医学基础

黄伟芬 主编



中国宇航出版社

航天科技图书出版基金资助出版

航天员出舱活动医学基础

黄伟芬 主编



中国宇航出版社

· 北京 ·

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

航天员出舱活动医学基础 / 黄伟芬主编. —北京:中国宇航出版社,2008.9

ISBN 978-7-80218-378-0

I. 航... II. 黄... III. 航天生保系统 IV. R852.83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 073114 号

策划编辑 邓宁丰 封面设计 03 工舍

责任编辑 刘亚静 责任校对 王 妍

出 版 中国宇航出版社
发 行

社 址 北京市阜成路 8 号 邮 编 100830
(010)68768548

网 址 www.caphbook.com / www.caphbook.com.cn

经 销 新华书店

发行部 (010)68371900 (010)88530478(传真)
(010)68768541 (010)68767294(传真)

零售店 读者服务部 北京宇航文苑
(010)68371105 (010)62529336

承 印 北京画中国印刷有限公司

版 次 2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷

规 格 880×1230 开 本 1/32

印 张 9.375 字 数 260 千字

书 号 ISBN 978-7-80218-378-0

定 价 55.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

《航天员出舱活动医学基础》

编写组

主 编	黄伟芬		
副主编	吴大蔚	吴 斌	
编 写	黄伟芬	吴大蔚	吴 斌
	刘朝霞	倪成志	陈金盾
	吴文才	沈美云	王 峻

序

突破和掌握航天员出舱活动技术是载人航天工程的基本任务之一。出舱活动是一项难度和风险都非常大的载人航天高技术,这一技术不仅涉及舱外航天服、载人航天器气闸舱等工程系统的技术,还涉及航天医学、航天心理学和人-机-环境系统工程等方面的问题。

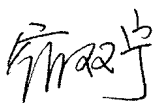
出舱活动给航天员带来的医学和心理学问题对出舱活动的成败影响重大,必须制定科学的、有针对性的航天员训练方案,编写出满足训练要求的训练教材。航天员在地面训练过程中不仅要掌握出舱活动相关操作技能和出舱程序,还必须了解出舱活动带来的医学、心理学影响及其防护措施,并主动配合训练,从身体和心理上做好充分准备。为此,非常有必要给航天员开设与出舱活动相关的医学理论课。考虑到我国目前尚无此方面的教材和专著,中国航天员科研训练中心的专家及时编写了这本书。该书文稿已在我国航天员出舱活动基础理论训练中使用,并在此基础上进行了补充、修改和完善。

该书为满足载人航天工程应用需求,首次对航天员出舱活动的医学问题进行了系统、全面地论述。该书理论和应用并重,既有丰富的基本概念和基本理论,又有实用的工程技术内容;既能满足工程设计人员、航天医学研究人员和航天员学习出舱活动医学知识的需要,又能为相关领域人员了解航天员出舱活动医学问题提供很好的参考。

参与该书编写的作者均是直接从事航天医学研究和实践的专家,他们的理论水平和实践经验为这本书的可读性和实用性提供

了保证。

希望该书的出版能为我国载人航天工程出舱活动技术水平的进一步提高和载人航天事业的发展作出贡献。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '宁广军' (Ning Guangjun), written in a cursive style.

中国载人航天工程副总设计师

2008 年 7 月

前 言

突破出舱活动技术是我国载人航天第二步发展战略的一项重要任务。

作为出舱活动的主体,航天员在出舱活动过程中面临着失重、低压、空间辐射、高低温等多种特殊环境因素的共同作用,而且出舱活动操作任务本身具有高负荷、高风险、高难度的特点,会对航天员的生理、心理带来明显影响,事关出舱活动成败和航天员安全。本书在总结历次出舱活动中出现的医学、心理学问题和分析出舱活动特点的基础上,从减压病、空间辐射、能量代谢、心血管功能、航天运动病、心理学问题等方面系统阐述了航天员在出舱活动过程中可能面临的主要医学问题及其对策,有助于加深相关领域科研人员对出舱活动医学问题的认识,对航天员选拔、训练、医监医保及出舱活动安全性设计等具有指导意义。

本书共分9章。第1章对出舱活动任务进行了简要介绍,对出舱活动环境因素特点及其对人体的影响进行了概述,并总结了美、俄等国出舱活动中航天员出现的医学和心理学问题;第2章阐述了减压病的病因和发病机制,影响减压病的因素,出舱活动中减压病的发生概率,减压病的临床表现及分类、诊断与治疗、预防等,介绍了与压力波动相关的其他疾病;第3章详细论述了出舱活动中空间电离辐射与非电离辐射的来源、医学与生物学效应、防护等,介绍了空间辐射研究的发展方向;第4章对出舱活动过程中人体的能量代谢问题进行了阐述;第5章论述了出舱活动过程中人体心血管系统的变化特点及机

