



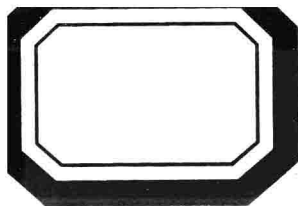
航天医学细胞分子生物学

□ 李莹辉 主编 □



国防工业出版社

National Defense Industry Press



备部“1153”人才工程专项经费资助

航天医学细胞分子生物学

李莹辉 主编

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

航天医学细胞分子生物学 / 李莹辉主编.

北京: 国防工业出版社, 2007. 6

总装备部研究生教育精品教材

ISBN 978 - 7 - 118 - 04921 - 3

I. 航... II. 李... III. 航空航天医学 - 细胞生物学: 分子生物学 - 研究生 - 教材 IV. ①R857②Q7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 153957 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)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 880 × 1230 1/32 印张 15 3/4 字数 455 千字

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 40.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

《航天医学细胞分子生物学》

编写组

主 编 李莹辉

副主编 张晓铀

编著者 (按姓氏笔画排序)

丁 柏 万玉民 曲丽娜 宋锦萍

杨 芬 谭映军 熊江辉 戴钟铨

前 言

“神舟五号”、“神舟六号”载人飞船的成功发射,标志着我国载人航天发展战略进入第二步的阶段,也极大地推动了我国空间生命科学研究的突破性进展。

航天医学细胞分子生物学是以载人航天任务为背景,适应载人航天领域研究和研制需要,形成和发展起来的一门综合性应用与应用基础学科,是空间生命科学研究的一个分支,针对航天环境(特别是微重力、辐射等)严重影响航天员的健康、安全和工作能力这一问题,利用当前生物医学领域先进的研究思路和技术手段,从细胞和分子水平研究航天因素特别是中长期飞行对机体的影响,并探讨其发生、发展的内在机理,提出和制定有针对性的有效防护措施。随着国际上载人航天事业的蓬勃发展,空间细胞搭载实验逐步增加,空间实验系统不断建立,地基模拟实验模型不断丰富完善,现代细胞分子生物学研究技术日益突破创新,航天细胞与分子生物学研究进入高速发展时期。

我国载人航天事业的迅猛发展,也推动了我国空间生命科学教育的发展。而空间生命科学教育的发展必须不断巩固、深化、提高、发展,才能适应我国载人航天事业的发展,这就需要强有力的空间生命科学教材体系作为支撑,本书即为满足这一需求,适应航天科技的发展、经济与社会的发展、空间生命科学教育的要求应运而生的。

本书共 40 万字,分为 4 篇 18 章。基于对空间环境导致的基因、细胞和组织水平损伤机理的认识不断深入,本书针对空间环境诱导的各种医学问题的细胞学机理,阐述了目前已进行的与人体健康相关的空间飞行和地面模拟实验研究所涉及的细胞学变化,并介绍了在空间开展细胞分子生物学实验所需的技术装备的特点和发展情况,以研究空间环境对人

类身体健康的影响,提出保障人在空间探索中安全、健康和有效工作的防护方法。

本书的规划和编写本着“更新、更深、更精”的宗旨,坚持思想性、科学性、先进性、启发性、适用性的原则,力求内容和形式上有所创新,质量第一,形成精品。

本书的编者们在编写中不吝时间和精力,力图使本书能反映出空间细胞分子生物学的系统知识和最新进展,希望本书成为一本高水平的教材。但是,由于这是国内首次编写空间生命科学研究领域的教材,更由于我们的水平有限,因此本书难免存在缺点和错误,希望读者给予批评指正。

