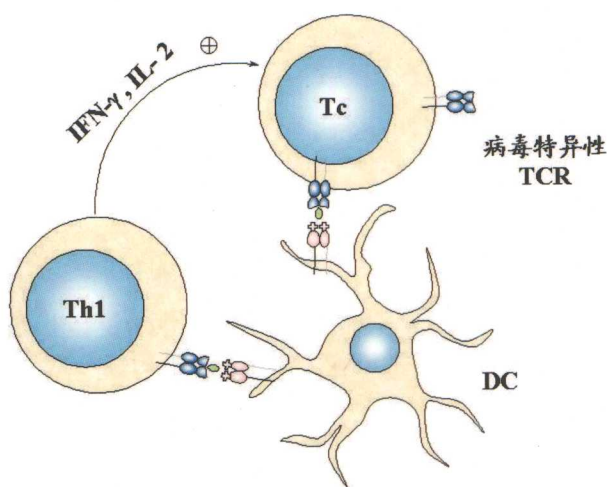


# 医学免疫学学习指导

主编 许 琰 吴虢东 宝福凯



# 医学免疫学

## 学习指导

Yixue Mianyixue Xuexi Zhidao

**主 编** 许 琰 吴虢东 宝福凯

**编 委** (排名以姓氏笔画为序)

王 玲 王 峰 石琳熙 许 琰 孙 玲 李 莉  
李 珺 李冰雪 吴丽园 吴虢东 陈 亮 庞文毅  
宝福凯 宣 群 曹 霞 戴书颖



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容简介

本教材共分 16 章, 涵盖抗原、免疫球蛋白、补体等医学免疫学基础知识, 免疫相关疾病及免疫学应用等内容。按【学习要求】、【内容摘要】、【双语词汇】、【知识拓展】、【习题与测试】、【参考答案】模块展开内容, 立足于医学免疫学基础知识, 旨在开拓学生视野, 增加学生对医学免疫学的学习兴趣, 引导学生多维思考。

主要供本科生配合学习“医学免疫学”课程使用, 也可作为备考研究生的复习参考用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

医学免疫学学习指导 / 许琰, 吴虢东, 宝福凯主编.  
-- 北京: 高等教育出版社, 2012. 2  
ISBN 978-7-04-034568-1

I. ①医… II. ①许… ②吴… ③宝… III. ①医药学:  
免疫学 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. ① R392

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 000345 号

策划编辑 孙葵葵 责任编辑 孙葵葵 封面设计 张楠 插图绘制 尹莉  
责任印制 韩刚

出版发行 高等教育出版社  
社址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100120  
印刷 三河市骏杰印刷厂  
开本 787mm × 1092mm 1/16  
印张 11  
字数 260 千字  
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
版 次 2012 年 2 月第 1 版  
印 次 2012 年 2 月第 1 次印刷  
定 价 22.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 34568 - 00

# 前 言

本教材是教师在多年讲授《医学免疫学》过程中形成的一个教学材料，源于长期医学免疫学一线教学工作经验的积累，立足于医学免疫学基础知识，旨在开拓学生的视野，增加学生对医学免疫学的学习兴趣，引导学生进行多角度的思考。可供医学生在初学“医学免疫学”课程或者复习备考研究生时参考之用。