理,介绍了心血管不良变化的预防措施;第6章从保证出舱活动顺利进行的角度,阐述了航天运动病的发病特点、发病机制以及防护和治疗;第7章论述了出舱活动中的心理学问题和针对出舱活动的心理训练;第8章简要介绍了出舱活动中低压缺氧、体温调节、视觉变化等其他医学问题的一般情况和防护;第9章提出了出舱活动安全性要求,介绍了国外出舱活动中出现的故障和危险,并阐述了出舱活动安全性分析的方法。

在本书编写过程中,得到了中国航天员科研训练中心领导、机关、各相关研究室的大力支持与帮助,中国航天员科研训练中心的专家对本书进行了评审,并提出了宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于出舱活动面临的医学问题较为复杂,涉及面广,加之编者水平所限,难免有不当和疏漏之处,诚请读者批评指正。

本书文稿已作为航天员训练教材,在我国航天员出舱活动基础理论训练中发挥了重要作用。本书还可作为从事航天医学研究与管理的技术参考书,亦可作为高等院校师生学习航天医学、了解航天员出舱活动的教学参考书。

编 者

2008年7月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 出舱活动任务简介	1
1.1.1 出舱活动的定义	1
1.1.2 出舱活动的分类	2
1.1.3 出舱活动的作用与意义	3
1.2 出舱活动发展概况	4
1.2.1 出舱活动发展历史	4
1.2.2 出舱活动发展趋势	6
1.3 出舱活动必须具备的条件	6
1.3.1 气闸舱	6
1.3.2 舱外航天服装备	7
1.3.3 训练有素的航天员	8
1.4 出舱活动程序	9
1.5 出舱活动环境因素的特点及其对人体的影响	11
1.5.1 失重	12
1.5.2 低压	15
1.5.3 宇宙辐射	16
1.5.4 微流星体与空间碎片	17
1.5.5 温度	18
1.5.6 出舱活动面临的主要医学问题	19
1.6 出舱活动中航天员出现的医学心理学问题	19
参考文献	25

第2章 出舱活动与减压病	26
2.1 减压病	26
2.1.1 减压病的病因及发病机制	26
2.1.2 减压病发生的影响因素	31
2.1.3 出舱活动减压病的发病概率	37
2.1.4 减压病的临床表现及分类	38
2.1.5 减压病的诊断与鉴别诊断	40
2.1.6 太空减压病的治疗	43
2.1.7 太空减压病的预防	49
2.2 与压力波动相关的其他疾病	58
2.2.1 胃肠胀气	58
2.2.2 中耳损伤	59
参考文献	68
 第3章 出舱活动与空间辐射	70
3.1 概述	70
3.2 空间电离辐射	70
3.2.1 空间电离辐射的来源	70
3.2.2 有关飞行轨道的电离辐射环境	72
3.2.3 空间电离辐射的医学与生物学效应	72
3.2.4 空间电离辐射的防护	76
3.3 空间非电离辐射	85
3.3.1 空间非电离辐射的来源	85
3.3.2 空间非电离辐射的医学与生物学效应	85
3.3.3 空间非电离辐射的防护	87
3.4 空间辐射研究的发展方向	90
3.4.1 国际空间站上计划进行的辐射实验	91

3.4.2 航天辐射防护药剂的研究发展方向	94
参考文献	98
第4章 出舱活动的能量代谢问题	99
4.1 基本概念	99
4.2 出舱活动能量代谢测试方法	100
4.2.1 直接测热法	100
4.2.2 间接测量法	101
4.3 出舱活动代谢水平	103
4.3.1 人体代谢水平分类	103
4.3.2 美苏/俄航天员历次出舱活动代谢水平	105
4.3.3 出舱活动能量代谢率增高机制	128
4.3.4 出舱活动代谢率增高的影响	132
4.3.5 出舱活动代谢率增高的防护措施	136
参考文献	139
第5章 出舱活动对心血管系统的影响	140
5.1 出舱活动时心血管系统的变化	140
5.1.1 出舱活动时生理状态的监测	140
5.1.2 出舱活动时心功能的变化	142
5.2 出舱活动时心血管系统变化的起因	151
5.2.1 心理应激	152
5.2.2 微重力的影响	154
5.2.3 出舱活动环境	159
5.3 出舱活动时心血管不良变化的预防	165
5.3.1 航天员选拔	165
5.3.2 航天员训练	166
5.3.3 航天飞行中的预防措施	170