目 录

第1篇 绪 论

第1章 空间环境	2
1.1 地球环境	2
1.1.1 地球环境条件	2
1.1.2 空间环境	3
1.2 月球与火星环境	6
1.2.1 月球	6
1.2.2 火星	6
1.3 与运载器相关的环境条件	7
1.3.1 加速度	7
1.3.2 噪声	7
1.3.3 震动和冲击	7
1.3.4 飞行器内的约束条件	8
第2章 航天医学发展概况	9
2.1 航天医学概念	9
2.1.1 载人航天	9
2.1.2 航天医学	10
2.2 航天医学的发展	12
2.2.1 航天医学发展简史	12
2.2.2 航天环境导致的主要医学问题	12
第3章 空间生物学与航天医学细胞分子生物学	17
3.1 空间生物学与空间细胞生物学	17

3.1.1 空间生物学的概念	18
3.1.2 空间生物学的进程	18
3.1.3 空间细胞生物学发展概况	20
3.2 航天医学细胞分子生物学	21
3.2.1 航天医学细胞学发展简况	22
3.2.2 航天医学细胞分子生物学发展目标	23
第4章 航天医学实验概述	26
4.1 基本概念	26
4.2 目的意义	26
4.3 特点	26
参考文献	28

第2篇 细胞微重力效应

第5章 航天免疫细胞分子生物学	32
5.1 免疫系统的细胞分子生物学基础	32
5.1.1 免疫的概念和免疫系统的组成	32
5.1.2 免疫应答	40
5.1.3 神经内分泌免疫网络调节	41
5.2 航天环境中免疫系统功能特点	43
5.2.1 细胞免疫	43
5.2.2 体液免疫	47
5.2.3 潜伏病毒再活化	47
5.2.4 在空间飞行中和飞行后影响免疫参数变化的因素	53
5.3 微重力与免疫细胞信号转导	54
5.3.1 微重力条件下细胞间以及细胞与基质的接触	55
5.3.2 蛋白激酶C	57
5.3.3 免疫细胞与细胞骨架	58
5.3.4 免疫细胞基因表达	58
5.4 免疫功能防护研究	59

5.4.1 药物	59
5.4.2 营养	59
5.4.3 其他	60
思考题	61
参考文献	62
第6章 微重力影响心血管功能的细胞分子生物学基础	68
6.1 心血管系统的细胞分子生物学基础	68
6.1.1 心血管系统的组织学基础	68
6.1.2 心血管系统的细胞学基础	74
6.2 空间环境中心血管系统功能特点	111
6.2.1 微重力与心脏功能	111
6.2.2 微重力与血管功能	112
6.3 微重力与心脏细胞	113
6.3.1 微重力与心肌细胞	113
6.3.2 微重力与心肌成纤维细胞	114
6.3.3 心肌组织工程	116
6.4 微重力与血管	121
6.4.1 血管内皮细胞	121
6.4.2 血管平滑肌细胞	122
思考题	125
参考文献	125
第7章 微重力与呼吸功能	129
7.1 呼吸系统的细胞分子生物学基础	129
7.1.1 肺的组织学基础	129
7.1.2 肺的细胞学基础	130
7.2 航天环境中呼吸功能特点	135
7.2.1 微重力对肺功能的影响	135
7.2.2 微重力对肺循环的影响	136
7.3 微重力与肺细胞	137
7.3.1 肺泡上皮细胞	137

7.3.2 微重力环境下肺发育的基因调节	140
7.4 微重力与肺血管内皮细胞	147
7.4.1 血管内皮细胞的发育	147
7.4.2 血管内皮细胞生长发育的调节	147
7.4.3 内皮细胞中的力学信号转导机制	149
思考题	154
参考文献	155
第8章 失重骨代谢的细胞分子生物学	157
8.1 骨骼系统的细胞分子生物学基础	157
8.1.1 骨骼系统的组织学基础	157
8.1.2 骨骼系统的细胞学基础	164
8.2 航天环境中的骨骼功能特点	177
8.2.1 航天环境下骨骼系统的变化	178
8.2.2 模拟失重环境下骨骼系统的变化	181
8.3 失重骨丢失的细胞分子生物学基础	185
8.3.1 空间骨丢失的细胞学特征	186
8.3.2 骨细胞的功能调节	188
8.4 空间骨丢失对抗措施	204
8.4.1 物理措施	204
8.4.2 饮食与药物	218
思考题	220
参考文献	220
第9章 失重肌萎缩的细胞分子生物学	224
9.1 骨骼肌的细胞分子生物学基础	224
9.1.1 骨骼肌的组织学基础	224
9.1.2 骨骼肌的细胞学基础	236
9.2 失重肌萎缩的变化特点	241
9.2.1 失重条件下肌肉结构的改变	243
9.2.2 肌肉功能的改变	245
9.2.3 失重对肌肉生化功能的影响	246

