



“十二五”职业教育国家规划教材  
经全国职业教育教材审定委员会审定

“互联网+教育”新形态一体化教材

病原生物与免疫  
(第二版)

主  
编  
杜  
波

北京出版集团  
北京出版社

# 病原生物与免疫

(第二版)

BINGYUAN SHENGWU YU MIANYI

主 编 杜 波



扫描二维码  
共享立体资源

北京出版集团  
北京出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

病原生物与免疫 / 杜波主编. — 2 版. — 北京:  
北京出版社, 2020.11 (2024 重印)

ISBN 978-7-200-16006-2

I. ①病… II. ①杜… III. ①病原微生物—高等职业  
教育—教材②医学—免疫学—高等职业教育—教材 IV.

① R37 ② R392

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2020) 第 207474 号

病原生物与免疫 (第二版)

BINGYUAN SHENGWU YU MIANYI (DI-ER BAN)

主 编: 杜 波

出 版: 北京出版集团

北京出版社

地 址: 北京北三环中路 6 号

邮 编: 100120

网 址: www.bph.com.cn

总 发 行: 北京出版集团

经 销: 新华书店

印 刷: 定州启航印刷有限公司

版 印 次: 2020 年 11 月第 2 版 2023 年 6 月修订 2024 年 1 月第 3 次印刷

成品尺寸: 185 毫米 × 260 毫米

印 张: 19.5

字 数: 439 千字

书 号: ISBN 978-7-200-16006-2

定 价: 59.00 元

教材意见建议接收方式: 010-58572341 邮箱: jiaocai@bphg.com.cn

如有印装质量问题, 由本社负责调换

质量监督电话: 010-82685218 010-58572341 010-58572393

# 目 录

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| <b>单元一 免疫学概述</b>         | <b>1</b>  |
| 任务一 免疫的概念及功能             | 2         |
| 任务二 免疫学的发展               | 3         |
| <b>单元二 抗原</b>            | <b>5</b>  |
| 任务一 抗原的概念和分类             | 6         |
| 任务二 决定抗原免疫原性的条件          | 7         |
| 任务三 抗原的特异性与交叉反应          | 8         |
| 任务四 医学上重要的抗原物质           | 9         |
| <b>单元三 免疫球蛋白</b>         | <b>13</b> |
| 任务一 免疫球蛋白分子结构            | 14        |
| 任务二 免疫球蛋白的功能             | 16        |
| <b>单元四 补体系统</b>          | <b>20</b> |
| 任务一 补体系统的组成与性质           | 21        |
| 任务二 补体系统的激活与调节           | 22        |
| 任务三 补体系统的生物学作用与补体的异常     | 26        |
| <b>单元五 主要组织相容性复合体及产物</b> | <b>29</b> |
| 任务一 MHC 与 HLA 复合体及产物     | 30        |
| 任务二 HLA 分子               | 31        |
| <b>单元六 免疫系统</b>          | <b>36</b> |
| 任务一 免疫器官                 | 37        |
| 任务二 免疫细胞                 | 38        |
| 任务三 细胞因子                 | 41        |
| <b>单元七 免疫应答</b>          | <b>45</b> |
| 任务一 免疫应答的基本过程            | 46        |

|             |                 |            |
|-------------|-----------------|------------|
| 任务二         | B 细胞介导的体液免疫应答   | 47         |
| 任务三         | T 细胞介导的细胞免疫应答   | 50         |
| <b>单元八</b>  | <b>超敏反应</b>     | <b>54</b>  |
| 任务一         | I 型超敏反应         | 55         |
| 任务二         | II 型超敏反应        | 58         |
| 任务三         | III 型超敏反应       | 60         |
| 任务四         | IV 型超敏反应        | 63         |
| <b>单元九</b>  | <b>免疫学应用</b>    | <b>68</b>  |
| 任务一         | 免疫学防治           | 69         |
| 任务二         | 免疫学诊断           | 71         |
| <b>单元十</b>  | <b>微生物概述</b>    | <b>76</b>  |
| 任务一         | 微生物             | 77         |
| 任务二         | 医学微生物学          | 78         |
| <b>单元十一</b> | <b>细菌的形态与结构</b> | <b>80</b>  |
| 任务一         | 细菌的大小和形态        | 81         |
| 任务二         | 细菌的结构           | 82         |
| 任务三         | 细菌的形态检查法        | 88         |
| <b>单元十二</b> | <b>细菌的生理</b>    | <b>91</b>  |
| 任务一         | 细菌的生长繁殖         | 92         |
| 任务二         | 细菌的人工培养         | 94         |
| 任务三         | 细菌的代谢产物及意义      | 97         |
| <b>单元十三</b> | <b>细菌的遗传与变异</b> | <b>101</b> |
| 任务一         | 细菌的变异现象         | 102        |
| 任务二         | 细菌遗传变异的物质基础     | 103        |
| 任务三         | 细菌变异的机制         | 105        |
| <b>单元十四</b> | <b>细菌的感染和免疫</b> | <b>108</b> |
| 任务一         | 细菌的致病性          | 109        |
| 任务二         | 机体的抗菌免疫         | 112        |
| 任务三         | 感染的来源与类型        | 113        |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>单元十五 细菌的分布与消毒灭菌</b>  | <b>117</b> |
| 任务一 细菌的分布               | 118        |
| 任务二 消毒与灭菌               | 120        |
| <b>单元十六 球菌</b>          | <b>126</b> |
| 任务一 葡萄球菌属               | 127        |
| 任务二 链球菌属                | 130        |
| 任务三 肺炎链球菌               | 133        |
| 任务四 奈瑟菌属                | 135        |
| <b>单元十七 肠道杆菌</b>        | <b>139</b> |
| 任务一 埃希菌属                | 140        |
| 任务二 志贺菌属                | 142        |
| 任务三 沙门菌属                | 144        |
| 任务四 变形杆菌属和克雷伯菌属         | 148        |
| <b>单元十八 厌氧性细菌</b>       | <b>150</b> |
| 任务一 厌氧芽胞梭菌              | 151        |
| 任务二 无芽胞厌氧菌              | 155        |
| <b>单元十九 分枝杆菌属</b>       | <b>157</b> |
| 任务一 结核分枝杆菌              | 158        |
| 任务二 麻风分枝杆菌              | 161        |
| <b>单元二十 其他病原性细菌</b>     | <b>163</b> |
| 任务一 革兰阳性杆菌              | 164        |
| 任务二 革兰阴性杆菌              | 166        |
| 任务三 弧菌和弯曲菌              | 169        |
| <b>单元二十一 其他原核细胞型微生物</b> | <b>172</b> |
| 任务一 支原体                 | 173        |
| 任务二 立克次体                | 174        |
| 任务三 衣原体                 | 175        |
| 任务四 螺旋体                 | 177        |
| 任务五 放线菌                 | 180        |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| <b>单元二十二 真菌</b>         | <b>182</b> |
| 任务一 概述                  | 183        |
| 任务二 常见病原性真菌             | 188        |
| <b>单元二十三 病毒的基本性状</b>    | <b>191</b> |
| 任务一 病毒的形态与结构            | 192        |
| 任务二 病毒的增殖               | 193        |
| 任务三 外界环境对病毒的影响          | 196        |
| <b>单元二十四 病毒的感染与检查方法</b> | <b>198</b> |
| 任务一 病毒的感染               | 199        |
| 任务二 病毒感染的检查方法           | 201        |
| <b>单元二十五 呼吸道病毒</b>      | <b>206</b> |
| 任务一 流行性感冒病毒             | 207        |
| 任务二 麻疹病毒                | 209        |
| 任务三 冠状病毒                | 210        |
| 任务四 风疹病毒                | 211        |
| <b>单元二十六 肠道病毒</b>       | <b>214</b> |
| 任务一 脊髓灰质炎病毒             | 215        |
| 任务二 柯萨奇病毒与埃可病毒          | 217        |
| 任务三 轮状病毒                | 217        |
| <b>单元二十七 肝炎病毒</b>       | <b>219</b> |
| 任务一 甲型肝炎病毒              | 220        |
| 任务二 乙型肝炎病毒              | 221        |
| 任务三 丙型肝炎病毒              | 227        |
| 任务四 其他肝炎病毒              | 227        |
| <b>单元二十八 其他病毒</b>       | <b>230</b> |
| 任务一 人类免疫缺陷病毒            | 231        |
| 任务二 乙型脑炎病毒              | 234        |
| 任务三 出血热病毒               | 235        |
| 任务四 疱疹病毒                | 236        |
| 任务五 狂犬病病毒               | 237        |