参考文献	173
第 6 章 出舱活动与航天运动病	176
6.1 概述	176
6.1.1 航天运动病的发病率	176
6.1.2 航天运动病的症状及病程	178
6.1.3 航天运动病的特点	180
6.1.4 前庭功能的试验/实验研究	182
6.1.5 出舱活动与航天运动病	187
6.2 航天运动病的发病机理	188
6.2.1 感觉冲突论	188
6.2.2 体液重新分配论	190
6.2.3 其他影响因素	191
6.3 航天运动病的防护和治疗	192
6.3.1 前庭功能选拔	192
6.3.2 航天员训练	196
6.3.3 药物应用	199
6.3.4 加强飞行前及出舱前的心理准备	202
6.3.5 物理和机械防护措施限制头部活动	203
6.3.6 避免不良因素刺激,科学制定作息制度,适当 安排出舱时间	203
6.3.7 传统的中医防治方法	204
6.3.8 加强对运动病发病机理和前庭植物神经 反应的研究	204
参考文献	205
第 7 章 出舱活动中的心理学问题	206
7.1 概述	206

7.2 出舱活动任务分析及其心理需求	207
7.2.1 舱外航天服系统分析及其心理需求	207
7.2.2 出舱准备阶段(过闸)分析及其心理需求	208
7.2.3 出舱活动过程分析及其心理需求	209
7.2.4 返回到气闸舱后的任务分析及其心理需求	213
7.3 出舱活动中航天员必备的关键心理素质	214
7.3.1 保持适当情绪应激水平的能力	214
7.3.2 对抗太空错觉的能力	218
7.3.3 心理相容性	218
7.4 针对出舱活动的心理训练	220
7.4.1 情绪应激能力反馈训练	220
7.4.2 心理相容性训练	222
7.4.3 对抗错觉训练	224
7.4.4 结合性心理训练	226
参考文献	227
第8章 出舱活动中的其他医学问题	228
8.1 低压缺氧	228
8.1.1 缺氧原因及分类	228
8.1.2 人体的急性缺氧反应	229
8.1.3 高空缺氧及其危害	230
8.1.4 低压缺氧的预防	232
8.2 出舱活动中的体温调节	233
8.2.1 正常体温及其调节	233
8.2.2 高温环境对人体的影响	235
8.2.3 低温环境对人体的影响	236
8.2.4 温度应急事故分析	237
8.2.5 高、低温环境及体温调节问题的预防	238

8.3 出舱活动中的视觉问题	240
8.3.1 航天飞行中的视觉功能	241
8.3.2 出舱活动中出现的视觉问题	242
8.3.3 视觉问题的预防	243
8.4 其他医学问题及防护措施	243
8.4.1 创伤	243
8.4.2 身体固定的问题	244
8.4.3 运动生理学方面的问题	245
8.4.4 其他突发性疾病	248
8.4.5 出舱活动医学问题的防护	248
参考文献	253
 第9章 出舱活动的安全性	 254
9.1 出舱活动安全性要求	254
9.1.1 安全性目标与指标要求	254
9.1.2 出舱活动风险分析评价要求	255
9.1.3 出舱活动安全性设计要求	256
9.2 国外出舱活动中出现的故障和危险	258
9.2.1 苏/俄出舱活动中的危险事件	259
9.2.2 美国出舱活动中的危险事件	262
9.2.3 国际空间站出舱活动中的危险事件	267
9.3 出舱活动安全性分析	270
9.3.1 故障模式影响及危害度分析	270
9.3.2 系统危险分析	278
参考文献	286

第 1 章 概 述

1.1 出舱活动任务简介

1.1.1 出舱活动的定义

航天员穿着舱外航天服,到航天器舱外执行架设、组装、维修航天设施等任务的过程,称为出舱活动(Extravehicular Activity, EVA)。应注意,“出舱”和“舱外”的中文含义略有不同,如“出舱”更强调由舱内到舱外的过程,而“舱外”更强调航天器外部的环境或状态。本书将略有区分地使用上述两个名词。

航天员出舱活动(图 1-1)的任务内容主要有以下几种:

