

普通高等教育“十三五”规划教材
全国高等医药院校规划教材

供临床、基础、预防、口腔医学类专业用

医学免疫学

(第2版)

主 编 马兴铭 丁剑冰

清华大学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材
全国高等医药院校规划教材

医学免疫学

(第2版)

主 编 马兴铭 丁剑冰

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本教材主要包括以下方面的内容：医学免疫学概论、抗原、免疫球蛋白、补体系统、细胞因子、白细胞分化抗原和黏附分子、MHC 及其编码分子、免疫器官和组织、固有免疫系统及其应答、抗原提呈细胞与抗原提呈、适应性免疫应答细胞、适应性免疫应答、免疫耐受、免疫调节、超敏反应、自身免疫病、免疫缺陷病、移植免疫、肿瘤免疫、免疫学检测技术、免疫学防治。较第 1 版更注重知识更新，增加了部分前沿的、必要的医学免疫学知识，本教材可供全国医学院校五年制和八年制医学生以及从事相关医学研究的科技和医务工作者使用。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

医学免疫学 / 马兴铭, 丁剑冰主编. —2 版. —北京: 清华大学出版社, 2017
(普通高等教育“十三五”规划教材 全国高等医药院校规划教材)
ISBN 978-7-302-48138-6

I. ①医… II. ①马… ②丁… III. ①医学—免疫学—医学院校—教材 IV. ①R392

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 205713 号

责任编辑: 罗 健 王 华

封面设计: 戴国印

责任校对: 刘玉霞

责任印制: 杨 艳

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦A座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 北京泽宇印刷有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 18.25 字 数: 455千字

版 次: 2013年7月第1版 2017年8月第2版 印 次: 2017年8月第1次印刷

印 数: 1~2500

定 价: 59.80元

产品编号: 071174-01

编者名单

主 审 熊思东

主 编 马兴铭 丁剑冰

副主编 齐静姣 袁桂峰 胜 利 许礼发

编 委 (以姓氏拼音排序)

陈雪玲 (石河子大学)

丁剑冰 (新疆医科大学)

韩 梅 (宁夏医科大学)

雒艳萍 (兰州大学)

李子璇 (西藏大学)

刘 燕 (青海大学)

马兴铭 (兰州大学)

齐静姣 (河南科技大学)

史 霖 (西安交通大学)

沈富兵 (成都医学院)

胜 利 (西北民族大学)

王 峰 (昆明医科大学)

王 松 (新疆医科大学)

王建杰 (佳木斯大学)

王军阳 (西安交通大学)

许礼发 (安徽理工大学)

袁桂峰 (桂林医学院)

张李峰 (兰州大学)

第2版前言

Preface

医学免疫学是基础医学的一门重要的主干和桥梁课程,广泛渗透到临床医学、预防医学、口腔医学、药学及生命科学的各个领域。免疫学的发展日新月异,适时更新教材内容、提高教材质量是促进医学教育发展的一项重要工作。依据教育部、国家卫生和计划生育委员会关于建立“5+3”(五年医学本科教育加三年住院医师规范化培训)为主体的临床医学人才培养体系的指导原则,结合第1版《医学免疫学》及高等医学院校本科生教学的现状,为了使医学免疫学教材内容与免疫理论和应用发展相适应,我们借鉴国内外医学免疫学教材精华和继承发扬前版教材优点的基础上,编写了《医学免疫学》(第2版)教材。

本教材主要适用对象是全国高等医药院校五年制医学生,兼顾国家执业医师资格考试的要求,也适用于从事相关医学研究的科技和医务工作者。在医学免疫学教材编写上我们坚持三基(基础理论、基本知识、基本技能)和五性(思想性、科学性、先进性、启发性、应用性)的原则,使本教材更加符合教学大纲的要求和21世纪医学人才培养目标的需要。

本教材注重知识更新,增加了部分前沿的、必要的医学免疫学内容,精心编排全书中重叠或交叉的内容。本教材遵照前一版的章节顺序,合理安排各章节内容,做到循序渐进、前后呼应,使之按照逻辑关系,避免相同内容的简单重复和“逻辑无序”,符合认知规律,由浅入深展示给读者。在保证教材系统性和完整性的基础上,精简内容,突出重点和难点,专业术语统一,文字表达力求准确无误、简明扼要、通俗易懂,对基础理论和基本概念务求讲解透彻。本教材书后附英语专业词汇中英文对照表和主要参考书目,方便学生查阅和学习。本教材精心绘制大量图表,对各知识点进行归纳总结,加强读者对所学知识的理解和记忆。

本教材是在全体编委、主审的共同努力下完成的,书中插图大部分由马兴铭修改和绘制。鉴于编者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,恳请使用本教材的广大师生给予批评指正,多提宝贵意见,以便今后不断完善,使其更加符合教学规律和人才培养的需要。