|                |     |
|----------------|-----|
| 单元二十九 人体寄生虫学概述 | 240 |
| 单元三十 医学蠕虫      | 244 |
| 任务一 线虫         | 245 |
| 任务二 吸虫         | 255 |
| 任务三 绦虫         | 262 |
| 单元三十一 医学原虫     | 270 |
| 任务一 根足虫        | 271 |
| 任务二 鞭毛虫        | 273 |
| 任务三 孢子虫        | 277 |
| 单元三十二 医学节肢动物   | 285 |
| 任务一 概述         | 286 |
| 任务二 常见医学节肢动物   | 286 |
| 附录 典型病例解析      | 296 |
| 参考文献           | 300 |

## ■ 单元一 免疫学概述

### 学习目标

#### » 知识目标

1. 掌握免疫的概念。
2. 熟悉免疫的功能。

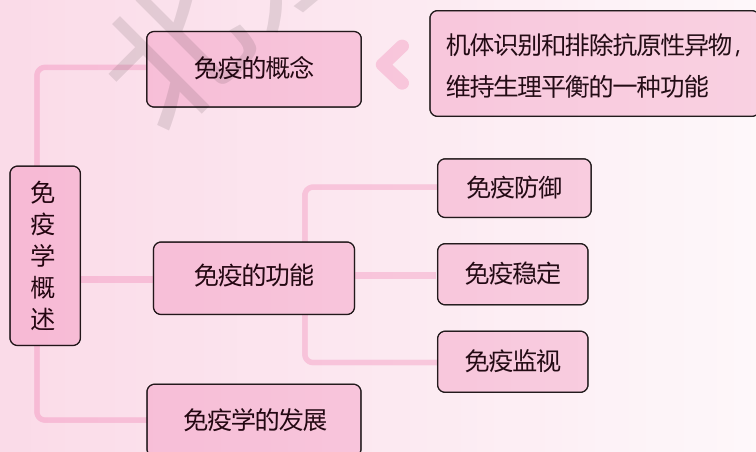
#### » 能力目标

1. 能归纳总结免疫功能。
2. 能解释免疫的功能与临床疾病的相关性。

#### » 素质目标

1. 认识免疫学对人类健康的重要性。
2. 培养学生学习免疫学的兴趣和积极性。

### 知识导图



人生活在大千世界中，经常受到来自外界不良异物的刺激和干扰，自身也在不断产生大量的“垃圾”，生活在这样“险象环生”的内外环境中，机体免疫系统的存在、免疫功能的发挥，保证了机体在复杂多变的内外环境中保持生理平衡状态，维持身体健康。如果免疫系统出现问题，免疫功能发挥异常，可能会导致机体的损伤。



预习案例

## 任务一 免疫的概念及功能

### 一、免疫的概念

免疫（immunity）是机体识别和排除抗原性异物，维持机体生理平衡的一种功能。正常情况下它是对机体有利的、必需的、保护性的，但在一定条件下也可导致病理反应给机体带来不利的后果。



免疫的功能

### 二、免疫的功能

根据识别、排除抗原性异物的种类不同，免疫主要有以下三种功能（表 1-1）。

#### （一）免疫防御

免疫防御指机体识别和清除病原生物和其他外来异物的功能。若该功能正常，机体能够抗感染；免疫防御功能过低时就不能及时清除入侵体内的病原微生物，这样就会反复发生感染，这就是免疫缺陷病，如获得性免疫缺陷综合征（艾滋病）；防御反应过高时，则发生超敏反应，可导致组织损伤和生理功能紊乱，如青霉素过敏性休克。

#### （二）免疫稳定

免疫稳定指机体识别和清除体内衰老、损伤及死亡细胞的功能。该功能正常时，有自身调节，维持体内生理平衡和稳定的功能；若该功能紊乱，可引起自身免疫病，如类风湿关节炎。

#### （三）免疫监视

免疫监视即识别和清除机体内出现突变细胞的功能。该功能正常，能有效地预防肿瘤的发生；若该功能失调，可使突变细胞逃避机体的免疫监视而过度增殖生长，从而形成肿瘤。

表 1-1 免疫功能及其表现

| 免疫功能 | 清除对象         | 功能正常 | 功能异常          |
|------|--------------|------|---------------|
| 免疫防御 | 病原微生物和其他外来异物 | 抗感染  | 超敏反应<br>免疫缺陷病 |
| 免疫稳定 | 体内衰老、损伤、死亡细胞 | 自身稳定 | 自身免疫病         |
| 免疫监视 | 体内突变细胞       | 预防肿瘤 | 肿瘤            |

## 任务二 免疫学的发展

免疫学的建立和发展历经千年，大致可分为开创、兴起和飞跃三个发展阶段。

### 一、免疫学的开创阶段（11 世纪至 19 世纪末）

免疫学起源于中国，早在明代，我国史书就有通过接种“人痘”预防天花的正式记载。在发现天花病毒之前应用人痘苗预防天花，可视为人类认识机体免疫力的开端，也是祖国医学对人类的伟大贡献。随后，我国应用痘苗预防天花的方法传到国外，并为以后牛痘苗和减毒疫苗的发明提供了宝贵经验。