全书主要包括 16 个章节，着眼于基本概念及基本内容，循序渐进。各章主要内容包括：

**【学习要求】**“医学免疫学”各章节中要求医学本科生掌握的基本内容，明确学习目的。

**【内容摘要】**总结出一些基本概念和基本内容，将学生从课堂上从忙于记笔记引导到理解免疫学基本内容上，提高听课效率。

**【双语词汇】**配合双语教学，给出本章主要英文词汇、解释。

**【知识拓展】**提供一些教材上没有的有关免疫学知识及趣闻，开拓学生的视野，提高学习兴趣。

**【习题与测试】**将重点内容以试题的方式给出，通过反复强化而使学生掌握。

**【参考答案】**给出各题参考答案或索引，便于学生自主学习。

恳请各位在使用过程中提出意见和建议，以便今后修订，使之日臻完善。

编 者

2011 年 10 月



## **郑重声明**

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

**反盗版举报电话** (010) 58581897 58582371 58581879

**反盗版举报传真** (010) 82086060

**反盗版举报邮箱** dd@hep.com.cn

**通信地址** 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

**邮政编码** 100120

# 目 录

第一章	免疫学概述	1
第二章	抗原	9
第三章	免疫球蛋白	18
第四章	补体系统	29
第五章	细胞因子	43
第六章	白细胞分化抗原和黏附分子	48
第七章	主要组织相容性复合体及其编码分子	55
第八章	免疫细胞	66
第九章	免疫应答	80
第十章	免疫调节和免疫耐受	105
第十一章	超敏反应	113
第十二章	自身免疫性疾病	127
第十三章	免疫缺陷病	133
第十四章	肿瘤免疫	141
第十五章	移植免疫	149
第十六章	免疫学应用	156

# 第一章 免疫学概述

## 【学习要求】

1. 掌握：免疫的概念、免疫系统的组成、基本功能及其生理和病理表现。
2. 熟悉：固有免疫与适应性免疫的概念及不同特点。
3. 了解：异常的免疫应答与疾病的关系、免疫学的应用及免疫学发展简史。

## 【内容摘要】

### 一、免疫的几个基本概念

1. 免疫 (immunity)：现代免疫的概念指免疫系统识别并排除抗原异物，以保护机体内环境稳定与平衡的一种生理反应。
2. 免疫应答 (immune response)：指免疫系统识别和清除抗原的整个过程。
3. 免疫系统 (immune system)：机体行使免疫功能的机构，由免疫器官 (组织)、免疫细胞和免疫分子组成。
4. 免疫学 (immunology)：免疫学是一门主要研究免疫系统的结构及其功能的生物学。

### 二、免疫系统的基本功能

1. 免疫防御 (immune defence)：即抗感染免疫，主要防御及清除外来异物入侵。
  - (1) 生理表现：抗感染。
  - (2) 病理表现：反应过高——超敏反应，反应过低——免疫缺陷。
2. 免疫监视 (immune surveillance)：识别与清除体内突变和畸变细胞。此功能异常时可发生肿瘤或持续的病毒感染。
3. 免疫自稳 (immune homeostasis)：免疫系统维持自身内环境平衡与稳定的功能，包括免疫耐受和免疫调节。免疫耐受使机体免疫系统对外来抗原产生免疫应答，对自身正常组织细胞不产生免疫应答，区分“自我与非我”，自身耐受被打破则可出现自身免疫病。

免疫调节网络既能调节免疫系统本身的功能，亦参与机体整体功能的调节。

### 三、免疫系统简介

免疫系统是机体执行免疫应答、发挥免疫功能的组织系统，由免疫器官和组织、免疫细胞及免疫分子组成。

#### (一) 免疫器官

免疫器官 (immune organs) 是免疫细胞发生、分化、发育、成熟或定居及介导免疫应答的场所，人的免疫器官按其发生和功能不同分为：

1. 中枢免疫器官 (central immune organs)：包括骨髓 (bone marrow) 和胸腺 (thymus)，是免疫细胞发生、分化、发育和成熟的场所。骨髓是 B 细胞分化、成熟及 B 细胞再次应答的场所，也是各类血细胞和免疫细胞发生的场所；胸腺是 T 细胞发育、分化和成熟的场所。

2. 外周免疫器官 (peripheral immune organs)：是成熟 T、B 细胞定居和启动初次免疫应答的场所，包括脾 (spleen)、淋巴结 (lymph node) 和黏膜相关淋巴组织 (mucosal-associated lymphoid tissue, MALT)。

#### (二) 免疫细胞

免疫细胞 (immunocytes) 包括淋巴细胞、抗原提呈细胞、粒细胞及其他参与免疫应答的细胞。

#### (三) 免疫分子

免疫分子 (immune molecules) 包括分泌型免疫分子 (如抗体、细胞因子等) 和膜型免疫分子 (如 TCR、BCR、主要组织相容性分子等)。

### 四、免疫的类型

#### (一) 固有免疫 (innate immunity)

1. 特征：①出生时即具有，通过遗传获得，也称天然免疫。②反应迅速，针对范围广，也称非特异性免疫。

2. 组成：①屏障结构：完整的皮肤和黏膜屏障、血脑屏障、胎盘屏障。②吞噬细胞：吞噬、分解生物大分子，杀灭病原体。③正常组织和体液中的多种抗微生物物质：如干扰素、补体、溶菌酶等。