马兴铭 丁剑冰

2017年5月

第1版前言

Preface

医学免疫学发展极为迅速,广泛渗透到生命科学的各个领域。免疫学领域中许多重大突破性的发现,使免疫学发展成为一个具有多个分支学科和交叉的学科,也成为生命科学和现代医学的前沿学科,必将为解读生、老、病、死的自然规律以及提高人类健康水平做出新的贡献。为了满足我国医学飞速发展的需要,清华大学出版社组织全国多所高等医药院校有丰富教学经验的一线教师编写本教材,以满足医学教育需求,本教材主要使用对象是全国医药院校五年制和七年制医学生,也适用于从事相关医学研究的科技和医务工作者。我们在编写教材上力求体现免疫学学科的“三基”(基础理论、基本知识、基本技能)和“五性”(思想性、科学性、先进性、启发性、应用性),尽可能使本教材更加符合教学大纲的要求和21世纪医学人才培养目标的需要。

医学免疫学是基础医学的一门重要的主干和桥梁课程,学好本课程对医学生至关重要,但多年的教学实践表明,医学免疫学课程既难“教”也难“学”。为此,编者在认真学习国内外医学免疫学教材和相关文献资料的基础上,根据自身多年的教学经验,并针对国内高等医学院校本科生教学的现状,对免疫学教材的章节设置和内容编排做了适当改动,使之有利于教师和学生使用。

本教材注重知识更新,在尽量控制篇幅的同时,增加了部分前沿的、必要的医学免疫学内容,精心编排全书中重叠或交叉的内容,合理安排各章节内容,努力做到循序渐进、前后呼应,避免相同内容的简单重复,尽可能符合认知规律,由浅入深将相关知识展示给读者。在保证教材系统性和完整性的基础上,精简内容,突出重点和难点,专业术语统一,文字表达力求准确无误、简明扼要、通俗易懂,对基础理论和基本概念务求讲解透彻。本教材书后附英语专业词汇中英文对照表和主要参考书目,方便学生查阅和学习。本教材精心绘制大量图表,对知识点进行归纳总结,加强和强化读者对所学知识的理解和记忆。

本教材是在国内14所医学院校全体编委、主审共同努力下完成的,书中插图大部分由马兴铭、王倩、刘欢(兰州商学院陇桥学院)修改和绘制。鉴于编者水平有限,书中难免存在缺点和不足之处,恳请使用本教材的广大师生给予批评指正,多提宝贵意见,以便今后不断完善,使其更加符合教学规律和人才培养的需要。

马兴铭 丁剑冰
2013年3月

目录

Contents

第1章 绪论

第1节 医学免疫学概述	1
一、免疫的概念与功能	1
二、免疫系统的组成	2
三、免疫应答的类型和作用特点	4
四、免疫性疾病	6
五、免疫学的应用	7
第2节 免疫学发展简史和重要成就	7
一、传统免疫学时期 (18世纪~20世纪初)	7
二、近代免疫学时期 (20世纪初~20世纪50年代)	9
三、现代免疫学时期 (20世纪60年代初~21世纪初)	9
四、获得诺贝尔医学生理学奖的免疫 学家及其主要成就	12
五、21世纪免疫学发展趋势	13

第2章 抗原

第1节 抗原的特异性	14
一、决定抗原特异性的 分子结构基础——抗原表位	14
二、抗原表位的分类	16
三、半抗原-载体效应	17
四、共同抗原与交叉反应	17
第2节 影响抗原免疫原性的因素	18
一、抗原的异物性	18
二、抗原的理化特性	19

三、宿主的特性	20
四、抗原进入机体的方式	20
五、佐剂的应用	21
第3节 抗原的种类及医学意义	21
一、根据诱生抗体时是否 需要 Th 细胞参与分类	21
二、根据抗原与机体的亲缘关系 进行分类	22
三、根据抗原是否在抗原提呈 细胞内合成进行分类	23
四、其他分类	23
第4节 非特异性免疫刺激剂	23
一、超抗原	23
二、丝裂原	24
三、佐剂	24

第3章 免疫球蛋白(抗体)

第1节 免疫球蛋白的结构	26
一、免疫球蛋白的基本结构	26
二、免疫球蛋白的辅助成分	28
三、免疫球蛋白的水解片段	29
第2节 免疫球蛋白的免疫原性	30
第3节 免疫球蛋白(抗体)的主要功能	32
一、免疫球蛋白可变区的 生物学功能	32
二、免疫球蛋白恒定区的生物学功能	32
第4节 各类免疫球蛋白的 主要特性和功能	35
一、IgG	36

二、IgM	37
三、IgA	37
四、IgD	37
五、IgE	38
第5节 人工制备抗体与应用	38
一、多克隆抗体	38
二、单克隆抗体	39
三、基因工程抗体	40