18 世纪末，英国乡村医生 Jenner 发明了牛痘苗，人类得以安全有效地预防天花。Jenner 从一名患牛痘的挤奶女工身上的脓疱中，取少许脓液注射至一个男孩的臂内以预防天花，又经过进一步的实验，他创造了用种牛痘的方法预防天花。免疫学开创是从抗感染免疫起始的。如果说作为免疫学开端的人痘法预防天花是经验性质的，那么接种牛痘苗预防天花，则显示了免疫学的发展已由经验过渡为实验，其结果带来了免疫学的兴起、兴盛。

### 二、免疫学的兴起阶段（19 世纪末至 20 世纪中叶）

#### （一）人工免疫的研究

从 19 世纪末开始，由于微生物学的发展而明确了传染病的病原是微生物，而且已经能分离培养某些微生物。在此基础上，法国科学家巴斯德（Pasteur）用高温培养、动物传代等不同方法使微生物减毒，并且制备了炭疽杆菌的减毒疫苗和狂犬病毒的减毒疫苗，用以预防感染，兴起了人工主动免疫。在发现白喉杆菌能够产生毒素之后，德国学者贝林（Behring）和日本学者北里用白喉杆菌毒素免疫马，再采用这种含有抗毒素的马的免疫血清治疗白喉，并且在人体上获得成功，由此又兴起了人工被动免疫。

#### （二）免疫机制的研究

从 20 世纪初开始，科学家们通过实验又观察到免疫的另一种作用，当用异种动物血清重复给人注射时，发现有的机体并未因免疫得到保护，而是变得更加敏感，这种状况被称为过敏反应，即现时所称的超敏反应。保护作用和超敏反应是同一事物，是免疫应答的两种不同表现形式，这是对免疫病理的最初认识和研究。

另外，在这一阶段人们发现了补体，建立了一些经典的血清学方法，开始了免疫化学的研究并提出了一些抗体生成的理论。

### 三、免疫学的飞跃阶段（20 世纪中叶到现在）

20 世纪 60 年代，Burnet 提出克隆选择学说，对现代免疫学的发展起了非常大的推动作用。除了上述克隆选择学说之外，免疫学在近 40 年中的飞跃发展，还表现在免疫系统、分子免疫学、免疫遗传学、单克隆抗体等几个方面。

免疫学经过上述多年的发展，到现在已经形成了很多分支学科，如基础免疫学、免

疫遗传学、免疫药理学、免疫病理学、移植免疫学、生殖免疫学、肿瘤免疫学和临床免疫学等，这些分支的总和即为医学免疫学。至今，免疫学已发展成为覆盖面广泛的前沿学科，并成为现代生物医学的支柱学科之一。



## 直击护考



### 一、选择题

1. 免疫的概念认为：免疫是机体（      ）。  
A. 抵抗并清除病原微生物的能力      B. 发现并清除恶变细胞的能力  
C. 识别和清除抗原性异物的能力      D. 清除和消灭恶变细胞，防止细胞癌变  
E. 识别和清除衰老、死亡细胞的能力
2. 免疫监视功能低下时机体易发生（      ）。  
A. 自身免疫病      B. 肿瘤      C. 超敏反应      D. 免疫缺陷病
3. 免疫监视功能是指机体（      ）。  
A. 抵抗病原微生物感染的功能      B. 防止寄生虫感染的过程  
C. 杀伤、清除自身突变细胞的功能      D. 清除自身衰老、死亡细胞的功能  
E. 识别和排除异物的功能
4. 免疫防御功能有缺陷可表现为（      ）。  
A. 免疫缺陷病      B. 免疫耐受性      C. 超敏反应  
D. 恶性肿瘤      E. 自身免疫病

### 二、简答题

分析免疫给机体带来的利与弊。

## ■ 单元二 抗原

### 学习目标

#### » 知识目标

1. 掌握抗原、抗原决定簇、异嗜性抗原的概念，医学上重要的抗原物质。
2. 熟悉抗原的特性。
3. 了解佐剂的生物学作用。

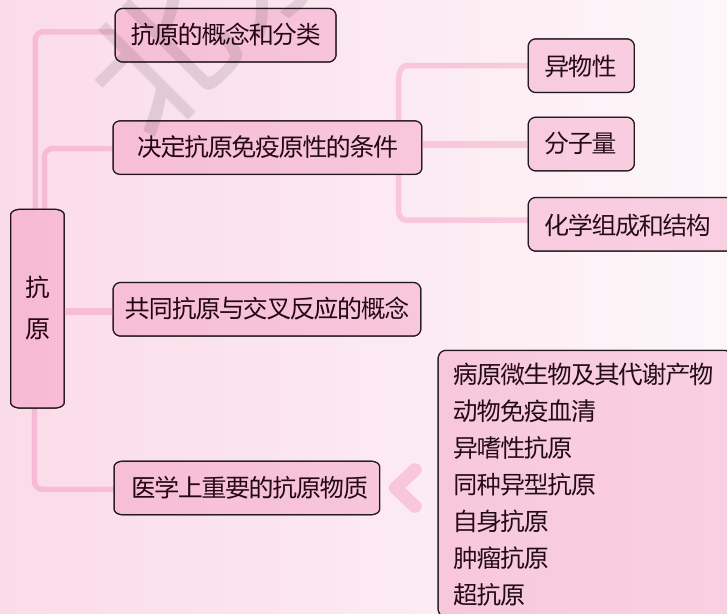
#### » 能力目标

1. 能分析决定抗原免疫原性的条件，并判断抗原的种类。
2. 能将医学上重要抗原物质结合应用于临床护理中。
3. 能正确判断肿瘤相关抗原的检测意义。

#### » 素质目标

使学生牢固树立专业思想，培养学生认真严谨的学习态度和强烈的求知欲。

### 知识导图



抗原可以刺激机体发生免疫反应，是免疫应答的始动因素。在自然界当中存在着各种各样的抗原物质，如细菌、病毒、真菌、动物免疫血清等，既可在感染时引起机体免疫应答清除病原微生物，也可利用这些抗原制备疫苗、类毒素、抗毒素用于人工免疫预防和治疗或体外进行抗原抗体检测进行疾病的诊断。还有许多同种异型抗原，如血型抗原和组织相容性抗原，输血和器官移植前应进行血型鉴定或组织配型以避免发生输血反应和移植排斥反应。



预习案例

## 任务一 抗原的概念和分类

### 一、抗原的概念

抗原（antigen, Ag）是指能刺激机体产生特异性免疫应答，并能与相应免疫应答产物（抗体和致敏淋巴细胞）特异性结合，发生免疫效应的物质。



抗原的概念和分类

抗原一般具有两种性质：一是免疫原性（immunogenicity），即能与 B 细胞和 T 细胞抗原受体结合，刺激细胞活化、增殖和分化，最终产生免疫效应物质（抗体或致敏淋巴细胞）的性能；二是抗原性（antigenicity），即能与相应免疫应答产物抗体和致敏淋巴细胞发生特异性结合的性能。凡同时具有免疫原性和抗原性的物质称为完全抗原，又叫免疫原。完全抗原多为分子量较大的蛋白质，如细菌、病毒及动物血清等。只具有抗原性而无免疫原性的物质称为半抗原，又称不完全抗原，半抗原多为小分子化合物，如大多数多糖、类脂和某些药物等。小分子化合物一旦与大分子耦联，即成为完全抗原，被耦联的大分子物质称为载体。



