

航天医学与生理学

顾 定 李士婉 编译
于喜海 王爱华

735349



人民军医出版社

735349

V7
06

HK10/07

航天医学与生理学

HANG TIAN YI XUE YU
SHENG LI XUE

顾定 李士婉 编译
于喜海 王爱华



C0287353

人民军医出版社

1989 北京

646

内 容 提 要

本书是一本关于航天医学和生理学的专著,是根据美国国家宇航局生命科学部主任尼科戈森博士新著《航天生理学与医学》编译而成。内容包括美国、苏联载人航天实施计划,载人航天的空间环境特点;人在航天时的生理功能变化,如心血管功能改变,呼吸系统、骨质及肌肉的改变,前庭功能改变等;航天员的选拔训练;航天中乘员的健康监护等等。本书内容广泛,有理论的叙述探讨,有实践经验的总结,是一本很有实用价值的参考书。

本书的读者对象是:从事航天、航空医学生理学研究人员、教学人员、航空航天工程技术人员、各医学院校师生、各医院的医护人员、以及对航天、航空医学感兴趣的人,本书对他们都是有很好的参考和指导作用。

航 天 医 学 与 生 理 学

编译 顾定 李士婉

于喜海 王爱华

编审 梁宝林

人民军医出版社出版
(北京复兴路22号甲3号)
新华书店北京发行所发行
北京华新科技印刷厂印刷

开本:787×1092mm 1/32·印张:13.5·字数:303千字

1989年7月第一版 1989年7月(北京)第一次印刷

印数1——1000 定价:4.90元

ISBN 7-80020-110-4/R·102

[科技新书目:199—1380]

前 言

本书是根据美国国家宇航局生命科学部主任尼科戈森博士新著《航天生理学与医学》编译而成，在编译中我们增加了一些和本书专业相关的内容。本书内容广泛，有关航天生理学和医学的内容都已涉及。主要内容包括载人航天的历史，如美国、苏联的载人航天的实施计划；人在航天环境，特别是在失重环境下的生理功能的变化，如人对失重环境的适应和重返地球的再适应、前庭功能的变化及航天运动病、神经生理及人的工作能力、心血管系统的生理变化、呼吸系统的生理变化、骨质密度及骨盐代谢的变化、血液及血浆容量的变化等等；此外还介绍了航天人员的选拔和训练；航天人员的医学监护等。总之，本书是目前国内的一本比较全面而系统介绍航天生理学和航天医学的专著。它有理论的叙述和探讨，有实践经验的总结，对航空医学、航天医学的研究人员、教学人员，对从事航空航天工程及航空航天医学工程人员，都具有很好的参考和指导作用。

本书编译过程中，得到了航天医学工程研究所陈信研究员和其它专家大力支持和指导。在此一并表示感谢。

由于编译者的水平所限，在编译中肯定会有不足、不全甚至错误之处。敬请读者指正

编译者

1988. 9

目 录

第一编 载人航天	(1)
第一章 历史回顾.....	(1)
第一节 人在空间的安全保障.....	(1)
第二节 美国载人航天计划.....	(5)
第三节 苏联载人航天计划.....	(9)
第四节 今天的航天医学.....	(34)
第二编 空间环境	(57)
第二章 轨道飞行.....	(57)
第一节 向近地球轨道空间过渡.....	(58)
第二节 力场.....	(59)
第三节 零重力.....	(62)
第四节 微陨星体.....	(64)
第五节 辐射.....	(65)
第三章 行星环境.....	(73)
第一节 月球.....	(74)
第二节 金星.....	(78)
第三节 火星.....	(81)
第四节 木星.....	(84)
第五节 土星.....	(88)
第六节 星际空间.....	(92)
第三编 航天系统和程序	(95)