第4章 补体系统

第1节 补体系统概述	42
一、补体系统的命名	42
二、补体系统的组成	42
三、补体系统的生物合成和理化性质	43
第2节 补体系统的激活	43
一、凝集素途径的激活过程	43
二、旁路途径的激活过程	46
三、经典途径的激活过程	47
四、补体系统三条激活途径的比较	48
第3节 补体系统活化的调节	50
一、自身衰变调节	50
二、血浆中补体调节蛋白及其主要作用	51
三、膜结合调节蛋白及其主要作用	51
第4节 补体系统的主要生物学作用	52
一、溶菌和细胞溶解作用	52
二、调理作用	52
三、清除免疫复合物	53
四、炎症介质作用	53
五、参与适应性免疫应答	53
第5节 补体系统异常与疾病	54
一、补体的遗传性缺陷	54
二、补体含量的改变	54

第5章 细胞因子

第1节 细胞因子的分类	55
--------------------------	----

一、白细胞介素	55
二、干扰素	56
三、肿瘤坏死因子	57
四、集落刺激因子	58
五、趋化因子	59
六、生长因子	61
七、其他细胞因子	61

第2节 细胞因子受体	61
一、细胞因子受体的种类	62
二、细胞因子受体的特性	63
三、可溶性细胞因子受体	63

第3节 细胞因子的共同特点	64
一、细胞因子的理化特性	64
二、细胞因子的产生和分泌特点	64
三、细胞因子的作用特点	65

第4节 细胞因子的生物学活性	66
一、参与固有免疫和炎症反应	66
二、参与适应性免疫和免疫调节	67
三、刺激造血细胞的增殖与分化	67
四、诱导细胞凋亡和直接杀伤靶细胞	67
五、促进创伤的修复	67
六、参与神经-内分泌-免疫网络调节	68

第5节 细胞因子与临床	68
一、细胞因子异常与临床疾病	68
二、细胞因子与临床疾病的治疗	69

第6章 白细胞分化抗原与黏附分子

第1节 白细胞分化抗原	71
一、参与T细胞识别抗原与活化的主要CD分子	71
二、参与B细胞识别抗原与活化的主要CD分子	72
三、参与免疫效应的主要CD分子	72
第2节 黏附分子	74
一、黏附分子共同特性	75

二、黏附分子的种类	75
三、黏附分子的主要生物学功能	77
第3节 CD和黏附分子及其单克隆抗体的临床应用	80
一、CD和黏附分子及其单克隆抗体与免疫缺陷病	80
二、CD和黏附分子及其单克隆抗体与自身免疫性疾病	80
三、CD和黏附分子及其单克隆抗体与移植排斥	80
四、CD和黏附分子及其单克隆抗体与肿瘤	84

第7章 主要组织相容性复合体及其编码的分子

第1节 HLA复合体及其产物	82
一、HLA-I类基因及其编码的分子	83
二、HLA-II类基因及其编码的分子	83
三、HLA-III类基因及其编码的分子	84
第2节 HLA-I类和II类分子的结构及与抗原肽的相互作用	84
一、HLA-I类分子的结构	84
二、HLA-II类分子的结构	84
三、HLA分子与抗原肽的相互作用	85
第3节 HLA-I类和II类分子表达和功能	86
一、HLA-I类和II类分子的分布	86
二、HLA-I类和II类分子的表达特点	87
三、HLA-I类和II类分子的主要生物学功能	87
第4节 HLA复合体的遗传特征	89
一、单倍型遗传	89
二、多态性	89
三、连锁不平衡	90
第5节 HLA在医学上的意义	90
一、HLA与同种器官移植的关系	90

二、HLA与输血反应的关系	90
三、HLA与疾病的相关性	91
四、HLA异常表达与疾病的关系	91
五、HLA与法医学和亲子鉴定的关系	91

第8章 免疫器官和组织

第1节 中枢免疫器官	92
一、骨髓	92
二、胸腺	97
第2节 外周免疫器官	101
一、淋巴结	101
二、脾	102
三、皮肤黏膜相关淋巴组织	103
第3节 淋巴细胞归巢与再循环	104
一、淋巴细胞归巢	104
二、淋巴细胞再循环及其生物学意义	104
第4节 免疫赦免组织	105
一、眼	105
二、脑组织	105
三、睾丸	105
四、哺乳动物的胚胎	106

第9章 固有免疫系统及其应答

第1节 组织屏障及其作用	107
一、皮肤黏膜及其附属成分的屏障作用	107
二、体内屏障	107
第2节 固有免疫细胞	108
一、吞噬细胞	108
二、树突状细胞	112
三、固有淋巴细胞	112
四、固有样T细胞和B细胞	116
五、其他固有免疫细胞	118
第3节 体液中国有免疫分子及其作用	118
第4节 固有免疫应答	119

一、固有免疫细胞的识别机制	119
二、固有免疫应答作用时相	120
三、固有免疫应答的特点	121
四、细胞自噬与固有免疫应答	121
五、固有免疫应答与适应性免疫应答的关系	122