#### (二) 适应性免疫 (adaptive immunity)

1. 特征：①个体出生后，由于接触抗原而获得，也称获得性免疫。②针对性强 (特异性强)，也称特异性免疫。③有多样性、记忆性、耐受性和自限性。

2. 组成：①体液免疫，由 B 细胞介导。②细胞免疫，由 T 细胞介导。

### 五、医学免疫学

医学免疫学主要研究人体免疫系统及其功能以及疾病发生发展过程中的免疫学机制，与免疫学技术与医学实验相结合，可应用于：①传染病预防。②疾病治疗。③免疫诊断。

医学免疫学包括：①基础免疫学：主要研究抗原物质、机体的免疫系统、免疫应答过程及免疫耐受、免疫调节、免疫效应、免疫遗传等生理现象。②临床免疫学：主要研究人

体健康和临床疾病密切相关的各种免疫现象，如超敏反应、免疫缺陷病、自身免疫病、肿瘤免疫和移植免疫等。

### 【双语词汇】

immunity	免疫
immune response	免疫应答
immunology	免疫学
immune defence	免疫防御
immune surveillance	免疫监视
immune homeostasis	免疫自稳
central immune organs	中枢免疫器官
peripheral immune organs	外周免疫器官
mucosal associated lymphoid tissue, MALT	黏膜相关淋巴组织
immunocyte	免疫细胞
innate immunity	先天免疫
nonspecific immunity	非特异性免疫
adaptive immunity	适应性免疫
specific immunity	特异性免疫
acquired immunity	获得性免疫

### 【知识拓展】

#### The Nobel Prize Winner Who Related with Immunology

Some scientists became the Nobel laureates in physiology or medicine for works in immunology and related sister fields.

1901 E. A. Von Behring (Germany) for the work on serum therapy especially its application against diphtheria.

1905 R. Koch (Germany) for the investigations concerning tuberculosis.

1908 E. Metchnikoff (Russia) and P. Ehrlich (Germany) for their work on immunity (respectively phagocytosis/cellular theory and humoral theory).

1913 C. R. Richet (France) for the work on anaphylaxis.

1919 J. Bordet (Belgium) for the discoveries relating to immunity complement.

1930 K. Landsteiner (Austria/USA) for the discovery of human blood groups.

1951 M. Theiler (South Africa) for the discoveries and developments concerning yellow fever.

1957 D. Bovet (Italy/Switzerland) for the discoveries related to histamine and compounds, which inhibit action of histamine and other substances on the vascular system and the skeleton muscles.

1960 Sir F. McFarlane Burnet (Australia) and Sir P. B. Medawar (UK) for the discovery of acquired immunological tolerance.

1972 G. M. Edelman (USA) and R. R. Porter (UK) for their discovery concerning the chemical structure of antibodies.

1977 R. Yalow (USA) for the development of radioimmunoassays of peptide hormones.

1980 B. Benacerraf (USA), J. Dausset (France) and G. D. Snell (USA) for their discoveries concerning genetically determined structures on the cell surface (major histocompatibility complex) that regulate immunological reactions.

1984 N. K. Jerne (Denmark/Switzerland) for theories concerning the specificity in development (lymphocyte clonality) and control of the immune system.

1984 G. J. F. Köhler (Germany/Switzerland) and C. Milstein (Argentina/UK) for the discovery of the principle for production of monoclonal antibodies.

1987 S. Tonegawa (Japan/USA) for the discovery of the genetic principle for generation of antibody diversity.

1990 J. E. Murray and E. D. Thomas (USA) for their discovery concerning organ and cell transplantation in the treatment of human diseases.

1996 P. C. Doherty (Australia/USA) and R. M. Zinkernagel (Switzerland) for their discoveries concerning the specificity of the cell mediated immune defense (“dual recognition”).

1997 S. B. Prusiner (USA) for the discovery of prion as a new biological principle of infection.

1999 G. Blobel (USA) for discoveries concerning signal transduction.

2011 Bruce A. Beutler (USA), Jules A. Hoffman (French) and Ralph M. Steinman (Canada) for their work increasing understanding of the immune system, which could lead to curing cancer and other diseases.