9.2.4	蛋白质代谢的改变	247
9.2.5	能量代谢的改变	248
9.2.6	激素的改变	248
9.2.7	肌肉 Ca^{2+} 的改变	249
9.3	失重肌萎缩的细胞分子生物学基础	250
9.3.1	细胞功能变化与基因调控	250
9.3.2	骨骼肌细胞的力学信号感受机制	252
9.3.3	肌肉细胞分化、生长的调控机理	257
9.4	失重肌萎缩的对抗防护	264
9.4.1	物理防护	264
9.4.2	药物防治	266
9.4.3	干细胞在肌萎缩防护中的应用	266
9.4.4	SP 细胞在干细胞移植中的应用	271
	思考题	272
	参考文献	273
第 10 章	空间神经细胞分子生物学	276
10.1	神经细胞分子生物学基础	276
10.1.1	神经元	277
10.1.2	突触	283
10.1.3	神经胶质细胞	286
10.2	航天环境中神经系统功能特点	289
10.2.1	微重力对前庭、运动功能和植物神经系统的影 响	289
10.2.2	微重力对神经—肌肉接头的影响	290
10.2.3	微重力对丘脑—神经垂体的影响	291
10.2.4	微重力对脑认知功能的影响	291
10.3	微重力与神经细胞	298
10.3.1	微重力对神经细胞形态结构的影响	298
10.3.2	微重力与神经元的分泌功能	303
10.3.3	微重力与神经细胞的分化和发育	304

10.3.4 微重力条件下神经细胞的信号传导与基因调控	305
思考题	309
参考文献	310
第 11 章 微重力与内分泌功能	312
11.1 内分泌系统细胞分子生物学基础	312
11.1.1 甲状腺	313
11.1.2 甲状旁腺	315
11.1.3 肾上腺	316
11.1.4 垂体	321
11.1.5 松果体	326
11.1.6 胰岛	327
11.1.7 胸腺	328
11.1.8 性腺	328
11.1.9 APUD 细胞系统	328
11.2 航天环境中的内分泌功能特点	329
11.2.1 空间飞行对交感—肾上腺髓质系统活性的影响	330
11.2.2 空间飞行与下丘脑—垂体—肾上腺皮质 功能活性	332
11.2.3 空间飞行对下丘脑—垂体—甲状腺功能的影响	334
11.2.4 空间飞行对性腺功能的影响	335
11.2.5 空间飞行对血浆胰岛素和葡萄糖的影响	337
11.2.6 空间飞行对腺垂体生长激素的影响	339
11.3 微重力与内分泌细胞	340
11.3.1 微重力与甲状腺细胞和甲状旁腺细胞	341
11.3.2 微重力与肾上腺细胞	341
11.3.3 微重力与垂体前叶细胞	341
11.3.4 微重力与胰岛细胞	343
11.3.5 微重力与其他内分泌细胞	344
思考题	345
参考文献	346

第 12 章 微重力与细胞分化发育	348
12.1 生物体生长发育和细胞分化	349
12.1.1 分化发育概念	349
12.1.2 生物体生长发育和细胞分化	350
12.2 空间微重力环境中的生物发育	354
12.2.1 空间发育生物学概念	354
12.2.2 空间微重力对生物体发育的影响	356
12.2.3 微重力对组织器官发育的影响	363
12.3 空间微重力环境对细胞分化的影响	370
12.3.1 生物体的细胞更新	370
12.3.2 空间疾病与细胞分化	372
12.3.3 微重力对细胞分化的影响	379
思考题	387
参考文献	387