第10章 抗原提呈细胞与抗原提呈

第1节 抗原提呈细胞	123
一、树突状细胞	123
二、单核-巨噬细胞	125
三、B细胞	125
第2节 抗原提呈细胞对抗原的加工处理和提呈	125
一、MHC-II类分子提呈外源性抗原	126
二、MHC-I类分子提呈内源性抗原	127
三、MHC分子对抗原的交叉提呈	128
四、CD1分子提呈非蛋白类抗原	129

第11章 适应性免疫应答细胞

第1节 T细胞	130
一、T细胞表面膜分子及其作用	130
二、T细胞亚群及功能	131
第2节 B细胞	138
一、B细胞表面分子及其作用	138
二、B细胞亚群	140
三、B细胞功能	141

第12章 适应性免疫应答

第1节 适应性免疫应答概述	142
一、适应性免疫应答的类型	142
二、适应性免疫应答发生的场所	142
三、适应性免疫应答的基本过程	143
第2节 T细胞介导的细胞免疫应答	143

一、T细胞对抗原的识别	143
二、T细胞活化、增殖及分化	144
三、T细胞的效应功能	151

第3节 B细胞介导的体液免疫应答

一、B细胞对TI抗原的免疫应答	153
二、B细胞对TD抗原的免疫应答	154

第4节 黏膜免疫应答

一、肠道黏膜相关淋巴组织的组成	160
二、肠道黏膜免疫应答	161
三、黏膜免疫系统的功能	161

第13章 免疫耐受

第1节 免疫耐受的发现和人工诱导的免疫耐受	162
一、天然免疫耐受现象的发现	162
二、人工诱导的免疫耐受实验	163
第2节 免疫耐受的细胞学基础和特点	163
一、免疫耐受的细胞学基础	163
二、T、B细胞免疫耐受的特点	164
第3节 影响免疫耐受形成的因素	165
一、抗原因素	165
二、机体因素	166
第4节 免疫耐受的形成机制	167
一、T细胞中枢免疫耐受机制	167
二、T细胞外周免疫耐受机制	168
三、B细胞中枢免疫耐受机制	169
四、B细胞外周免疫耐受机制	170
第5节 研究免疫耐受的意义	171

第14章 免疫调节

第1节 分子水平的免疫调节	172
一、抗原对免疫应答的调节作用	172
二、抗体对免疫应答的调节作用	172
三、补体对免疫应答的调节作用	174
四、免疫细胞活化/抑制受体介导的免疫调节作用	175

五、细胞内信号转导途径的 反馈性调节作用	175
第2节 细胞水平的免疫调节	177
一、抗原提呈细胞对免疫应答的 调节作用	177
二、辅助性 T 细胞对免疫应答的 调节作用	177
三、细胞毒性 T 细胞对免疫应答的 调节作用	178
四、调节 T 细胞对免疫应答的 调节作用	178
五、其他细胞对免疫应答的 调节作用	178
六、活化诱导的细胞死亡对 T/B 细胞的 调节作用	179
第3节 整体水平的调节作用	179
一、神经和内分泌系统对免疫应答的 调节作用	180
二、免疫系统对神经和内分泌系统的 调节作用	180
第4节 群体水平的调节作用	180
一、BCR 和 TCR 库多样性与 免疫调节	181
二、MHC 多态性与免疫调节	181
第5节 基因水平的调节作用	181
一、MHC 对免疫应答的调节作用	181
二、非 MHC 基因的免疫调节作用	182

第15章 超敏反应

第1节 I型超敏反应	183
一、参与 I 型超敏反应的主要成分	183
二、I 型超敏反应的发生机制	183
三、临床常见的 I 型超敏反应性疾病	186
四、I 型超敏反应的防治原则	187
第2节 II型超敏反应	189
一、II 型超敏反应的发生机制	189
二、临床常见的 II 型超敏反应性疾病	190

第3节 III型超敏反应	191
一、III 型超敏反应的发生机制	191
二、临床常见的 III 型超敏反应性 疾病	192
第4节 IV型超敏反应	194
一、IV 型超敏反应的发生机制	194
二、临床常见的 IV 型超敏反应性 疾病	195
第5节 各型超敏反应比较及其与疾病的关系	195

第16章 自身免疫病

第1节 自身免疫病概述	197
一、自身免疫与自身免疫病	197
二、自身免疫病的分类	198
第2节 自身免疫病发生的相关因素	199
一、遗传因素	199
二、抗原因素	200
三、淋巴细胞方面的因素	201
四、机体免疫调节机制紊乱	202
第3节 自身免疫病的免疫损伤机制及常见的自身免疫病	203
一、自身免疫病的免疫损伤机制	203
二、常见的自身免疫病	204
第4节 自身免疫病的治疗原则	205

第17章 免疫缺陷病

第1节 原发性免疫缺陷病	207
一、原发性 B 细胞缺陷病	207
二、原发性 T 细胞缺陷病	208
三、联合免疫缺陷病	209
四、补体系统缺陷	211
五、吞噬细胞缺陷	211
第2节 获得性免疫缺陷病	212
一、获得性免疫缺陷病的 主要诱发因素	212