#### 考点提示

完全抗原和不完全抗原具有的性质。

### 二、抗原的分类

抗原的种类繁多、来源广泛、化学组成不一、物理性状不同，诱导免疫应答所需的细胞也不同。不同的标准，分类原则不同，目前常见的有以下几种分类法。

#### （一）根据抗原与机体的亲缘关系分类

1. **异种抗原** 来自另一物种的抗原物质为异种抗原，如病原微生物及代谢产物对人而言就是异种抗原，人血对马而言也是异种抗原。

2. **同种异型抗原** 来自同种不同个体的抗原性物质为同种异型抗原，如人类不同个体之间的血型抗原（ABO 血型抗原、Rh 血型抗原）和组织相容性抗原。若输血者和受血者 ABO 血型抗原不同，可引起输血反应；白细胞抗原不相匹配，可引起移植排斥反应。

3. **自身抗原** 引起自身免疫应答的自身组织细胞成分称为自身抗原。

4. **异嗜性抗原** 存在于不同种属之间的共同抗原，如微生物、植物和动物之间存在的共同抗原就称为异嗜性抗原。

## （二）根据抗原刺激 B 细胞产生抗体时是否需要 T 细胞参与分类

1. **胸腺依赖性抗原 (TD-Ag)** 此类抗原刺激 B 细胞产生抗体需要 Th 细胞的辅助。参与免疫应答的绝大多数抗原属于 TD-Ag，如各种病原微生物、血细胞及血清蛋白等。

2. **胸腺非依赖性抗原 (TI-Ag)** 此类抗原刺激 B 细胞产生抗体不需要 Th 细胞辅助，如细菌脂多糖、荚膜多糖等。

## （三）其他不同分类方法

根据化学组成可分为蛋白质抗原、多糖抗原等。根据抗原性质不同可分为完全抗原、半抗原。根据抗原获得方式及来源不同，可分为天然抗原、人工合成抗原、内源性抗原和外源性抗原。

# 任务二 决定抗原免疫原性的条件

抗原是一类物质，然而自然界中物质种类繁多，因此一种物质要具有免疫原性必须具备下列条件。

## 一、异物性

抗原首先必须具有异物性：①非己物质是异物，抗原与机体之间亲缘关系越远、组织结构差异越大，则免疫原性越强。如鸡血清对兔的免疫原性强，而对鸭的免疫原性就弱。②同种异体之间由于遗传背景的不同，相同组织结构细胞也有差异，也表现出异物性，可刺激机体产生免疫应答。如由于 HLA 抗原的不同而导致机体出现移植排斥反应。③自身组织成分正常情况下不属于异物，对机体没有免疫原性。但在外伤、感染、电离辐射或药物作用下，结构发生改变也可表现异物性。另外某些胚胎期未与机体免疫细胞充分接触过的隐蔽成分的释放也会表现异物性，刺激机体产生免疫应答，如眼睛晶体蛋白。

## 二、分子大小

一般而言，抗原的分子量越大，其免疫原性越强。完全抗原物质的相对分子质量一般都在 10000 以上。在一定范围内，物质相对分子质量越大、结构越复杂，则免疫原性就越强。一般就免疫原性强度来说，环状结构强于直链结构，聚合体强于单体，颗粒性物质强于可溶性物质。

## 三、化学组成与结构的复杂性

抗原的结构越复杂免疫原性就越强；反之免疫原性就越弱。蛋白质的化学结构比较复杂，尤其是具有芳香族氨基酸（如酪氨酸）的蛋白质，不易在体内降解，能较长时间

刺激免疫活性细胞，有利于产生较强的免疫应答。另外，机体对抗原的应答能力也受机体的年龄、生理状态、营养状况、个体发育等因素影响。

## 任务三 抗原的特异性与交叉反应

### 一、抗原的特异性

特异性是指物质之间的相互结合的对应性，例如，钥匙与锁的关系就是具有特异性的关系，而抗原的特异性则表现在免疫原性和抗原性上。前者指某一特定抗原分子只能刺激相应的淋巴细胞发生特定的免疫应答，产生针对该抗原免疫效应物质，后者指某一特定的抗原分子只能与相应的免疫效应物质（抗体或致敏淋巴细胞）特异性结合。

特异性是免疫应答最基本、最重要的特点，是免疫学诊断和防治的理论依据。

决定抗原特异性的物质基础是抗原分子上的抗原决定簇，抗原决定簇是指抗原分子中决定抗原特异性的特殊化学基团，又称表位。抗原通过它与相应淋巴细胞表面的抗原受体结合，引起免疫应答，同时它又能与免疫应答产物（抗体或致敏淋巴细胞）发生特异性结合。一个抗原分子可具有一种或多种不同的抗原决定簇，不同的抗原决定簇可刺激机体产生不同的抗体。

各种抗原的决定簇数目不同，抗原决定簇大多存在于抗原的表面，隐藏于抗原分子内部的抗原决定簇一般是无功能的。抗原分子在其他因素的作用下，使内部的抗原决定簇暴露出来，才能发挥抗原决定簇的作用。

### 二、交叉反应

绝大多数天然抗原具有多个抗原决定簇，如细菌、病毒和寄生虫等，一般来说每种决定簇都能刺激机体产生一种特异性抗体，因此复杂抗原能使机体产生多种抗体。有时两种不同抗原物质之间具有相同或相似的抗原决定簇，称为共同抗原。一种具有共同抗原决定簇的物质能刺激机体产生的抗体，可与其他含有共同抗原决定簇的物质结合发生反应，称为交叉反应（图 2-1）。血清学诊断中出现交叉反应时，易造成判断的错误。

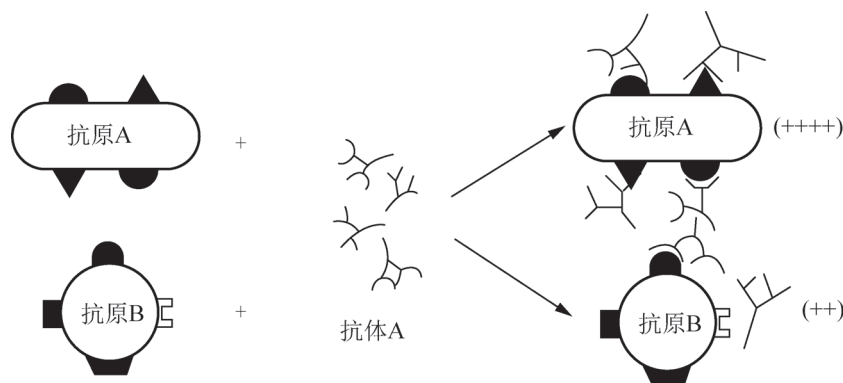


图 2-1 细菌的共同抗原和交叉反应示意图

## 任务四 医学上重要的抗原物质

### 一、异种抗原

#### （一）病原微生物及其代谢产物

病原微生物含有蛋白质、多糖、类脂和核酸等多种复杂成分，是多种抗原组成的复合体，对机体具有很强的免疫原性，如细菌具有表面抗原、鞭毛抗原、菌毛抗原、菌体抗原等。

病原性细菌产生的代谢产物也是典型的抗原如细菌外毒素，化学成分为蛋白质，具有很强的免疫原性和毒性，能刺激机体产生相应的抗体即抗毒素。外毒素经甲醛处理后，失去毒性，仍保留免疫原性，称为类毒素。类毒素可以作为人工自动免疫制剂。