## 【习题与测试】

### 一、填空题

1. 免疫功能主要包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
2. 免疫系统由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_组成。
3. 免疫器官包括\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_，其中\_\_\_\_\_是免疫细胞发生、分化和成熟的场所，包括\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_，而\_\_\_\_\_是免疫细胞定居及免疫应答发生的场所，包括\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
4. 免疫的类型包括与生俱来的\_\_\_\_\_和须诱导后才能发挥作用的\_\_\_\_\_。
5. 固有免疫主要由\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_等组成，适应性免疫包括\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

### 二、单项选择题

1. 免疫的现代概念是
  - A. 机体抗感染的防御功能
  - B. 机体清除自身损伤、衰老细胞的一种功能

- C. 机体排除抗原性异物的功能, 对机体都是有利的  
 D. 机体消除和杀灭自身突变的细胞  
 E. 机体识别和排除抗原性物质的功能
2. 免疫监视功能低下的后果是  
 A. 易发生肿瘤                      B. 易发生超敏反应                      C. 易发生感染  
 D. 易发生自身免疫病              E. 易发生免疫耐受
3. 用接种牛痘疫苗来预防天花的第一个医师是  
 A. Koch      B. Jenner      C. Pasteur      D. VonBehring      E. Bordet
4. 机体免疫系统识别和清除突变的细胞的功能称为  
 A. 免疫监视   B. 免疫自稳   C. 免疫耐受   D. 免疫防御      E. 免疫识别
5. 机体抵抗病原微生物感染的功能称为  
 A. 免疫监视   B. 免疫自稳   C. 免疫耐受   D. 免疫防御      E. 免疫识别
6. 既参与固有性免疫应答又参与适应性免疫应答的成分有  
 A. 巨噬细胞   B. B 细胞      C. T 细胞      D. 中性粒细胞      E. 浆细胞
7. 免疫防御功能低下的机体易发生  
 A. 肿瘤                                  B. 超敏反应                                  C. 移植排斥反应  
 D. 反复感染                              E. 免疫增生病
8. 最早用人痘接种预防天花的国家是  
 A. 中国      B. 美国      C. 日本      D. 俄罗斯      E. 英国
9. 中枢免疫器官与外周免疫器官的区别是  
 A. 中枢免疫器官是 T 细胞分化成熟的部位  
 B. 外周免疫器官是 B 细胞分化成熟的场所  
 C. 中枢免疫器官是免疫细胞分化、成熟的部位, 而外周免疫器官是免疫细胞分布、定居及发生免疫应答的场所  
 D. 外周免疫器官是 T 细胞分化成熟的场所  
 E. 中枢免疫器官是 B 细胞分化成熟的场所
10. 人类的中枢免疫器官是  
 A. 淋巴结和脾                                  B. 胸腺和骨髓                                  C. 淋巴结和胸腺  
 D. 骨髓和黏膜相关淋巴组织              E. 淋巴结和骨髓
11. T 淋巴细胞分化成熟的场所是  
 A. 骨髓              B. 法氏囊              C. 脾              D. 胸腺              E. 淋巴结
12. 人类 B 淋巴细胞分化成熟的场所是  
 A. 骨髓              B. 腔上囊              C. 脾              D. 胸腺              E. 淋巴结
13. 人类最大的免疫器官是  
 A. 骨髓              B. 胰腺              C. 脾              D. 胸腺              E. 淋巴结
14. 实验动物新生期切除胸腺后  
 A. 细胞免疫功能正常, 体液免疫功能受损  
 B. 细胞免疫功能受损, 体液免疫功能正常  
 C. 细胞免疫功能受损, 体液免疫功能缺乏



- D. 细胞免疫功能正常，体液免疫功能正常
- E. 细胞免疫功能缺乏，体液免疫功能受损
- 15. 免疫系统的组成是
  - A. 中枢免疫器官和外周免疫器官
  - B. 中枢免疫器官、免疫细胞和黏膜免疫系统
  - C. T 淋巴细胞和 B 淋巴细胞
  - D. 免疫器官、免疫细胞和免疫分子
  - E. 胸腺和骨髓
- 16. 淋巴结的功能不包括
  - A. T 细胞进行阴性选择的场所
  - B. 免疫细胞定居的场所
  - C. 产生初次免疫应答的场所
  - D. 清除异物
  - E. 参与淋巴细胞的再循环