第 3 篇 空间辐射的细胞分子生物学效应

第 13 章 空间辐射环境概述	392
13.1 俘获带辐射	393
13.2 银河宇宙线	394
13.3 太阳粒子事件	395
思考题	396
参考文献	396
第 14 章 空间辐射生物学效应分类和影响因素	398
14.1 辐射生物学效应分类	398
14.2 影响辐射生物学效应的因素	400
思考题	401
参考文献	401
第 15 章 空间辐射的细胞生物学效应	403
15.1 空间辐射的生物学效应特点	403

15.1.1 电子的生物学效应特点	403
15.1.2 质子的生物学效应特点	404
15.1.3 重离子的生物学效应特点	407
15.2 电离辐射生物学基础	412
15.2.1 辐射的直接与间接作用	412
15.2.2 DNA 和染色体效应	413
15.2.3 细胞死亡和细胞变异	414
15.2.4 细胞凋亡	415
15.3 电离辐射的生物学效应	415
15.3.1 对生物大分子的作用	415
15.3.2 基因突变	418
15.3.3 染色体异常	419
15.3.4 致癌效应	425
思考题	429
参考文献	429

第4篇 空间医学生物学实验技术与实验装备

第16章 航天医学实验方法与原理	432
16.1 航天医学实验发展概况	432
16.2 天基实验	434
16.3 地基实验与实验模型	437
第17章 航天细胞分子生物学实验技术	442
17.1 细胞生物学技术	442
17.2 分子生物学技术	456
17.3 空间细胞分子生物学技术简介	459
思考题	460
第18章 空间细胞分子生物学实验装备	461
18.1 地基研究实验装备	461
18.1.1 常规细胞培养装置	461

18.1.2	地基微重力模拟细胞培养装置	466
18.2	天基研究实验装置	470
18.2.1	空间细胞培养装置的发展	470
18.2.2	在用空间细胞培养装置	471
18.2.3	其他空间生物学研究设备	476
18.2.4	空间医学生物学研究辅助设备	478
18.2.5	小结	481
	思考题	481
	参考文献	482
	本书常用缩略语表	485

第 1 篇

绪 论

第 1 章 空间环境

第 2 章 航天医学发展概况

第 3 章 空间生物学与航天医学细胞分子生物学

第 4 章 航天医学实验概述

第1章 空间环境

空间环境通常是指地球环境以外的环境。地球环境对地球生物圈内的生物起到很好的保护作用,而空间环境则大不相同,其条件较为苛刻,包括零重力、辐射、极端温度和真空等。地球上的生物在漫长的进化旅途中适应了地球的环境(大气圈、适宜温度、1g重力)条件。

1.1 地球环境

1.1.1 地球环境条件

1. 地球

地球是太阳系行星之一,形状接近于球体,平均半径为 6370km,赤道半径为 6378km,两极半径为 6356km,表面积约为 $5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$ 。地球质量是 $5.97 \times 10^{24} \text{ kg}$,体积为 $1.083 \times 10^{21} \text{ m}^3$ 。

2. 大气

地球周围有大气层包围。大气的自身重力形成大气压,其压值随距地球表面的距离增加而逐渐下降。在海平面处,大气压的标称值是 $P_0 = 101.3 \text{ kPa}$ 。随海拔高度增高而降低,其变化可表示为

当 $a < 11000 \text{ m}$ 时,

$$p = p_0(1 - 0.0065a/288)5.25 \text{ (kPa)}$$

3. 重力

地球上的物理过程和生物过程都与地球重力场密切相关。在地球重力场中,作用于任何质量 m 的重力可表示为其质量 m 与重力常数 g 的乘积,即