#### （二）动物免疫血清

临床上常用的各种抗毒素（即动物血清），是将相应类毒素注射进动物（主要是马）体内，刺激动物产生相应的抗体（即抗毒素）。一定时间后从动物血中提取相应的免疫血清，这种动物免疫血清既能中和细菌外毒素的毒性，又能作为异种蛋白抗原刺激人体产生抗动物血清抗体。

#### （三）异嗜性抗原

异嗜性抗原指存在于不同种系生物间的共同抗原。某些病原微生物与人体某些组织之间存在着异嗜性抗原，如乙型溶血性链球菌与人体心肌、肾小球基底膜之间存在着共同抗原，当乙型溶血性链球菌进入人体后，可造成相应组织损伤引起免疫性疾病，如风湿性心脏病、肾小球肾炎等；又如立克次体与变形杆菌之间存在着共同抗原，所以可以用变形杆菌代替立克次体来检测可疑患者体内立克次体的抗体，帮助诊断立克次体病。

### 二、同种异型抗原

同种异型抗原是指同一种属不同个体间的抗原物质。人类主要有两大类同种异型抗原。

#### （一）血型抗原

血型抗原是红细胞表面的同种异型抗原，这里主要介绍两类。

**1. ABO 血型抗原** 该抗原存在于红细胞表面，血型抗体为天然抗体。ABO 血型不合的个体间相互输血，很快就能引起严重输血反应，因此输血前供血者与受血者应先配血型，血型一致才能输血。

### 知识链接

新生儿溶血病是危害新生宝宝健康的一大杀手，通常是指由于母婴血型不合，母血中抗体进入新生儿的血液循环并进而破坏新生儿的红细胞，导致发生溶血性贫血的一类疾病。临床上主要表现为皮肤黄疸，严重的出生时就有明显的水肿、贫血。

**2. Rh血型抗原** 该抗原也存在于红细胞膜表面，没有天然血型抗体，抗体是在免疫情况下产生的。如母亲血型为 Rh（-），胎儿血型为 Rh（+），分娩时因产道损伤或胎盘剥离，胎儿的红细胞进入母体，刺激母体产生抗 Rh 抗体，该抗体可通过胎盘进入胎儿体内。当母亲再次怀孕，胎儿血型仍为 Rh（+）时，母亲体内抗 Rh 抗体可引起新生儿溶血症。

### （二）人类白细胞抗原（HLA）

HLA 存在于白细胞、血小板和所有有核细胞膜表面，由多个抗原成分组成，受遗传控制。除单卵双生者外，很难找到完全相同的 HLA。在器官移植时，可因供者移植物上存在着受者没有的 HLA，诱导受者产生免疫应答，引起移植排斥反应。

## 三、其他抗原

### （一）自身抗原

能引起机体发生免疫应答的自身成分称为自身抗原。正常情况下，机体对自身成分不产生免疫应答，即免疫耐受。但在自身成分结构发生改变、某种原因导致隐蔽成分释放等病理情况下，这些自身组织成分也会成为自身抗原。机体对自身抗原产生强免疫应答，可导致自身免疫病。

### （二）肿瘤抗原

肿瘤抗原是机体细胞在癌变过程中出现的一些新的抗原物质的总称，可分为肿瘤特异性抗原和肿瘤相关抗原。

**1. 肿瘤特异性抗原** 肿瘤特异性抗原只存在于某种特定肿瘤细胞的表面，而不存在于正常组织细胞和其他肿瘤细胞的表面的抗原物质。目前在人类黑色素瘤、乳腺癌等肿瘤细胞的表面已经检测出此类抗原。

**2. 肿瘤相关抗原** 肿瘤相关抗原与肿瘤细胞的发生有关，但不是肿瘤细胞所特有的抗原物质，正常人体中也有少量存在。在肿瘤细胞出现时，此类抗原的含量则明显增加，如肝细胞癌变时，体内甲胎蛋白的含量显著升高。研究肿瘤特异性抗原和肿瘤相关抗原有助于肿瘤的诊断和治疗。

### （三）超抗原

常规抗原只能激活少数具有抗原特异性受体的 T 细胞克隆。近年来发现某些抗原物质，只需要低浓度（1 ~ 10 ng/mL）即可激活体内大量（2% ~ 20%）T 细胞克隆，产

生极强的免疫应答效应,而又不同于丝裂原的作用,这类抗原称为超抗原(superantigen SAg)。超抗原多为一些微生物代谢产物,如金黄色葡萄球菌肠毒素A~E、葡萄球菌表皮剥脱毒素、链球菌致热外毒素、某些病毒蛋白等。超抗原一个明显生物学特性是可以激活多克隆T细胞释放大量的细胞因子,引起发热、多器官衰竭、休克,甚至死亡。



佐剂



知识拓展



## 直击护考

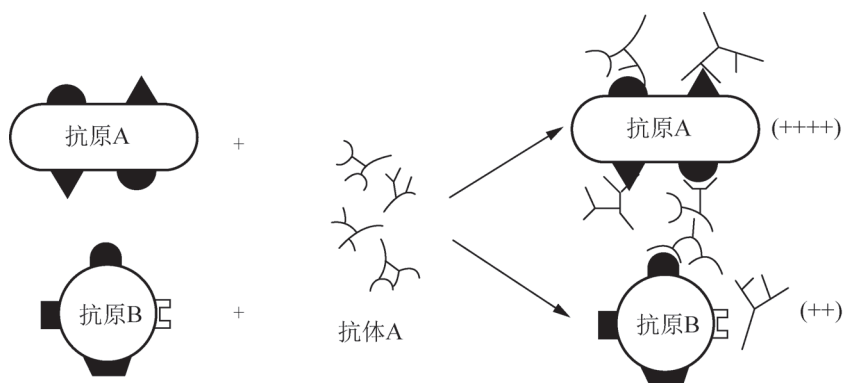


### 一、选择题

- 免疫原性是指( )。
  - 抗原分子能与应答产物发生特异性反应的特性
  - 抗原分子不能与应答产物发生特异性反应的特性
  - 抗原分子能诱导免疫应答的特性
  - 抗原分子不能诱导免疫应答的特性
  - 抗原与载体结合后诱导免疫应答的特性
- 下列物质中免疫原性最强的是( )。
  - 多糖
  - 类脂
  - 蛋白质
  - 小分子肽
  - 核酸
- 异嗜性抗原( )。
  - 不是种属特异性抗原
  - 可引起交叉反应的发生
  - 是共同抗原
  - 溶血性链球菌感染后的肾小球肾炎与此抗原有关
  - 以上均对
- 兄弟姐妹间进行器官移植引起排斥反应的物质是( )。
  - 异种抗原
  - 同种异型抗原
  - 自身抗原
  - 异嗜性抗原
  - 超抗原
- 肿瘤相关性抗原是( )。
  - 为某一肿瘤细胞所特有的抗原
  - 肿瘤细胞不表达的抗原
  - 正常组织细胞不表达的抗原
  - 肿瘤细胞高表达正常细胞也可少量表达的抗原