第四章 载人航天器.....	(95)
第一节 美国载人航天器.....	(95)
第二节 苏联载人航天器.....	(118)
第五章 飞船大气与生命保证.....	(135)
第一节 环境参数.....	(135)
第二节 飞船控制系统.....	(144)
第三节 应急系统.....	(147)
第四节 未来飞行活动的生物医学问题.....	(148)
第六章 舱外活动.....	(152)
第一节 满足舱外活动要求的生命保证.....	(153)
第二节 减压病.....	(159)
第三节 航天飞机舱外活动装备.....	(169)
第四节 舱外活动工作展望.....	(171)
第四编 航天时人体生理反应.....	(175)
第七章 航天时人体生理反应.....	(175)
第一节 飞行中适应的时间过程.....	(176)
第二节 对地面环境的再适应.....	(186)
第三节 适应能力的个体差异.....	(188)
第四节 复合应激的叠加反应.....	(189)
第八章 前庭神经系统.....	(194)
第一节 前庭系统的结构.....	(194)
第二节 航天运动病.....	(195)
第三节 航天运动病的发病机制.....	(201)
第四节 航天运动病的预防和治疗.....	(203)
第九章 神经生理学和工作能力.....	(215)
第一节 视觉能力.....	(216)
第二节 运动能力.....	(219)

第三节	睡眠·····	(221)
第四节	体位和幻觉·····	(224)
第五节	空间工作·····	(225)
第十章	心肺系统·····	(227)
第一节	体液移位·····	(228)
第二节	立位耐力降低·····	(233)
第三节	外周循环·····	(238)
第四节	心脏动力学与机电学·····	(241)
第五节	肺功能和运动量·····	(245)
第十一章	瘦体肌肉质量与能量平衡·····	(252)
第一节	体重改变·····	(252)
第二节	肌肉组织的变化·····	(255)
第三节	神经肌肉功能的研究·····	(261)
第四节	身体组成成分与能量代谢·····	(264)
第五节	胃肠学·····	(268)
第十二章	骨骼及矿盐代谢·····	(272)
第一节	骨骼密度的研究·····	(272)
第二节	钙平衡的研究·····	(273)
第三节	生化分析·····	(276)
第四节	地面模拟失重试验·····	(276)
第五节	航天中动物试验·····	(278)
第六节	骨骼脱钙机理探讨·····	(279)
第七节	对抗措施·····	(280)
第十三章	血液、体液及电解质·····	(284)
第一节	血液学·····	(285)
第二节	免疫学·····	(289)
第三节	体液与电解质变化·····	(291)

第十四章	失重的模拟与比拟·····	(296)
第一节	卧床休息·····	(296)
第二节	坐椅休息·····	(298)
第三节	浸水·····	(298)
第四节	固定不活动·····	(300)
第五节	部分身体支持系统·····	(301)
第六节	脱水·····	(302)
第七节	体外模拟·····	(302)
第五编	航天员的健康监护·····	(310)
第十五章	航天员和航天人员的选拔·····	(310)
第一节	航天员选拔史·····	(310)
第二节	纵向医学监视·····	(320)
第十六章	航天乘员组的生物医学训练·····	(326)
第一节	航天应激训练·····	(328)
第二节	医学训练·····	(333)
第三节	应急医务保障·····	(335)
第四节	训练制度的制定·····	(336)
第十七章	基地医学计划·····	(338)
第一节	常规医务监督·····	(339)
第二节	健康稳定章程·····	(341)
第三节	飞行任务组实施程序·····	(346)
第四节	计划发展前景·····	(350)
第十八章	航天人体生理失调的对抗措施·····	(352)
第一节	身体调节的维护·····	(353)
第二节	锻炼·····	(354)
第三节	抗失调装置与技术·····	(361)
第四节	营养与药物保障·····	(369)

第六编 航天中的医学问题	(380)
第十九章 航天中的毒理危害.....	(380)
第一节 毒物的来源.....	(381)
第二节 航天飞机中的液体与气体.....	(381)
第三节 航天器的污染物.....	(385)
第四节 航天飞机飞行的初步结果.....	(390)
第五节 天空实验室的毒理学概貌.....	(390)
第二十章 辐射暴露问题.....	(393)
第一节 辐射的剂量.....	(393)
第二节 人体对辐射的效应.....	(395)
第三节 航天中的辐射照射.....	(397)
第四节 防护和治疗原则.....	(402)
第二十一章 航天中的医学护理和保健.....	(405)
第一节 航天中的疾病和损伤.....	(407)
第二节 舱内医学设备.....	(408)
第三节 保健措施.....	(414)
第四节 未来的航天医学.....	(421)

第一编 载人航天

第一章 历史回顾

人类从以发动机为动力的飞行器革命开始，直到进入乘坐载人飞船在地球轨道飞行，到月球探险和利用非载人飞船探索太阳系的另外五个行星及其为数众多的卫星（包括地球卫星）的时代，前后仅仅经过了短短的八十多年时间。人类在借助现代医学进行太空探险的同时，也使医学获得了发展。人类如何在太空维持自己的生命并有效地发挥自己的各种功能，这是人类在航天探险过程中遇到的十分重要和急需解决的课题。与此同时，航天活动也带来了生物医学领域内许多技术上的进步。空间科学和医学之间的这种互相促进的关系，必将造福于人类，促进人类社会的发展。