二、获得性免疫缺陷综合征	212
第3节 免疫缺陷病的治疗原则	216

第18章 移植免疫

第1节 同种异体移植排斥反应的类型	218
一、宿主抗移植反应	218
二、移植抗宿主反应	220
三、移植排斥反应的特殊情况	220
第2节 同种异体移植排斥反应的发生机制	221
一、介导移植排斥反应的 同种异型抗原	221
二、同种异型抗原的识别机制	222
三、同种异型移植排斥反应的 效应机制	223
第3节 同种异体移植排斥反应的防治	224
一、供体的选择	224
二、移植物和受者的预处理	225
三、免疫抑制治疗	225
四、诱导同种移植耐受	226
五、造血干细胞移植	227
六、移植后的免疫检测	227

第19章 肿瘤免疫

第1节 肿瘤抗原	228
一、根据肿瘤抗原特异性分类	228
二、根据肿瘤抗原诱发和 产生情况分类	230
第2节 机体抗肿瘤的免疫效应机制	231
一、适应性免疫应答介导的 抗肿瘤效应机制	231
二、固有免疫应答介导的 抗肿瘤效应机制	233
第3节 肿瘤免疫逃逸机制	233
一、肿瘤抗原的免疫原性微弱或 抗原调变	234

二、肿瘤细胞表面膜分子的 异常表达	234
三、肿瘤细胞“抗原覆盖”或 “封闭因子”作用	234
四、机体免疫功能低下或免疫耐受	235
第4节 肿瘤的免疫诊断和治疗	235
一、肿瘤的免疫诊断	235
二、肿瘤的免疫治疗	236

第20章 免疫学检测技术及其应用

第1节 抗原或抗体的体外检测	237
一、抗原-抗体反应的特点	237
二、抗原-抗体反应的影响因素	238
三、常用抗原-抗体检测技术及其 原理	238
第2节 免疫细胞及其功能检测	250
一、外周血单个核细胞的分离	250
二、淋巴细胞及其亚群的分离	251
三、淋巴细胞功能测定	252
四、吞噬细胞功能测定	253
第3节 免疫分子基因检测	256

第21章 免疫学防治

第1节 免疫预防	257
一、人工主动免疫	258
二、人工被动免疫	261
三、我国计划免疫	261
第2节 免疫治疗	264
一、生物应答调节剂与免疫抑制剂	264
二、分子为基础的免疫治疗	265
三、细胞为基础的免疫治疗	266
四、免疫基因治疗	268

英中文词汇索引	269
主要参考文献	278

第1章 绪 论

医学免疫学（medical immunology）是研究人体免疫系统的结构和功能、免疫应答的规律和效应，探讨免疫功能异常所致疾病及其发生的机制，发展有效免疫学诊断和防治手段的一门生物科学。医学免疫学起始于医学微生物学，以研究抗感染免疫为主，现已广泛渗透到医学科学的各个领域，发展成为具有多个分支并与生物学等多学科交叉融合的医学主干课程。理论与应用的紧密联系是免疫学发展的重要特色，在重大疾病发生机制研究、防治以及生物高科技产品开发和应用等方面正在发挥着越来越大的作用，已发展成为生命科学和现代医学的前沿学科及支撑学科之一。

第1节 医学免疫学概述

一、免疫的概念与功能

1. 基本概念 免疫（immunity）一词是从拉丁文 immunis 衍生而来，其原意是免除赋税或差役。人们早期已注意到传染病患者恢复后，对该病产生不同程度的抵御能力（免疫力），故在医学上引申为免除瘟疫，即抗御传染病的能力，在相当长的一段时期内，人们认为机体的“免疫”必然对机体有利。随着免疫学研究的发展，人们对免疫的概念有了新的认识。现代“免疫”的概念指机体免疫系统识别“自己”和“非己”，对自身成分产生天然免疫耐受，对非己异物产生免疫应答并清除，维持机体生理平衡和稳定的能力。正常情况下，免疫系统不但能够识别并清除入侵的各种病原体，还能及时清除机体衰老死亡的细胞和突变的肿瘤细胞，从而产生对机体有益的保护作用。在有些情况下，免疫功能失调也能产生对机体有害的病理损伤或功能障碍，如引发超敏反应、自身免疫性疾病和肿瘤等。

2. 免疫功能 机体免疫系统通过对“自己”和“非己”物质的识别及应答，主要发挥以下三方面的功能（表 1-1）。

表 1-1 免疫功能及其生理和病理表现

主要功能	生理表现（有利）	病理表现（有害）
免疫防御	抗感染免疫作用，清除病原体及其毒素	超敏反应性疾病 免疫缺陷病
免疫自稳	清除衰老或损伤细胞 维持自身耐受状态 对非己抗原产生适度免疫应答	自身免疫性疾病
免疫监视	清除肿瘤等突变细胞 清除病毒感染细胞	发生肿瘤 病毒持续性感染