E. 肿瘤细胞与正常细胞都可高表达的抗原

## 二、图片题



通过观察图片判断抗原 A 与抗原 B 的关系是（ ）。

- A. 同种异型抗原    B. 共同抗原    C. 超抗原    D. 半抗原

## 三、简答题

1. 简述共同抗原与交叉反应的关系。
2. 决定抗原免疫原性的条件是什么？

## ■ 单元三 免疫球蛋白

### 学习目标

#### » 知识目标

1. 掌握抗体、免疫球蛋白的概念，免疫球蛋白的生物学活性。
2. 熟悉免疫球蛋白的基本结构及功能区功能。

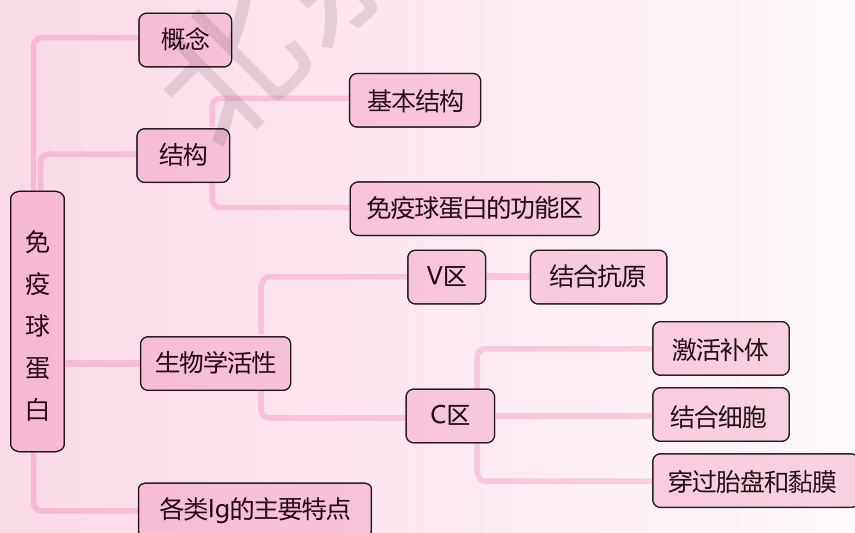
#### » 能力目标

1. 能画出免疫球蛋白的基本结构并标明功能区。
2. 能比较五类免疫球蛋白的特点及功能并运用于临床护理中。

#### » 素质目标

通过抗体的学习，让学生树立大健康理念，提高国民素质，增强人民体质。

### 知识导图



抗体是机体免疫的主力军，抗原的刺激是产生抗体的前提，B 细胞活化是产生抗体的关键，由肽链组成的“Y”字形单体分子是免疫球蛋白（抗体）的结构基础。如果我们把抗体比喻成与抗原作战的军队，那么 IgG 因为它的数量多，作用较多，是主力部队；IgM 产生的较快，在免疫应答时率先发挥作用，是先锋部队；IgA 主要在局部黏膜起作用，是地方武装；IgE 只参与 I 型超敏反应，是特种部队。这些抗体相互配合，以多种方式来清除体内的抗原。



预习案例

抗体（antibody, Ab）是机体内的 B 细胞识别抗原后活化、增殖、分化为浆细胞所产生的能与相应抗原发生特异性结合的球蛋白，分布于血液、淋巴液、组织液、外分泌液等体液中，具有免疫功能，是介导体液免疫的重要免疫分子。

1968 年和 1972 年的两次国际会议上将具有抗体活性或化学结构与抗体相似的球蛋白统一命名为免疫球蛋白（immunoglobulin, Ig）。免疫球蛋白分为分泌型和膜型，分泌型免疫球蛋白主要存在于体液中，有抗体的生物学活性；膜型免疫球蛋白是 B 细胞膜上的抗原受体。

抗体属于免疫球蛋白，免疫球蛋白包括抗体。所有的抗体都是免疫球蛋白，但不是所有的免疫球蛋白都具有抗体活性，如骨髓瘤、巨球蛋白血症患者血液中的免疫球蛋白就只具有与抗体相似的化学结构而不具有抗体活性。所以，免疫球蛋白是化学结构的概念，抗体是生物学功能上的概念。



### 知识链接

1890 年德国学者 Von Behring 和日本学者 Kitasato 用白喉杆菌外毒素免疫动物，在免疫动物血清中发现能中和白喉外毒素的组分，并称之为抗毒素，这是在血清中发现的第一种抗体。这种含有抗体的血清即免疫血清。

## 任务一 免疫球蛋白分子结构

### 一、基本结构

所有免疫球蛋白单体的基本结构相似，都是由链间二硫键连接的四条多肽链组成的呈“Y”字形的单体分子，其中两条相同的长链分子量较大，称为重链（heavy chain, H 链），两条相同的短链分子量较小，称为轻链（light chain, L 链）。

#### （一）重链和轻链

免疫球蛋白的重链由 450 ~ 550 个氨基酸组成，分子量为 50 ~ 75 kDa。根据重链恒定区免疫原性不同，可将其分为五类，即  $\gamma$ 、 $\alpha$ 、 $\mu$ 、 $\delta$  和  $\epsilon$ ，由它们组成的免疫球蛋白分别是 IgG（ $\gamma$ ）、IgA（ $\alpha$ ）、IgM（ $\mu$ ）、IgD（ $\delta$ ）和 IgE（ $\epsilon$ ），重链是免疫球蛋白

分类的依据。同一类 Ig 又分为不同的亚类，如 IgG 可分为 IgG1、IgG2、IgG3、IgG4；IgA 可分为 IgA1、IgA2。

## （二）可变区和恒定区

每条重链和轻链都有氨基端（N 端）和羧基端（C 端），靠近氨基端轻链的 1/2 和重链的 1/4 的区域为可变区（V 区），用  $V_H$  和  $V_L$  表示，可特异性结合抗原，区域内氨基酸的组成和排列顺序可以发生改变， $V_L$  和  $V_H$  各有 3 个区域的氨基酸高度多变，这些区域称为高变区（hypervariable region, HVR）。这些高变区共同组成免疫球蛋白的抗原结合部位，能与种类繁多的抗原决定簇结合，其余部分氨基酸数量、种类和排列顺序都相对稳定，称为恒定区（C 区），用  $C_H$  和  $C_L$  表示。抗体的特异性是由 H 链和 L 链可变区决定的。