第一节 人在空间的安全保障

航天医学的创立可以追溯到许多年前职业医学和航空医学领域内的一些早期活动，然而，直到第二次世界大战期间V-2火箭问世后，才开始认真考虑载人航天的可能性。人乘坐飞船在宇宙空间飞行，必然需要有一种专门的医学保障人在空间飞行的安全，这种医学就是航天医学。当时已预见到航天医学发展趋势的是美国空军的H·G·阿姆斯特朗将军。他曾于1948年在美国空军的航空医学院组织了一次题为“空间

飞行的航空医学问题”的专题研究小组会议。当时还是上校的阿姆斯特朗在这次会议上宣读了他的论文，宣读论文的还有后来被尊为“航天医学之父”的休伯特斯·斯特拉格霍尔德教授和天体物理学家海因茨·哈伯博士。从历史上看，可以将这次会议看作是医学领域内一种新兴的专门学科的实际开端。航天医学从此问世，脱颖而出，并成为广阔的职业医学领域内被公认的和蓬勃发展着的一个新的医学分支。

生物学家们对可能通向载人航天目标的一些计划的兴趣与日俱增，到1950年，美国已能用V—2火箭将两只猴子送上太空，虽然这两只猴子在此次飞行中均未能免于死亡，但通过这种飞行，却获得了有关空间飞行对哺乳动物生存方式危害的第一手有用资料。这些初步飞行的结果表明，需要建立有效和可靠的生命保障系统。生物学家们还开始建立起防止人在空间飞行期间和从空间返回时受到严酷的自然环境和应激危害的参数。航天医学的各个方面正在逐渐形成。

对这种很有可能性的载人航天极感兴趣的科学家们不久便认识到需要建立一个组织机构，负责协调航天医学的研究和信息交流。1950年，在美国航空学会第21届年会上，批准建立了航天医学学科。1951年向该学会呈请批准的委员会成员有A·C·艾维、J·P·马巴杰、R·J·本福德、P·A·坎贝尔和A·格富比尔等医生，并获得批准。从此，航天医学在医学界内得到更大范围的正式承认。

美国海军和空军所属的航空医学院以及一些实验室，很快承担起一些解决人进入空间的研究项目：如生命保障、加速度耐力、人对受到限制的反应、航天环境参数对人的影响等课题。通过这些研究，获得了大量的有关知识。这些知识后来

证明对以后的航天医学研究具有重大的价值。

美国早期从事航天医学研究的医生多数都受过海空军的航空医学训练。五十年代初，为了能包含越来越多的对航天医学具有特别重要性的课题，美国海空军扩大了它们的航空医学课程，改编了机构。空军的研究室改为航空航天医学院，海军的学校则改为海军航空航天医学研究所，这些机构名称的改变反映了其工作方针的改变。当时与军队有协作关系，向军队提供所需的实习训练机会的约翰斯·霍普金斯大学、哈佛大学和俄亥俄州立大学的公共卫生学校也相应地改变了它们的授课方向。

五十年代中期，美苏对太空轨道飞行的兴趣都处在持续增长阶段。1957年10月4日，苏联成功地发射了一颗绕地球轨道飞行的卫星——苏联人造地球卫星1号。这表明苏联在空间技术上已走在美国前面，这一事实极大地刺激了美国，提高了美国公众对发展本国空间技术的激情，美苏两国的空间竞赛从此拉开了帷幕。对于美国来说，虽然已没有时间从容不迫地制定规划和按部就班地进行研制工作，苏联人的捷足先登，迫使美国人不得不在1957年后，就开始加紧制定自己的空间计划，因而这种形势在很大程度上就变成了促进航天医学发展的动力。

以后，医学家们更加热衷于空间飞行的生物学和医学的研究。然而，在他们当中也还有不少人对于企图进行这种飞行的可取性提出异议，有些人对人在空间维持有效工作能力，尤其是人对发射和再入应激的承受能力，忧心忡忡。美全国科学院全国研究理事会宇宙航行学委员会于1958年召开了会议，确认了航天中存在的影影响航天员生理心理方面的一些潜在问题，例如厌食、恶心、不能吞咽食物、定向力障碍和