### 三、多项选择题

1. 特异性免疫的特点是
  - A. 多为生后获得的功能表现
  - B. 有特异性
  - C. 可因抗原多次刺激而加强
  - D. 出生时就具有
  - E. 在长期进化过程中逐渐建立起来
2. 属于固有性免疫应答的有
  - A. 皮肤黏膜的屏障作用
  - B. 吞噬细胞的吞噬病原体作用
  - C. 自然杀伤细胞对病毒感染细胞的杀伤作用
  - D. 血液和体液中存在的补体成分
  - E. 组织损伤局部分泌的抑菌、杀菌物质
3. 下列哪些细胞属于固有免疫应答细胞
  - A. 单核 - 巨噬细胞
  - B. NK 细胞
  - C. B 细胞
  - D. T 细胞
  - E. 中性粒细胞
4. 执行适应性免疫应答的细胞是
  - A. T 细胞
  - B. B 细胞
  - C. NK 细胞
  - D. 单核 - 巨噬细胞
  - E. 肥大细胞
5. 免疫防御功能是指
  - A. 阻止病原微生物侵入机体
  - B. 抑制病原微生物在体内繁殖、扩散
  - C. 清除体内变性、损伤及衰老的细胞
  - D. 从体内清除病原微生物及其产物
  - E. 识别、杀伤与清除体内突变细胞，防止肿瘤的发生
6. 免疫防御功能异常可发生
  - A. 自身免疫病
  - B. 超敏反应
  - C. 肿瘤
  - D. 免疫缺陷
  - E. 严重感染

7. 免疫监视功能是指
- 识别、杀伤与清除体内突变细胞, 防止肿瘤的发生
  - 在清除病毒感染细胞中发挥重要作用
  - 清除体内变性、损伤及衰老的细胞, 防止自身免疫病的发生
  - 从体内清除病原微生物及其产物
  - 阻止病原微生物侵入机体
8. 免疫系统的三大功能是指
- 免疫监视
  - 免疫稳定
  - 免疫防御
  - 免疫清除
  - 超敏反应
9. 人类的外周免疫器官有
- 脾
  - 胸腺
  - 骨髓
  - 淋巴结
  - 黏膜相关淋巴组织
10. 免疫细胞包括
- T 细胞
  - 巨噬细胞
  - 红细胞
  - 抗原提呈细胞
  - B 细胞

#### 四、名词解释

- immunity
- immune defence
- immune homeostasis
- immune surveillance
- immunocytes
- lymphocyte recirculation

#### 五、问答题

- 免疫系统的主要功能是什么?
- 免疫主要包括哪两种类型?
- 简述免疫系统的组成。

### 【参考答案】

#### 一、填空题

- 免疫防御、免疫监视、免疫自稳
- 免疫器官、免疫细胞、免疫分子
- 中枢免疫器官、外周免疫器官、中枢免疫器官、骨髓、胸腺、外周免疫器官、脾、淋巴结、黏膜相关淋巴组织
- 固有免疫(天然免疫或非特异性免疫)、适应性免疫(获得性免疫或特异性免疫)
- 屏障结构、吞噬细胞、正常组织和体液中的多类杀菌物质、体液免疫、细胞免疫

#### 二、单项选择题

- E
- A
- B
- A
- D
- A
- D
- A
- C
- B
- D
- A
- C
- E
- D
- A

### 三、多项选择题

1. ABC
2. ABCDE
3. ABE
4. ABD
5. ABD
6. ABDE
7. ABC
8. ABC
9. ADE
10. ABCDE

### 四、名词解释

1. immunity: 即免疫, 是机体识别并排除“非己”物质, 以保持体内环境平衡与稳定的一种生理反应。

2. immune defence: 即免疫防御, 指机体防御外来病原生物的抗感染免疫, 但异常情况下可引起超敏反应, 或免疫功能过低则表现为易受感染或免疫缺陷病。