(1) **免疫防御** (immunological defense)：是机体阻止病原体侵袭和对已侵入病原体（如细菌、病毒、真菌、寄生虫等）及其有害产物（如外毒素等）清除的一种免疫保护功能，即通常所指的抗感染免疫作用。免疫防御反应异常增高有可能引发超敏反应；免疫防御反应过低或缺失，则可引发免疫缺陷病或对病原体高度易感。

(2) **免疫自稳** (immunological homeostasis)：是机体免疫系统通过自身免疫耐受和免疫调节机制，及时清除体内衰老、损伤或变性细胞，对自身成分处于耐受状态，对非己抗原性异物刺激产生适度免疫应答的一种生理功能。免疫自稳功能失调，可引发自身免疫性疾病。

(3) **免疫监视** (immunological surveillance)：是机体免疫系统及时识别、清除体内肿瘤等突变细胞和病毒感染细胞的一种生理性保护作用。免疫监视功能发生失调，可引发肿瘤或病毒持续性感染。

二、免疫系统的组成

免疫系统 (immune system) 是机体执行免疫功能的组织系统，由免疫器官、免疫细胞和免疫分子三部分组成（表 1-2）。

表 1-2 人体免疫系统的组成

免疫器官	免疫细胞	免疫分子
中枢免疫器官	固有免疫的组成细胞	分泌型分子
骨髓	单核 - 巨噬细胞	抗体
胸腺	树突状细胞	补体系统
外周免疫器官	粒细胞	细胞因子
淋巴结	固有淋巴细胞	膜型分子
脾	(NK 细胞、ILC 细胞)	T 细胞受体 (TCR)
黏膜相关淋巴组织	具有固有免疫特性的淋巴细胞	B 细胞受体 (BCR)
皮肤相关淋巴组织	(NKT 细胞、 $\gamma\delta$ T 细胞、B1 细胞)	MHC 分子
	适应性免疫的组成细胞	CD 分子与黏附分子
	T 细胞 ($\alpha\beta$ T 细胞)	细胞因子受体
	B 细胞 (B2 细胞)	模式识别受体
		其他受体分子

1. **免疫器官** 由中枢免疫器官和外周免疫器官组成，二者通过血液循环和淋巴循环相互联系。人和其他哺乳动物的中枢免疫器官包括胸腺和骨髓，胸腺是 T 细胞发育成熟的场所；骨髓是造血器官，可产生多能造血干细胞，是各种免疫细胞的发源地，也是红细胞、单核细胞、粒细胞及 B 细胞分化发育成熟的场所。外周免疫器官是成熟 T、B 细胞定居和接受抗原刺激后产生免疫应答的主要场所，主要包括淋巴结、脾和皮肤黏膜相关淋巴组织（见第 8 章）。

2. **免疫细胞** 免疫细胞可分为髓系细胞和淋系细胞。髓系细胞包括红细胞、粒细胞、单核 - 巨噬细胞 (macrophage)、树突状细胞 (dendritic cell, DC)、肥大细胞、血小板，介导非特异性免疫应答。淋系细胞也就是淋巴细胞，包括执行特异性（适应性）免疫应答的淋巴细胞 ($\alpha\beta$ T 细胞、B2 细胞) 和非特异性免疫应答的固有淋巴细胞 (NK 细胞、ILC 细胞)、具有固有免疫特性的淋巴细胞 (NKT 细胞、 $\gamma\delta$ T 细胞、B1 细胞)（见第 9 章）。

(1) **树突状细胞和吞噬细胞**：树突状细胞、吞噬细胞（单核-巨噬细胞、中性粒细胞）不表达特异性抗原识别受体，但能通过表面的模式识别受体（pattern recognition receptor, PRR）直接识别结合病原体表面某些高度保守的共有特定分子，如革兰阴性菌脂多糖、革兰阳性菌肽聚糖、病毒单/双股RNA等，对病原微生物等非己异物的识别缺少专一性，即对各种病原微生物和其他抗原性异物均可识别，并迅速产生免疫效应，其中中性粒细胞、巨噬细胞能够发挥吞噬、杀菌等非特异性抗感染免疫作用。DC细胞和巨噬细胞作为抗原提呈细胞（antigen presenting cell, APC），在摄取病原体等抗原性异物后，还具有加工处理和提呈抗原的能力，通过细胞内MHC分子将加工处理后形成的抗原肽运载到细胞表面，供抗原特异性淋巴细胞识别结合并启动适应性免疫应答（见第10章）。

(2) **固有淋巴细胞**（innate lymphoid cell, ILC）：是缺乏特异性抗原识别受体的一群淋巴细胞，包括NK细胞（natural killer cell）和三组ILC细胞（ILC1、ILC2和ILC3）。①NK细胞可直接杀伤某些肿瘤细胞或病毒等胞内病原体感染的靶细胞，是执行机体免疫监视作用的重要效应细胞。②三组ILC活化后迅速产生各种细胞因子（IFN- γ 、IL-5、IL-13、IL-22、IL-17）发挥免疫作用。