1) 对航天器表面的固定仪器和设备进行检查与维修(如修复大型望远镜)。

2) 组装大型航天器(如国际空间站),将分批运送到太空的部件组装成结构复杂、多舱室、多功能的庞大复合体。

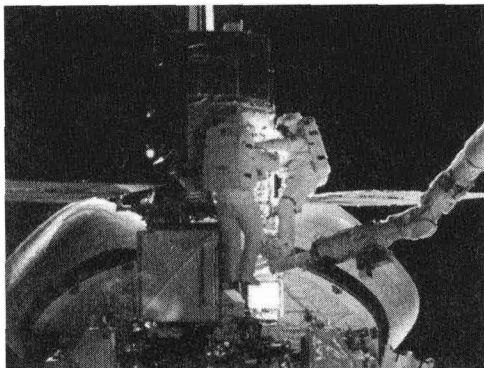


图 1-1 航天员出舱活动

3) 辅助交会对接与故障排除(如排除和平号空间站与量子号舱对接时,曾发生过的对接器之间夹有一个塑料袋子的故障)。

4) 发射、捕获及维修卫星。

5) 搬运物资,运送病员,营救遇难者。

6) 进行摄影、观测、科学实验等。

1.1.2 出舱活动的分类

按照不同的分类方法,可将出舱活动任务分成不同的种类。按照出舱活动任务的性质分,出舱活动可分为试验性、空间作业型和实验型出舱活动;按照出舱活动的场所分,可分为轨道基、星球基出舱活动;按照出舱活动的母体航天器来分,可分为载人飞船基、航天飞机基、空间站基和空间基地基出舱活动;按照出舱活动的计划特点,可将出舱活动分成计划内的出舱活动、计划外的出舱活动和应急出舱活动。以下简要介绍按后一种分类分成的三种类型。

(1) 计划内的出舱活动

所有出舱活动任务都是提前制定好的,其任务内容包括评价出舱活动系统、操作有效载荷、进行科学实验以及维护和修理设备等,如双子星座(Gemini)号飞船、阿波罗(Apollo)一9号飞船、美国航天飞机STS-6、STS-41b等飞行任务都是典型的为验证出舱活动系统进行的出舱活动;双子星座-10号飞船、双子星座-11号飞船、天空实验室(Skylab)-2、天空实验室-3、天空实验室-4等出舱活动任务则是为了人类未来的载人航天任务进行的探索性工作,尤其是阿波罗计划中的月球表面出舱活动实现了人类登上月球的梦想。在制定出舱活动时,要考虑的因素包括所要进行的出舱活动任务的复杂性、工作地点离气闸舱的距离、航天员以前的出舱活动经验以及影响出舱活动安全的一些其他因素。在时间安排上应留有一定的余地,以应付没有预料到的情况。对“自主式”生命保障系统,至少要留有20%的余量,以防不能在计划的舱外活动时间内完成任务时航天员安全返回气闸舱。

(2) 计划外的出舱活动

计划外出舱活动不包括在预先制定的飞行任务计划内,但对进行有效载荷操作或飞行任务的成功来说很有必要。最突出的是天空实验室飞行任务中的几次计划外出舱活动。由于天空实验室-1在发射时微流星防护罩受损,因此有必要进行应急维修,需要用天空实验室出舱活动系统来支持计划外的出舱活动任务。在天空实验室-2至天空实验室-4飞行任务期间,航天员们通过出舱活动,艰难地展开了太阳能电池板,成功地完成了任务,同时还进行了许多其他的出舱活动,包括支撑遮阳伞、修理地球资源天线、更换陀螺仪天线包以及修理其他航天器和实验装置等。而在俄罗斯和平号空间站上,大约有40%的出舱活动是计划外的,其中比较多的任务是为了保证空间站正常工作而对空间站进行的维修工作。由此可见,在飞行前对航天员进行全面系统的出舱活动操作技能训练,使他们全面掌握出舱活动操作技术是非常必要的。

(3) 应急出舱活动

当发生紧急情况时,需要航天员进行出舱活动,以辅助航天器和航天员安全返回。迄今为止,还没有发生过因航天器或航天员需要应急返回而进行的出舱活动;但为了以防万一,还是要对航天员进行相应的训练,使其具备进行应急出舱活动的 ability,如:收卷已展开的热辐射器、关闭有效载荷舱舱门、锁上舱壁或中轴线门锁、重排或收藏天线、重新收藏或抛放附属物、释放或连接脐带、释放或重新安装有效载荷或卫星、使遥控机械臂系统末端效应器与有效载荷分离等。

1.1.3 出舱活动的作用与意义

航天员出舱活动是载人航天的基本技术之一,是随着人类航天事业发展的需要而开展起来的重要技术内容。出舱活动扩大了航天员作业范围,在出舱活动中,航天员可以完成各种复杂的作业,丰富了人类航天任务的内容。

航天任务具有高风险、高投入、难以在短时间内带来经济回报等