3. immune homeostasis: 即免疫稳定, 或称免疫自身稳定, 指正常情况下机体对自身组织成分不发生免疫反应, 处于自身耐受状态。

4. immune surveillance: 即免疫监视, 指机体的免疫系统识别并清除突变或异常的细胞的功能。

5. immunocytes: 即免疫细胞, 凡参与免疫应答或与免疫应答有关的细胞, 均可称为免疫细胞。

6. lymphocyte recirculation: 即淋巴细胞再循环, 指淋巴细胞在血液、淋巴液和淋巴器官之间反复循环的过程。淋巴细胞在机体内的迁移和流动是发挥免疫功能的重要条件。

### 五、问答题

1. 参见【内容摘要】二。
2. 参见【内容摘要】四。
3. 参见【内容摘要】三。

(许 琰)

## 第二章 抗原

### 【学习要求】

1. 掌握：抗原、抗原决定簇（抗原表位）、胸腺依赖抗原、非胸腺依赖抗原、完全抗原、半抗原和超抗原的基本概念。
2. 熟悉：决定抗原免疫应答的因素、抗原的种类、免疫佐剂。
3. 了解：超抗原的种类及生物学意义、佐剂的种类、丝裂原的种类。

### 【内容摘要】

#### 一、抗原的概念和特性

##### （一）概念

抗原 (antigen, Ag) 是指凡能诱导机体的免疫系统发生免疫应答, 并能与其产生的抗体或效应细胞在体内或体外发生特异性结合反应的物质。

##### （二）抗原的两种特性

1. 免疫原性 (immunogenicity): 指抗原分子能刺激机体免疫系统的免疫细胞, 使之产生特异性免疫应答的特性。

2. 反应原性 (reactogenicity) 或称免疫反应性 (immunoreactivity)、抗原性 (antigenicity): 指抗原分子能与相应免疫应答产物, 即抗体或效应 T 细胞 (在体内或体外) 发生特异性结合反应的特性。

同时具备免疫原性和反应原性两种能力的物质称为完全抗原, 只具有反应原性而没有免疫原性的小分子物质称为半抗原 (hapten)。半抗原和大分子载体结合后, 就获得了免疫原性而变成完全抗原。

#### 二、抗原的免疫原性与特异性

##### （一）抗原决定簇 (antigenic determinant, AD) 概念

抗原决定簇亦称为抗原表位 (epitope), 指存在于抗原分子中决定抗原特异性的特殊

化学基团。其性质、数量和空间构象决定了抗原的特异性。

### (二) 抗原表位的类型

1. 构象表位与顺序表位：前者指短肽或多糖残基在空间上形成的特定的构象，也称非线性表位；后者又称线性表位，由连续性线性排列的短肽构成。

2. B 细胞表位与 T 细胞表位：B 细胞受体识别的抗原表位可为构象性或线性表位；T 细胞识别的抗原表位为线性表位。

### (三) 共同抗原和交叉反应

1. 共同抗原 (common antigen)：指两种不同的物质间有相同或相似的表位。

2. 交叉反应 (cross-reaction)：抗体与具有相同或相似表位的其他抗原之间的反应。

3. 异嗜性抗原 (heterophilic antigen)：一类与种属无关，存在于人、动物、微生物间的共同抗原，又称 Forssman 抗原。

## 三、影响抗原免疫原性的因素

### (一) 异物性

异物性是指与自身正常组织成分的差异或免疫系统在其发育过程中未接触过的物质。包括异种物质、同种异体物质和某些自身成分。通常抗原来源与机体亲缘 (种属) 关系越远，免疫原性越强；反之，亲缘 (种属) 关系越近免疫原性越弱。