## （三）铰链区

铰链区位于  $C_H1$  与  $C_H2$  之间，该区域富有弹性、柔软、可以转动，含有丰富的脯氨酸，因此坚韧柔曲，并且对蛋白酶敏感。当 Ig 与特异性抗原相遇时，由于铰链区可张合自如，抗体分子既适宜与不同距离的抗原决定簇配合，也易使补体结合点暴露，为补体活化创造条件。仅 IgD、IgG、IgA 有铰链区，IgM 和 IgE 没有铰链区（图 3-1）。

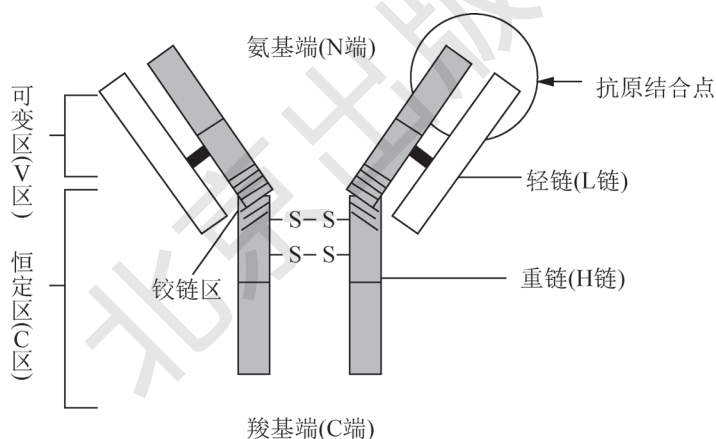


图 3-1 单体 Ig 基本结构模式图

## （四）其他结构

免疫球蛋白除了上述基本结构外，IgM 和分泌型 IgA 还有其他结构。

**1. 连接链（joining chain, J 链）** 连接链由浆细胞合成，主要功能是连接单体 Ig 分子使其成为多聚体。分泌型 IgA 二聚体和 IgM 五聚体均含 J 链；IgG、IgD 和 IgE 常为单体，不含 J 链。

**2. 分泌片（secretory piece, SP）** 分泌片是由黏膜上皮细胞合成与分泌的多肽，以非共价形式结合于 IgA 二聚体上，使其成为分泌型 IgA（sIgA）。SP 的作用是使 IgA 分泌到黏膜表面，发挥黏膜免疫作用，同时 SP 还可保护 sIgA 的铰链区，使其免受蛋白水解酶的降解。

## 二、免疫球蛋白的功能区

Ig 分子的多肽链分子可折叠成几个由链内二硫键连接的球形结构, 每个球形结构具有一定的功能, 称为免疫球蛋白的功能区。

轻链有  $V_L$  和  $C_L$  两个功能区。IgG、IgA 和 IgD 的重链有 4 个功能区, 分别为  $V_H$ 、 $C_{H1}$ 、 $C_{H2}$  和  $C_{H3}$ ; IgM 和 IgE 重链有 5 个功能区, 除  $V_H$ 、 $C_{H1}$ 、 $C_{H2}$  和  $C_{H3}$  外, 还有一个  $C_{H4}$ 。各功能区担负着各自特定的功能。



水解片段

**1.  $V_H$  和  $V_L$**   $V_H$  和  $V_L$  有结合抗原的功能, 其中高变区是 V 区中与抗原决定基互补结合的部位。

**2.  $C_{H1}$  和  $C_L$**   $C_{H1}$  和  $C_L$  具有部分遗传标志。

**3.  $C_{H2}$  (IgG)  $C_{H3}$  (IgM)** IgG 的  $C_{H2}$  和 IgM 的  $C_{H3}$  是补体 C1q 结合位点, 母体 IgG 可借助  $C_{H2}$  通过胎盘。

**4. IgG 的  $C_{H3}$**  IgG 的  $C_{H3}$  可与吞噬细胞、B 细胞和 NK 细胞表面的 IgG 的 Fc 受体结合; IgE 的  $C_{H2}$  和  $C_{H3}$  可与肥大细胞和嗜碱性粒细胞上 IgE 的 Fc 受体结合, 与 I 型超敏反应的发生有关。

## 任务二 免疫球蛋白的功能

### 一、免疫球蛋白的生物学活性

免疫球蛋白的生物学活性由可变区和恒定区共同体现。

#### (一) 可变区的生物学活性

免疫球蛋白的可变区 (Fab 段) 能特异性识别和结合抗原, 但不能直接杀伤抗原, 只能通过抗体与抗原的结合而产生一系列其他生物学效应来清除抗原。免疫球蛋白与相应细菌外毒素结合后可使外毒素失去毒性, 与相应病毒结合后可使病毒失去感染细胞的能力。

#### (二) 恒定区的生物学活性

**1. 激活补体** IgG1 ~ IgG3 与 IgM 抗体与相应抗原特异性结合后发生分子构型变化, 暴露出位于  $C_{H2}$  的补体结合点, 从而激活补体, 发挥补体溶解抗原靶细胞和溶解细菌的作用。

**2. 结合细胞** 机体很多细胞表面都具有免疫球蛋白的 Fc 受体, 如巨噬细胞、NK 细胞和肥大细胞等。免疫球蛋白的 Fc 段能与这些细胞的 Fc 受体发生结合, 从而引起一系列免疫效应, 如引起 I 型超敏反应、ADCC 效应, 调理吞噬作用。

**3. 穿过胎盘和黏膜** IgG 是人类唯一能通过母体胎盘进入胎儿体内的免疫球蛋白, 并对胎儿抗感染起到非常重要的作用。IgA 可以通过消化道和呼吸道黏膜构成分泌型 IgA, 是机体局部抗感染免疫的重要因素。

## 二、各类免疫球蛋白的特性与功能

在免疫球蛋白中 IgG、IgD 和 IgE 为单体结构。IgA 中血清型为单体，而分泌型是由分泌片和 J 链连接而成的双体结构，IgM 是由 5 个单体组成的五聚体（图 3-2）。