(3) **具有固有免疫特性的淋巴细胞**：也称为固有样淋巴细胞，是表达泛特异性抗原识别受体的一群淋巴细胞，已发现的主要包括NKT细胞、 $\gamma\delta$ T细胞、B1细胞。①NKT细胞表达NK1.1分子和泛特异性T细胞受体（T cell receptor, TCR）复合分子，可直接识别结合某些病原体的共有磷脂和糖脂类抗原成分，迅速活化产生细胞毒效应，并分泌细胞因子（如IL-4、IFN- γ ）调节T细胞分化。② $\gamma\delta$ T细胞的TCR由 γ 和 δ 两条肽链组成，不同于执行特异性免疫功能的 $\alpha\beta$ T细胞（即通常所说的T细胞），其TCR为泛特异性抗原识别受体，可直接识别结合某些病原体或感染、突变细胞表达的磷脂和糖脂类抗原、热休克蛋白等共同抗原成分，迅速产生免疫效应。③B1细胞是执行非特异免疫功能的B细胞，与执行特异免疫功能的B2细胞（即通常所说的B细胞）相比，其表面抗原识别受体（B cell receptor, BCR）也为泛特异性抗原识别受体，主要识别某些病原体表面共有的多糖抗原，并迅速产生以IgM类抗体为主的多反应性抗体（又称泛特异性抗体），在机体早期发挥抗细菌感染和清除变性自身抗原过程中具有重要作用。

(4) **适应性免疫细胞**：主要包括 $\alpha\beta$ T细胞和B2细胞，即通常所说的T、B细胞（见第11章）。此类T、B细胞表面具有特异性抗原识别受体，即T细胞受体（TCR）和B细胞受体（BCR）。此类TCR/BCR具有高度多样性和特异性，每个T细胞和B细胞克隆只表达一种TCR或BCR，只能识别结合一种与之相对应的抗原分子。T细胞表面的TCR不能直接识别结合抗原分子，只能识别被APC摄取、加工处理后，以抗原肽形式表达于APC表面的抗原分子，即抗原肽-MHC分子复合物。

T细胞是具有高度异质性的细胞群体， $\alpha\beta$ T细胞根据其表面标志（CD分子）和功能特性的不同分为CD4⁺辅助性T细胞（T helper cell, Th细胞）、CD8⁺细胞毒性T细胞（cytotoxic T lymphocyte, CTL细胞）、CD4⁺调节性T细胞（regulation T cell, Treg细胞）。Th细胞包括多个亚群，CD4⁺Th1细胞主要参与适应性细胞免疫应答，CD4⁺Th2细胞和CD4⁺Tfh细胞主要参与体液免疫应答，CD4⁺Th17细胞主要参与抗真菌和胞外菌感染作用，CD8⁺CTL细胞主要参与适应性细胞免疫应答，CD4⁺Treg细胞对免疫功能具有负调节作用。

B2 细胞则可通过表面 BCR 直接识别结合相应的抗原分子,而无须抗原提呈细胞参与。B2 细胞在 $CD4^+$ Th2 细胞和 $CD4^+$ Tfh 细胞辅助下增殖分化为浆细胞,合成并分泌抗体介导特异性体液免疫应答。

3. 免疫分子 主要包括补体、抗体、细胞因子和表达于细胞膜表面参与免疫应答及发挥免疫效应的各种膜型分子,如主要组织相容性抗原(MHC 分子)、白细胞分化抗原(CD 分子)、黏附分子、TCR 或 BCR、细胞因子受体和模式识别受体等。

(1) **补体**(complement, C):是存在于血清、组织液和细胞膜表面的一组不耐热的蛋白质,又称补体系统。生理条件下,存在于血清和组织液中的补体成分通常以酶原或无活性形式存在。当病原微生物进入体内或抗原与抗体在体内结合形成抗原-抗体复合物时,可使补体系统激活,产生溶细胞溶菌、促进调理吞噬、免疫调节及释放炎症介质参与炎症反应等作用(见第4章)。

(2) **抗体**(antibody, Ab):是 B 细胞接受抗原刺激,增殖分化为浆细胞后合成分泌的一种能与相应抗原特异性结合的球蛋白,并在补体、吞噬细胞和 NK 细胞参与下,产生溶菌、促进吞噬杀菌的调理作用和抗体依赖性细胞介导的细胞毒作用(见第3章)。

(3) **细胞因子**(cytokine, CK):是多种免疫细胞或非免疫细胞合成分泌的一类具有多种生物学活性的小分子蛋白。细胞因子在免疫细胞分化发育、免疫应答及炎症反应等过程中发挥重要作用(见第5章)。

(4) **MHC 分子**:是由主要组织相容性复合体(major histocompatibility complex, MHC)基因编码的抗原分子,简称 MHC 分子,在人和哺乳动物细胞内质网中形成,广泛分布于淋巴细胞等有核细胞表面。生理条件下,MHC 分子的主要功能是结合、提呈抗原肽,启动适应性免疫应答(见第7章)。