### (二) 抗原分子的理化性质

1. 化学性质：蛋白质 (包括糖蛋白、脂蛋白)、复杂多糖、脂多糖都具有免疫原性，脂类和细胞核成分如 DNA、组蛋白等免疫原性微弱，绝大多数蛋白质都是很好的抗原。

2. 相对分子质量大小：一般大于  $10 \times 10^3$ ，通常天然分子的相对分子质量越大，免疫原性越强。

3. 结构的复杂性：通常结构越复杂，免疫原性越强。

4. 分子构象：此因素主要影响 B 细胞免疫。

5. 易接近性：易接近性是指抗原表位可以被淋巴细胞抗原受体接近的程度。

6. 物理状态：颗粒抗原的免疫原性强于可溶性抗原，多聚体的免疫原性强于单体。

### (三) 宿主方面的因素

遗传、年龄、性别、生理状态、健康状况等因素也对机体的免疫应答强弱起重要作用。

### (四) 抗原进入机体的方式

通常，免疫原性由强到弱的途径是：皮内 > 皮下 > 肌内 > 腹腔 (仅限于动物) > 静脉 > 口服。

## 四、抗原的种类

### (一) 根据诱生抗体是否需要 Th 细胞的辅助分

1. 胸腺依赖性抗原 (thymus dependent antigen, TD-Ag)：刺激 B 细胞产生抗体时依赖于 T 细胞的辅助；绝大多数蛋白质抗原属于此类；能诱导产生多种类型抗体；可诱导产生体液和细胞免疫应答，可形成免疫记忆。

2. 胸腺非依赖性抗原 (thymus independent antigen, TI-Ag)：刺激 B 细胞产生抗体时

无需 T 细胞的辅助；此类抗原只有 B 细胞抗原决定基，仅诱导产生 IgM 类抗体；只引起体液免疫应答，不引起细胞免疫应答和记忆细胞形成。

### (二) 根据抗原与机体的亲缘关系分类

1. 异嗜性抗原 (heterophilic antigen)：是一类存在于不同种属间的共同抗原，又称 Forssman 抗原。

2. 异种抗原 (xenogenic antigen)：来自另一物种的抗原性物质。如微生物抗原、动物抗血清 (对于人) 以及异种器官移植物等。

3. 同种异型抗原 (allogeneic antigen)：同一物种不同个体间存在的不同抗原。如不同人体的红细胞 ABO 抗原、MHC 抗原等。

4. 自身抗原 (autoantigen)：可诱导特异性免疫应答的自身成分。常见有：①隐蔽或隔离的自身抗原。②改变或修饰的自身抗原。

5. 独特型抗原 (idiotype antigen)：TCR、BCR 或抗体的 V 区所具有的独特氨基酸顺序和空间构型。可诱导自体产生相应的特异性抗体。独特型抗原和抗独特型抗体构成网络，可调节免疫应答。

### (三) 根据抗原是否在抗原提呈细胞内合成分类

1. 内源性抗原 (endogenous antigen)：在抗原提呈细胞 (APC) 内合成的抗原。如被病毒感染细胞合成的病毒蛋白和肿瘤细胞内合成的新蛋白等，经加工成为抗原肽，并与 MHC I 类分子形成复合物，由 CD8<sup>+</sup>T 细胞的 TCR 识别。

2. 外源性抗原 (exogenous antigen)：来源于 APC 外的抗原，如被吞噬的细胞或细菌等，经加工成为抗原肽，与 MHC II 类分子形成复合物，由 CD4<sup>+</sup>T 细胞的 TCR 识别。

### (四) 医学上重要的抗原

1. 病原微生物及其代谢产物。
2. 动物免疫血清。
3. 异嗜性抗原。
4. 同种异型抗原。
5. 自身抗原。
6. 肿瘤抗原。

## 五、非特异性免疫刺激剂

### (一) 超抗原

1. 概念：超抗原 (superantigen, SAg) 是一类只需极低浓度 (1 ~ 10ng/mL) 即可激活 2% ~ 20% T 细胞或 B 细胞克隆，并诱导强烈免疫应答的物质。

2. 超抗原与 T 细胞结合的特征：①无需抗原加工与提呈，可直接与 MHC 类分子结合。②形成 TCRV $\beta$  - 超抗原 - MHC 类分子复合物。③无 MHC 限制性。④多克隆、非特异性激活具有特定 TCR V $\beta$  的 CD4<sup>+</sup>T 细胞，诱导的 T 细胞应答是通过分泌大量细胞因子而参与某些病理生理过程的发生与发展。

3. 超抗原的生物学意义：①毒性作用与诱导炎症反应。②自身免疫病。③免疫抑制。如与某些中毒性休克、艾滋病 (AIDS) 等疾病状态有关。