

运动与免疫

李春艳 编著



湖北科学技术出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

运动与免疫 / 李春艳编著. — 武汉 : 湖北科学技术出版社, 2014. 5

ISBN 978-7-5352-6606-4

I. ①运… II. ①李… III. ①运动医学—免疫学
IV. ①G804.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 058254 号

责任编辑: 黄国香

封面设计: 王梅 李建国

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027-87679468

地 址: 武汉市雄楚大街 268 号

邮编: 430070

(湖北出版文化城 B 座 13~14 层)

网 址: <http://www.hbstp.com.cn>

印 刷: 湖北新新城际数字出版印刷技术有限公司

787×1092 1/16

23.5 印张

420 千字

2014 年 5 月第 1 版

2014 年 5 月第 1 次印刷

定价: 48.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

作者简介



李春艳，女，1969 年出生，湖北松滋人，体育教育训练学硕士，生物医学工程专业博士，运动人体科学专业教授，毕业于华中科技大学，主要从事体力活动与健康促进方向的教学和研究工作，现为中国体育科学学会运动生理生化分会会员，运动干预与健康促进湖北省协同创新中心核心成员。已在国内外核心期刊上发表科研论文 60 多篇，其中 SCI 或 EI 收录论文 9 篇。

前 言

随着社会物质文明的进步，人们越来越强烈的意识到体育活动、运动是预防和治疗如肥胖、糖尿病、心脑血管疾病等代谢性疾病有效的方式，也是增强免疫力、延缓衰老、逆转亚健康、提高生活质量最经济的方式。目前已有越来越多的人群加入到运动健身的行列中来，并从中收获了丰厚的红利。因此，我们欣喜地看到广场上、公园里、体育馆等随处可见身着运动装的健身人群。

然而，我们也不难发现健身人群中因为不当的运动带来的运动损伤的频繁发生，以及因为过大量的运动带来机体免疫能力的下降，这是我们不愿意看到的，也完全有悖于人们健身的初衷。为此，如何科学的健身运动才能增强人们的免疫能力，运动对机体的免疫系统和免疫机能会带来哪些影响？带着这一系列的问题，作者开始了“运动与免疫”的探寻之旅。经过近三年的努力，《运动与免疫》这本书终于成型。

免疫学是研究免疫系统的结构，免疫系统识别并消除病原微生物及其成分（体外入侵、体内产生）的应答过程及机制的科学。运动与免疫则在介绍免疫学基本知识的基础上侧重阐述运动对免疫系统的结构和功能、以及运动对免疫应答过程的影响和机制。期望通过本书帮助读者理解免疫学的基础知识，以及运动与免疫的关系。

本书共分十四章，内容包括绪论、免疫系统、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、主要组织相容性复合体及其编码分子、造血干细胞、淋巴细胞、抗原提呈细胞与抗原提呈、T/B 细胞介导的特异性免疫应答、运动与免疫衰老，低氧运动与免疫机能等内容。前十二章主要在介绍免疫学的基本概念和基本理论的基础上阐述了运动对机体免疫系统的结构和功能的影响，第十三章重在说明运动与免疫衰老的关系，第十四章则介绍低氧运动这一特殊运动方式对机体免疫功能的影响。

尽管撰写过程力求准确、完善，但囿于作者水平有限，经验不足，难免有挂一漏万之处，敬请专家、读者给予批评指正，以便进一步修订和完善。

李春艳

2013 年 8 月

目 录

第一章 绪论	001
第一节 免疫的概念和功能	002
一、免疫的概念	002
二、免疫的功能	002
第二节 免疫应答的类型	003
一、固有免疫	004
二、适应性免疫	006
第三节 免疫学的发展	007
一、经验免疫学时期	007
二、科学免疫学时期	009
三、现代免疫学时期	011
第四节 运动免疫的理论学说	014
一、“J”型模型	015
二、“开窗”理论	015
三、神经 - 内分泌 - 免疫网路学说	017
四、“免疫抑制因子调节”学说	020
五、自由基学说	022
六、营养物质耗竭学说	022
七、心理应激学说	024
第二章 免疫系统	025
第一节 中枢免疫器官	026
一、胸腺	028
二、骨髓	031