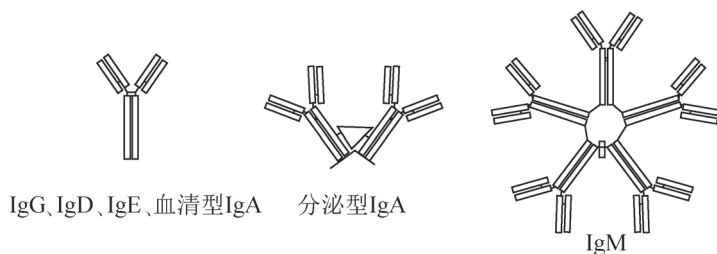


图 3-2 各类免疫球蛋白结构示意图

### （一）IgG

IgG 是人体内含量最高的免疫球蛋白，占血清 Ig 总量的 75%，IgG 的半衰期最长可达 23 天。

IgG 几乎分布于全身各个组织和体液中，机体感染后出现的抗病毒、抗毒素、抗菌抗体主要是 IgG 抗体，是唯一能通过胎盘的抗体，胎儿可从母体获得，这对防止新生儿出生后数周内的感染起很大作用。出生后 3 个月的婴儿已能合成 IgG，3～5 岁时 IgG 接近成人水平。IgG 还有激活补体、调理吞噬、ADCC 及结合葡萄球菌 A 蛋白（SPA）等作用，同时它也是再次体液免疫应答产生的主要抗体。

### （二）IgA

IgA 分为血清型和分泌型两种，血清型 IgA 主要存在于血清中，具有一定的抗感染和防止自身免疫病的作用；分泌型 IgA（SIgA）由呼吸道、消化道、泌尿生殖道等处黏膜中的浆细胞产生，广泛分布于黏膜和外分泌液中。黏膜局部的 IgA 可抑制病原体的黏附作用，从而阻止病原体感染机体，是机体局部黏膜抗感染的重要因素。新生儿容易患呼吸道和胃肠道感染就与局部黏膜分泌型 IgA 合成分泌不足有关。母亲的乳汁中，特别是初乳中含有分泌型 IgA，有利于新生儿消化道抗感染。



#### 课程思政

人母乳中含有分泌型免疫球蛋白 A（sIgA），为预防新生儿及婴儿感染性疾病起着重要作用。父母养育子女十分不易，羊有跪乳之恩，鸦有反哺之义；大地乃万物之源，父母是生命之本。人生于世，长于世，源于父母，人们大都是在父母的悉心关怀、百般爱护和辛苦抚养下慢慢长大的，每个儿女都应懂得知恩、感恩、报恩、尽孝。

### （三）IgM

IgM 分子量最大，主要分布于血液中，在免疫应答中产生最早，在早期感染中发挥

重要作用。胚胎发育晚期胎儿即能合成 IgM, 由于母体的 IgM 不能通过胎盘, 故新生儿脐带血中若查出高浓度的 IgM, 则表明胎儿有宫内感染。出生后受抗原诱导, 首先产生 IgM。IgM 为五聚体, 有较多的抗原结合部位, 其调理吞噬作用、激活补体的能力较强。血清中天然存在的血型 (ABO) 抗体为 IgM。

#### (四) IgD

IgD 为单体, 血清中含量很低, 占血清 Ig 总量的 0.2% ~ 0.25%, 是 B 淋巴细胞的重要表面标志, 未成熟的 B 淋巴细胞表面仅有 IgM, 成熟的 B 淋巴细胞表面则有 IgD。血液中 IgD 确切功能尚不清楚。

#### (五) IgE

IgE 为单体, 正常人血清中含量极低, 且含量稳定, 约占血清中 Ig 总量的 0.001%, 对肥大细胞和嗜碱性粒细胞具有高度的亲和性, 是引发 I 型超敏反应的主要抗体。



人工制备抗体的类型



#### 考点提示

免疫球蛋白的功能。



#### 直击护考

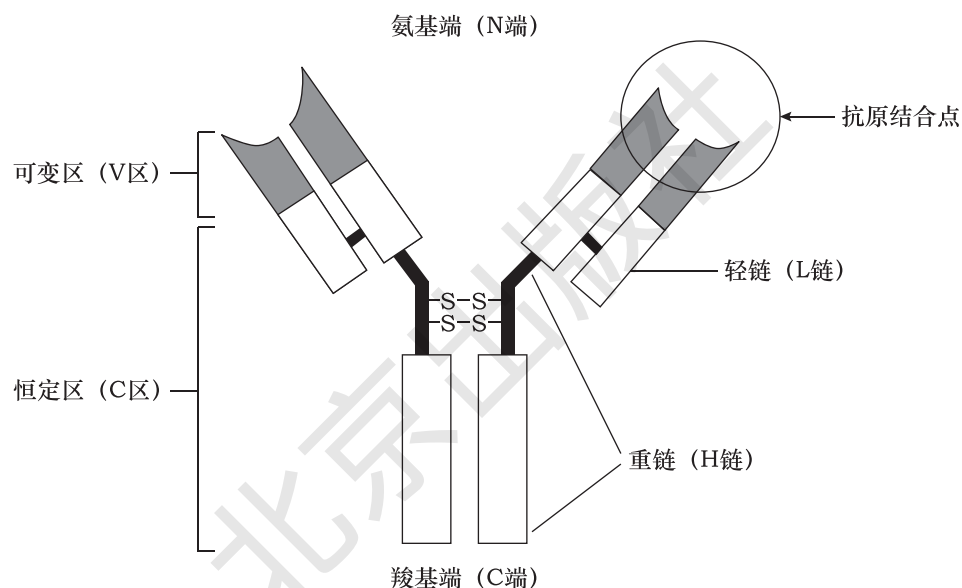


#### 一、选择题

- 免疫球蛋白的结构是由 ( )。
  - 两条相同的重链组成
  - 两条多肽链组成
  - 以 J 链连接的一条轻链和一条重链组成
  - 二硫键连接的两条相同重链和两条相同轻链组成
  - 二硫键连接的一条重链和一条轻链组成
- 抗原和抗体特异结合的部位在 ( )。
  - $V_H$
  - $V_L$  和  $V_H$
  - $C_L$  和  $C_H$
  - Fc 段
  - $C_H$
- IgG 分子中与补体结合的部位存在于 ( )。
  - $C_{H2}$
  - $C_{H1}$
  - $C_{H3}$
  - $C_{H4}$
  - $V_H$
- 下列选项中, 关于 Ig 叙述错误的是 ( )。
  - 血清中含量最多的是 IgG, 含量最少的是 IgA
  - IgM 是分子量最大的免疫球蛋白

- C. 在肠道内起保护作用的 Ig 主要是 SIgA  
 D. 机体的抗感染作用在体液中主要是 IgG，在血管中主要是 IgM  
 E. 唯一通过胎盘的 Ig 是 IgG
5. 下列选项中，关于 IgM 的叙述错误的是（ ）。
- A. 活化补体的能力比 IgG 强  
 B. 是分子量最大的 Ig  
 C. 在机体的早期免疫防御中具有重要作用  
 D. 中和病毒和外毒素的作用比 IgG 强  
 E. 血清中 IgM 水平升高提示有近期感染

## 二、图片题



观察图片，请回答与抗原结合的部位为（ ）。

- A. V 区                      B.  $C_{H1}$  区                      C.  $C_{H2}$  区                      D.  $C_{H3}$  区

## 三、简答题

1. 在图示 IgG 的基本结构中，标出 N 端、C 端、H 链、L 链、V 区和 C 区。
2. 简述免疫球蛋白的生物学活性。