(5) **模式识别受体**:是表达于吞噬细胞和树突状细胞等固有免疫细胞表面,可直接识别结合病原体表面某些高度保守的共有特定分子,如革兰阴性菌脂多糖、革兰阳性菌肽聚糖、病毒单/双股 RNA 等,并迅速产生免疫效应。

(6) **白细胞分化抗原**(leukocyte differentiation antigen, LDA):是不同谱系白细胞在分化成熟的不同阶段及活化过程中,出现或消失的细胞表面标志。通常将来源于不同实验室的单克隆抗体所识别鉴定的同一分化抗原统一命名,归为同一分化群(cluster of differentiation, CD),亦称 CD 分子或 CD 抗原。

(7) **黏附分子**(adhesion molecules, AM):是介导细胞间或细胞与细胞外基质间相互接触和结合的膜分子,通常以受体-配体形式发挥作用。

CD 分子和黏附分子种类很多,其功能各不相同,也可作为鉴定免疫细胞的表面标志。如生理条件下,CD3 分子与 TCR 非共价结合组成 TCR-CD3 复合受体分子,其主要作用是转导 TCR 识别抗原后产生的活化信号,同时也是 T 细胞表面特有的、能与其他免疫细胞相鉴别的表面标志。

三、免疫应答的类型和作用特点

免疫应答(immune response)是机体免疫细胞通过识别抗原性异物而发生活化、增殖和分化,有效清除异物的一系列生理效应过程。如细菌、病毒等病原体侵入机体后,吞噬细胞、树

突状细胞等感受器细胞（sensor cells）依赖其表面的固有免疫受体（如模式识别受体），识别入侵病原体并被激活，分泌各种生物活性介质（如细胞因子、趋化因子、细胞毒性化学介质等），直接杀灭入侵的病原体，或招募、活化体内其他免疫细胞（如 NK 细胞、ILC 细胞、T/B 细胞），启动特异性免疫应答清除病原体。根据种系和个体免疫系统的发育过程及免疫细胞对抗原性异物的识别特点和效应机制的不同，可分为固有免疫和适应性免疫两种类型（图 1-1 和表 1-3）。

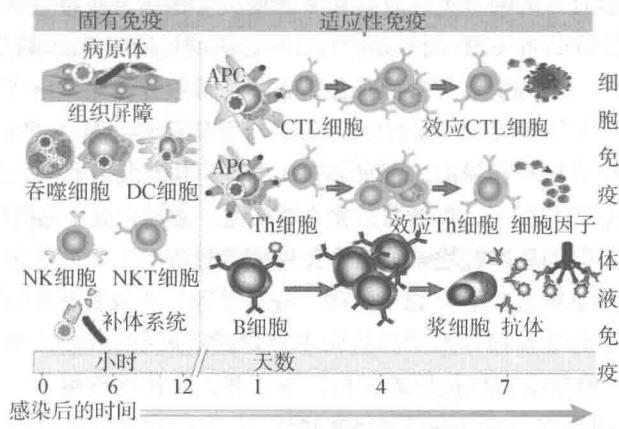


图 1-1 固有免疫和适应性免疫比较

表 1-3 固有免疫与适应性免疫的特点比较

	固有免疫	适应性免疫
获得方式	固有性（或先天性） 无须抗原激发	后天获得性 需要抗原激发
识别受体	模式识别受体 (PRR)	特异性抗原识别受体 (BCR/TCR)
应答特点	泛特异性、缺乏多样性和记忆性	具有特异性、多样性、记忆性
作用时相	早期、快速（数分钟~4 天）	4~5 天后发挥效应
主要组成	皮肤黏膜屏障、微生物屏障 吞噬细胞、ILC 细胞、DC 细胞、固有样淋巴细胞 补体系统、细胞因子	T 细胞、B 细胞 抗体

1. 固有免疫（innate immunity） 又称天然免疫（natural immunity）或非特异性免疫（nonspecific immunity），是机体在长期种系发育和进化过程中逐渐形成的一种天然防御功能，是机体抵御病原体入侵的第一道防线，并参与适应性免疫应答的全过程，其特点是：经遗传获得，与生俱有，作用范围广，并非针对特定抗原物质，即对各种侵入的病原体或其他抗原性异物均可迅速应答，产生非特异性免疫作用。固有免疫应答系统组成主要包括：①组织屏障，如皮肤黏膜及其附属成分组成的物理、化学及微生物屏障、血脑屏障、胎盘屏障；②固有免疫细胞，如吞噬细胞、固有淋巴细胞、DC 细胞、NKT 细胞、 $\gamma\delta$ T 细胞、B1 细胞等；③固有免疫分子，如模式识别受体、补体、细胞因子、警报素、蛋白质酶等（见第 9 章）。

2. 适应性免疫（adaptive immunity） 又称获得性免疫（acquired immunity）或特异性免疫