空间飞行将引起的其它实际后果等。表 1-1 较全面地列出了预测空间飞行所产生的有害影响，这些预测的问题有些已被证实，有些则没有发生。

五十年代后期，空间活动的迅猛发展已不允许美国按部就班有计划地一项一项地进行研究，只有凭借已在医学界占有一席之地的航空医学的基础和一些推测，来解决生命保障、安全和健康等方面的问题。例如，第一套航天服就是海军高空飞机全压服计划的副产品。空间活动发展的速度还意味着与其从实验室研究和地面模拟获取新知识，不如直接从飞行结果获取。空间飞行本身左右着航天医学的进步。

表1—1 失重对人的影响的预测

厌食	骨脱矿盐
恶心	肾结石
定向障碍	运动病
嗜眠	肺不张
失眠	心动过速
疲劳	高血压
烦躁不安	低血压
欣快	心律失调
幻觉	飞行后晕厥
G耐力降低	运动能力降低
胃肠功能紊乱	血容量降低
尿潴留	血浆容量降低
多尿	失水
肌肉失调	体重减轻
肌肉萎缩	传染病

第二节 美国载人航天计划

由于航天医学与航天活动有着直接的联系，而美苏的载人航天活动已进行了多年，所以有必要回顾一下美苏的载人空间飞行计划和它们所碰到的主要生物医学问题及其所获得的结果。本章末附有一个一览表，上面列有这两个国家迄今所完成的各次载人空间飞行计划。

一、水星计划

美国国家航空航天局 (NASA) 于1958年成立，当时，美国总统责成该局完成一项双重的载人空间飞行任务。此次飞行被列为国家重点项目，仅次于国防部的项目。NASA计划是在尽量早的适当时间，将1人送入太空，向他提供一个能有效工作和安全返回的环境，这就是水星计划。同时，NASA打算在杰出的生命科学专家的支持下，扩大载人航天的能力 (Lovelace, 1965)。

NASA在完成交给它的这项计划上取得了巨大的成功 (图1-1)。它仅用了3年时间就实现了原计划所制定的目标，即将人送上空间轨道并使其安全返回地面 (Kleinknecht, 1961)。

水星计划中的一个关键问题，可能也是最苛求的和最能引起争议和感兴趣的问题是研制在空间轨道飞行条件下能运行无误的确保安全的生命保障系统。1957年空军飞行医生戴维·G·西蒙斯成功地进行了气球飞行，创飞行高度30 942m和飞行时间32小时的飞行记录，这证实已掌握研制这样一个系统的技术。但是，要想将这一技术转用到宇宙飞船系统，对于工程师和生物医学科学家是困难重重的。人对