第二节 外周免疫器官	033
一、淋巴结	033
二、脾	036
三、黏膜相关淋巴组织	038
第三节 淋巴细胞归巢与再循环	040
一、淋巴细胞归巢	041
二、淋巴细胞再循环	042
第四节 免疫细胞	043
一、单核 / 巨噬细胞	043
二、中性粒细胞	044
三、树突状细胞	044
四、自然杀伤细胞	044
五、 $\gamma \delta$ T 细胞	045
六、NK T 细胞	045
七、B1 细胞	045
八、肥大细胞	046
九、嗜碱性粒细胞	046
十、嗜酸性粒细胞	046
十一、红细胞	047
十二、血小板	047
第五节 运动与免疫细胞、免疫器官	048
一、运动与白细胞	048
二、运动与单核 / 巨噬细胞	052
三、运动与红细胞	053
四、运动与自然杀伤细胞	056
五、运动与树突状细胞	058

六、运动与免疫器官	058
第三章 抗原	061
第一节 抗原的免疫原性	062
一、抗原的异物性	062
二、抗原的理化性质	063
第二节 抗原的特异性	065
一、抗原表位	065
二、抗原表位的类型	067
三、抗原结合价	069
四、交叉反应	069
第三节 抗原的分类	071
一、根据抗原与宿主的亲缘关系分类	071
二、根据抗原诱发抗体时对 T 细胞的依赖性分类	071
三、根据抗原的来源分类	072
四、其他分类	073
第四节 非特异性免疫刺激剂	073
一、佐剂	073
二、丝裂原	074
三、超抗原	075
第四章 免疫球蛋白	076
第一节 免疫球蛋白的结构	077
一、免疫球蛋白的基本结构	077
二、免疫球蛋白的其他成分	080
三、免疫球蛋白的水解片段	083
第二节 免疫球蛋白的异质性	084

一、免疫球蛋白可变区的异质性	085
二、免疫球蛋白恒定区的异质性	086
三、免疫球蛋白异质性的原因	087
第三节 免疫球蛋白的主要生物学功能	089
一、免疫球蛋白 V 区的功能	090
二、免疫球蛋白 C 区的功能	090
第四节 各类免疫球蛋白的特性与功能	093
一、IgG	094
二、IgM	095
三、IgA	096
四、IgD	097
五、IgE	098
第五节 运动与免疫球蛋白	100
一、运动对免疫球蛋白的影响	100
二、运动适应与免疫球蛋白	102
三、免疫球蛋白与其他激素的关系	103
四、运动对 sIgA 的影响	104
第六节 人工制备抗体	106
一、多克隆抗体	107
二、单克隆抗体	107
三、基因工程抗体	109
第五章 补体系统	110
第一节 概述	110
一、补体系统的组成	110
二、补体的命名	111
三、补体的理化性质	112

四、补体的生物合成	112
第二节 补体的激活	113
一、补体激活的经典途径	114
二、补体激活的旁路途径	118
三、补体激活的 MBL 途径	120
四、补体激活的共同终末过程	121
五、三条激活途径的比较	122
第三节 补体激活的调控	124
一、补体的自身衰变	124
二、调节因子的作用	124
第四节 补体系统的生物学活性	126
一、溶细胞作用	126
二、调理作用	127
三、清除免疫复合物	128
四、介导炎症反应	130
五、免疫调节作用	131
第五节 运动对补体系统的影响	131
一、运动与补体激活	131
二、补体与运动性哮喘	133
第六章 细胞因子	134
第一节 细胞因子的共同特点	134
第二节 细胞因子的分类	138
一、白细胞介素	138
二、干扰素	139
三、肿瘤坏死因子	140

四、集落刺激因子	140
五、趋化因子	141
六、生长因子	142
第三节 细胞因子的生物学作用	142
一、介导和调节固有免疫和适应性免疫	142
二、刺激造血细胞的活性	143
三、介导炎症反应	144
四、调节细胞凋亡	144
五、形成复杂的细胞因子调节网络	144
第四节 运动与细胞因子	146
一、运动对细胞因子的影响	146
二、细胞因子对运动应答的可能机制	152
第七章 白细胞分化抗原和黏附分子	155
第一节 白细胞分化抗原	155
一、与 T 细胞识别、活化有关的 CD 分子	156
二、与 B 细胞识别、活化有关的 CD 分子	158
三、构成免疫球蛋白 Fc 受体的 Fc 分子	160
第二节 黏附分子	162
一、黏附分子的分类	162
二、黏附分子的生物学功能	166
第三节 运动与白细胞分化抗原和黏附分子	169
第八章 主要组织相容性复合体及其编码分子	172
第一节 人类主要组织相容性复合体的结构	173
第二节 HLA 复合体的遗传特征	176
一、多基因性	177