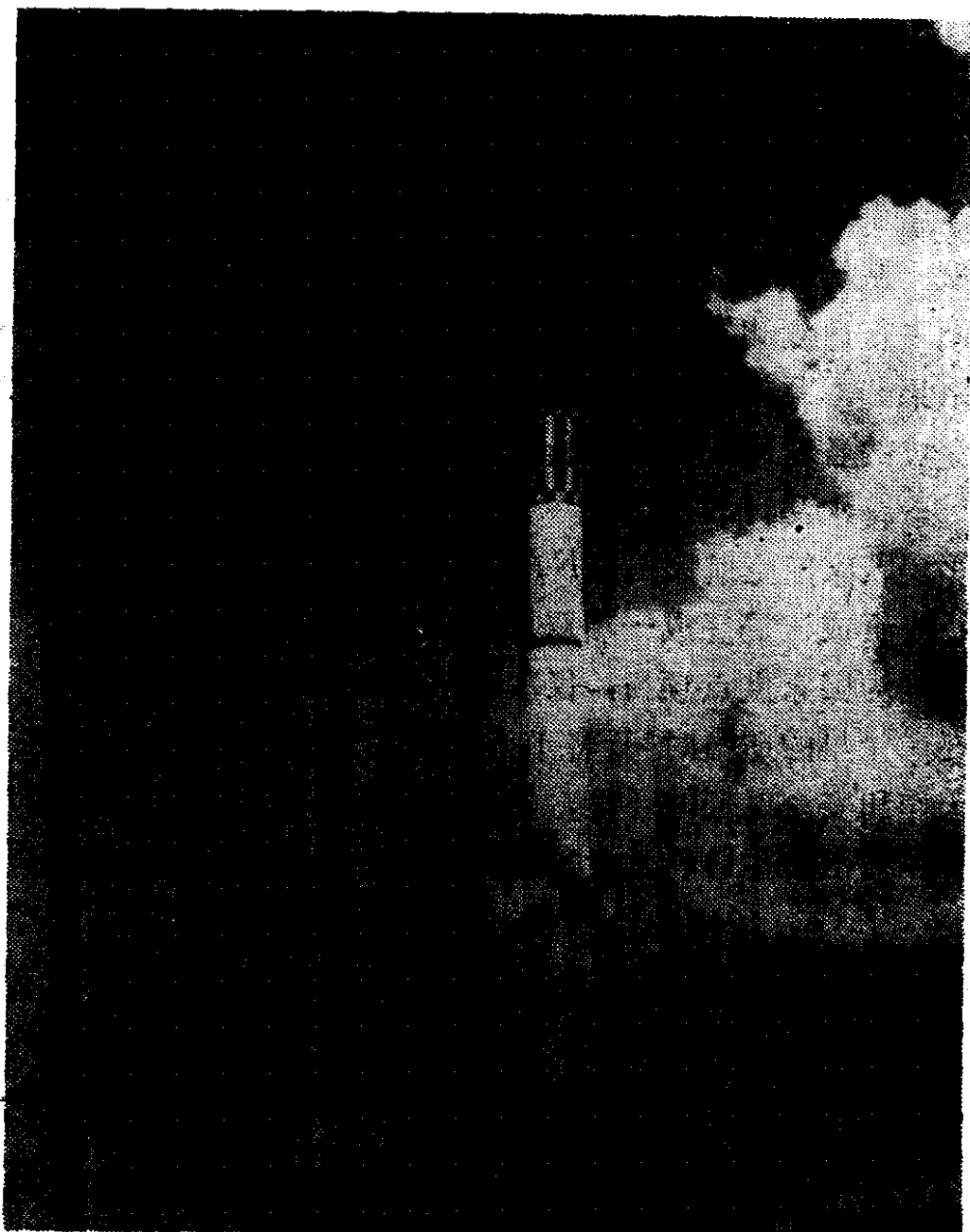


图 1-1 载有美国第一名进入太空的航天员阿兰·谢泼德的水星 3 号(红宝石)发射

防护装置、合适的呼吸环境、压力的维持、食物和水的供应、代谢副产物的清除和热控制的要求等,必须与极度高温、加速度和失重环境下的可靠性、大小、重量、所需动力和操作等诸方面的严格限制条件相适合。最终,该系统的设计使其圆满地

保障了飞行任务的完成。

旨在证明人能在空间环境中生存的水星计划，从1961年5月持续到1963年5月，其间进行了2次亚轨道飞行和4次轨道飞行，其中一次飞行34小时，绕轨道飞行22周。

参加水星计划飞行的6名航天员返回地面时的健康状况是十分令人满意的。这些飞行不论对于消除许多不必要进行研究的医学问题还是对于那些被证实需要研究的医学问题都具有同样的价值。飞行的主要结果表明，体重的丧失主要是因为脱水和心血管功能的某些变化造成的。从最后一次和最长的一次水星飞行中获得的心血管数据，表明有立位耐力降低和站立不稳、头晕及血浓缩现象。从行为学观点的角度来看，发现航天员能在失重条件下良好地工作。

二、双子星座计划

双子星座计划的设计是1961年5月开始的，正值水星号的第一次亚轨道飞行胜利完成之际。双子星座计划实际上是水星号飞船发展所派生出来的，在飞行能力和目标上都比水星号有所提高和发展。双子星座号具有一个能乘2名航天员的舱，它的目的是依靠水星计划所取得的经验，来证明舱外活动等新的能力和研究航天员的耐力极限，以保障载人登月飞行和未来的其他空间活动成功。双子星座号的明确目标是进行所需的下述发展和试飞计划：（1）论证至少完成登月飞行所需的长期空间飞行的可行性；（2）完善两艘飞船在轨道上会合和对接的技术和方法；（3）获得精确控制再入和登陆的能力；（4）达到舱外活动能力；（5）使飞行乘员和地面人员精通载人航天飞行，这虽不明显，但并非不重要（Muel-ler, 1967）。

在双子星座计划中成功地完成了10次载人飞行，取得了

许多令人瞩目的重大成就。在双子座4号的飞行中，美国航天员首次进行了出舱活动（图1-2），双子座8号的乘员首次完成了会合和对接的特技飞行。医学专家们特别感兴趣的是双子座4号、5号和7号的飞行，这3次飞行分别历时4天、8天和14天，因为在这几次飞行中做了一些

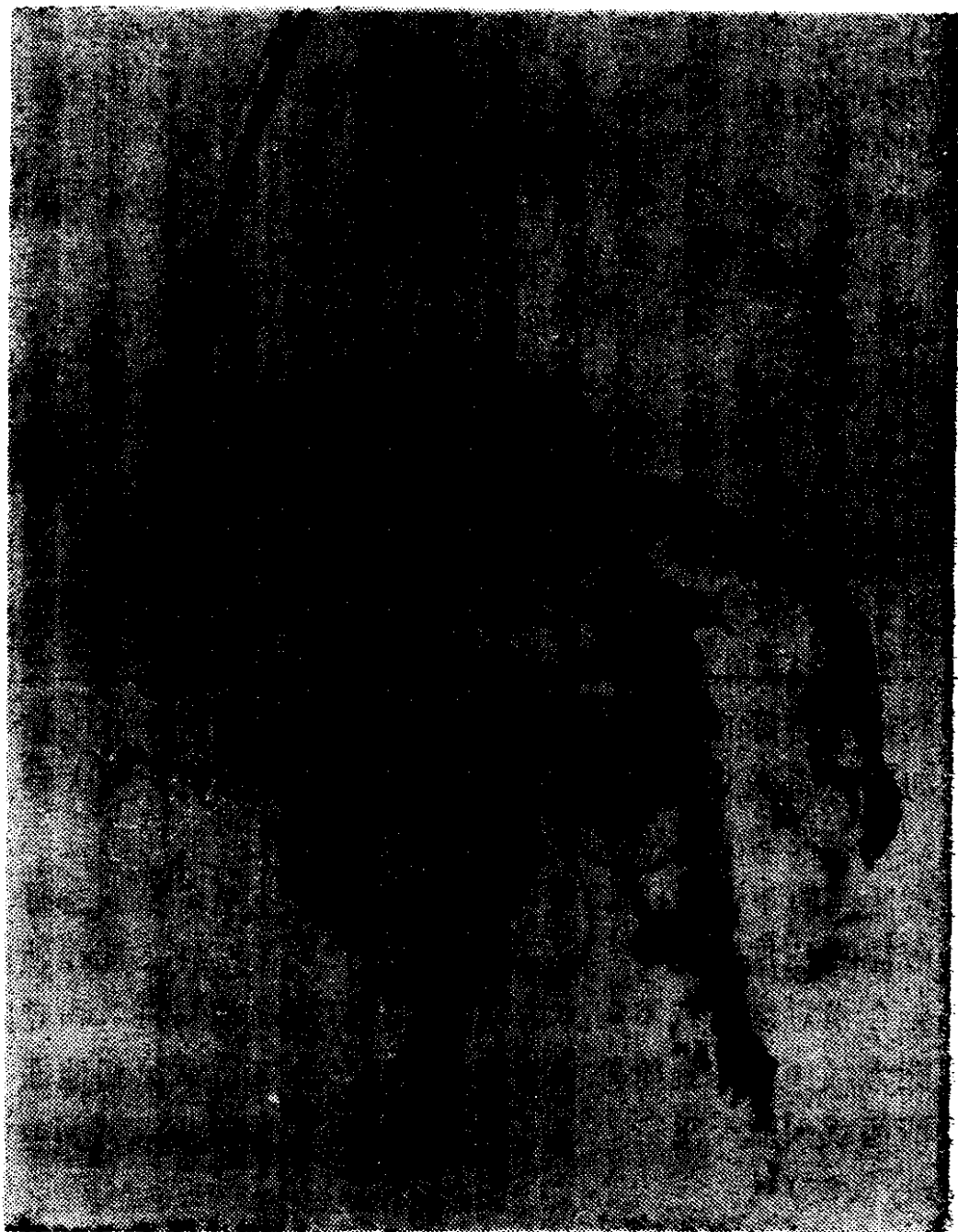


图1-2 航天员埃德·怀特(双子座4号)首次出舱活动