二、单元型遗传	177
三、共显性表达	178
四、多态性	179
五、连锁不平衡	181
第三节 MHC 分子	182
一、MHC 分子的分布	182
二、MHC I 类分子的组成与结构	183
三、MHC II 分子的组成与结构	185
第四节 MHC 与抗原肽的相互作用	188
一、抗原肽和 MHC 分子相互作用的分子基础	189
二、抗原肽与 MHC 分子相互作用的特点	190
第五节 MHC 分子的生物学功能	191
一、MHC 向 T 细胞提呈加工的抗原	191
二、胸腺水平上 MHC 参与 T 细胞库的塑造	191
三、MHC 参与 T 细胞限制性识别	192
四、MHC 参与免疫调节	192
五、MHC 是疾病易感个体差异的主要决定者	192
六、MHC 参与构成种群基因结构的异质性	192
七、其他作用	193
第六节 MHC 在临床上的应用	193
一、MHC 与疾病的关联	193
二、HLA 抗原表达异常与疾病的关系	193
三、HLA 与器官移植	194
四、HLA 与输血	195
五、HLA 与母胎关系	195
六、HLA 与法医鉴定	195

第九章 造血干细胞	196
第一节 造血干细胞的起源与表面标志	197
一、造血干细胞的起源	197
二、造血干细胞的表面标志	197
第二节 造血干细胞的分化	198
第三节 造血干细胞应用于竞技运动的思考	199
第十章 淋巴细胞	201
第一节 T 淋巴细胞	201
一、T 淋巴细胞的分化、发育	201
二、T 细胞的膜表面分子	204
三、T 细胞亚群及其功能	212
第二节 B 淋巴细胞	219
一、B 淋巴细胞的分化发育	219
二、B 细胞的主要表面分子	221
三、B 细胞亚群及功能	225
第三节 自然杀伤细胞	227
一、NK 细胞的来源与分布	227
二、NK 细胞的表面标志	228
三、NK 细胞的作用机制	229
四、NK 细胞的功能	230
第四节 运动与淋巴细胞	231
一、运动对淋巴细胞活化与增殖的影响	231
二、运动对 T 细胞的影响	234
三、运动对 NK 细胞的影响	235
第十一章 抗原提呈细胞与抗原提呈	238

第一节 抗原提呈细胞	239
一、树突状细胞	239
二、单核 / 巨噬细胞	245
三、B 细胞	248
四、其他兼职抗原提呈细胞	249
第二节 抗原的处理与提呈	250
一、MHC I 类途径提呈内源性抗原	252
二、MHC II 类途径提呈外源性抗原	254
三、抗原的交叉提呈	257
四、脂类抗原的 CD1 分子提呈途径	258
第三节 运动对巨噬细胞抗病毒能力的影响	259
一、不同强度的运动对巨噬细胞的抗病毒能力的影响	259
二、运动改变巨噬细胞抗病毒能力的影响因素	260
第十二章 T/B 细胞介导的特异性免疫应答	262
第一节 免疫应答概述	262
第二节 T 细胞介导的细胞免疫应答	264
一、T 细胞对抗原的识别	264
二、T 细胞的活化、增殖和分化	270
三、T 细胞介导的免疫效应	274
四、T 细胞介导细胞免疫应答的意义	279
第三节 B 细胞介导的体液免疫	279
一、B 细胞对 TD 抗原的免疫应答	279
二、B 细胞对 TI 抗原的免疫应答	287
三、体液免疫应答的一般规律	289
四、体液免疫应答的效应	291

第四节 不同免疫应答对有氧运动反应和适应	293
第十三章 运动与免疫衰老	296
第一节 概述	296
第二节 运动对免疫衰老影响的研究进展	297
第三节 运动与氧化应激、端粒	300
一、运动与氧化应激	300
二、运动与端粒	300
第四节 运动对适应性免疫衰老的影响	302
一、CD4 ⁺ 和 CD8 ⁺ 显型和亚群	302
二、细胞因子的表达和信号转导	305
第五节 运动对天然免疫衰老的影响	308
一、NK 细胞	308
二、中性粒细胞	310
三、单核 / 巨噬细胞	311
四、树突状细胞	312
第六节 运动对老年人病毒感染和疫苗免疫效果的影响	313
一、运动对病毒感染的影响	313
二、运动对疫苗免疫效果的影响	315
三、运动与年龄相关性炎症	316
第七节 运动影响免疫衰老的机制	317
一、运动影响免疫衰老机制的假说	317
二、运动影响胸腺功能	318
三、运动影响衰老细胞	318
第十四章 低氧训练与免疫功能	321
第一节 低氧环境与免疫功能	322

一、高原低氧环境与免疫功能	322
二、不同海拔高度对免疫功能的影响	325
三、人工模拟低氧环境与免疫功能	325
四、低氧环境引起免疫抑制的机制	326
第二节 低氧运动与免疫功能	329
一、低氧运动对免疫功能的影响	329
二、不同低氧训练方式对免疫功能的影响	331
三、低氧运动引起免疫功能变化的机制	333
参考文献	335
附录	349

第一章 绪 论

免疫学是一门既古老又年轻的学科。它最早是研究抗细菌感染的问题，例如公元 16 世纪人们就观察到很多传染病患者，在其康复后一般不再患同样的传染病，对这种传染病具有终身免疫力。因此，长期以来免疫学属于细菌学，主要研究用免疫学的方法来防治传染病。随着研究的深入，发现许多免疫现象与微生物无关，且这种现象不再仅仅对机体起保护作用，相反，许多免疫疾病由免疫机制引起，为此引起各学科的广泛兴趣。

运动免疫学是在免疫学的基础上发展起来的一门学科，是免疫学的一个分支学科，是随着免疫学的发展而迅速发展起来的一门新学科。免疫学是研究免疫系统识别并消除有害生物及其成分（体外入侵或体内产生）的应答过程及机制的科学。运动免疫学是侧重于研究生物体在运动过程中免疫系统所发生的变化规律，以及免疫机能对运动的反应和适应的一门学科。运动免疫学作为一门学科，在发达国家获得了迅速发展，相关研究异常活跃，已有大量的有关运动对人体免疫功能影响的相关报道。我国在这方面也取得了一定的研究成果。

免疫学的研究是从 1796 年由英国乡村医生 Edward Jenner 用接种牛痘苗预防天花获得成功才开始的。免疫学科的形成与发展经历了漫长的岁月，前后经历了经验免疫学、科学免疫学和现代免疫学三个时期。以分子、细胞、器官及整体调节为基础，发展起来的现代免疫学，是生命科学中的前沿学科之一。运动免疫学是近几年发展起来的一门新兴学科，有关运动对免疫系统功能的研究也已经展开。有报道表明，激烈的运动能引起免疫系统功能的抑制，而温和的

运动能提高免疫系统特别是非特异性免疫的功能。

在以健康为第一财富的 21 世纪，健身的理念已深入人心，很多人主动加入到运动健身的行列并开始收获其丰厚红利。而作为维持机体健康的重要物质基础——免疫系统在运动中会发生哪些改变？不同形式、不同强度的运动对免疫系统的结构和机能会带来什么影响？对于这些问题的诠释有助于理解科学运动的健身功能，以及确立科学的健身运动方式。因此，运动免疫学是一个非常广阔的研究领域，需要广大学者不懈努力，以推进该学科的蓬勃发展。

第一节 免疫的概念和功能

一、免疫的概念

在古代，人们不知道传染病因何而生，将之归结为“上天”对人类触犯“天条”的惩罚，称之为瘟疫。后来在实践中人们发现曾在瘟疫流行中感染而康复的人，对这种疾病的再次感染具有抵抗力，称之为“免疫”（immunity）。Immunity 源自拉丁文 *immunitas*，原意为古罗马时代对议员的法律豁免权及免除个人劳役和赋税，引用到医学中则指免疫瘟疫、抵抗传染的能力，即机体抗感染的防御功能。后来在医疗实践中人们发现一些与抗感染无关的现象，如注射异种动物血清引起的血清病、同种异体皮肤移植引起的排斥反应等，其本质亦为机体排除非己异物的免疫现象。因此，免疫的概念逐渐拓展完善。现代免疫的概念是指机体接触“抗原性异物”后所发生的特异性生理反应，其作用是识别和排除抗原性异物，以维持机体的生理平衡和稳定，通常对机体是有利的，但是在某些条件下也可以是有利的。

二、免疫的功能

（1）免疫防御（immune defense），指机体抵抗病原微生物感染的能力，即抗感染免疫。该功能发生异常可对机体产生不利影响：免疫防御功能过低或缺失，可发生免疫缺陷病，主要表现为抗感染能力降低，易发生严重的反复感染；