

第3章 免疫球蛋白（抗体）

抗体（antibody, Ab）是免疫系统在抗原的刺激下，由B淋巴细胞增殖分化成浆细胞产生的、可与相应抗原发生特异性结合并介导免疫效应的球蛋白，主要存在于血清和体液中，是介导体液免疫的重要免疫分子。

免疫球蛋白（immunoglobulin, Ig）是一类具有抗体活性或化学结构与抗体相似的球蛋白。免疫球蛋白包括分泌型和膜型两种类型：前者主要存在于血液和组织液中，具有抗体的各种功能；后者作为抗原识别受体表达于B细胞膜表面，称为膜表面免疫球蛋白（membrane immunoglobulin, mIg）。免疫球蛋白是化学结构上的概念。所有抗体的化学基础都是免疫球蛋白，但免疫球蛋白并不都具有抗体活性。

早在19世纪后期，von Behring及其同事Kitsato用白喉或破伤风外毒素免疫动物后可产生具有中和毒素作用的物质，称之为抗毒素。1937年Tiselius和Kabat电泳分析血清蛋白的组成时发现抗体活性成分主要位于电泳的 γ 区，故在相当长的一段时间内抗体又被称为 γ 球蛋白（即丙种球蛋白）。100多年来，抗体相关的研究成果曾七次获得诺贝尔奖。抗体（免疫球蛋白）研究在基础生物医学研究及临床疾病的诊断、治疗、预防等方面发挥着越来越重要的作用。

第1节 免疫球蛋白的结构

一、免疫球蛋白的基本结构

X射线晶体衍射结构分析显示，各类免疫球蛋白的基本结构（即免疫球蛋白单体）均由完全相同的两条重链（heavy chain, H链）和两条完全相同的轻链（light chain, L链）通过链间二硫键连接，呈“Y”字形的四肽链分子。一个天然Ig分子中的两条H链和两条L链的氨基酸组成完全相同，免疫球蛋白的基本结构及功能区如图3-1所示。

1. 重链和轻链 免疫球蛋白重链相对分子质量为50000~75000，由450~550个氨基酸残基组成。根据重链结构和抗原性的差异可将其分为5类（class）： μ 链、 γ 链、 α 链、 δ 链和 ϵ 链；不同的重链与轻链组成的免疫球蛋白分别称为IgM、IgG、IgA、IgD和IgE。同一类Ig其铰链区氨基酸组成和重链二硫键的数目、位置也不同，据此又可将同一类Ig分为不同的亚类（subclass）。如人IgG可分为IgG1~IgG4；IgA可分为IgA1和IgA2。IgM、IgD和IgE尚未发现有亚类。

免疫球蛋白轻链相对分子质量约为25000，由211~219个氨基酸残基组成。根据轻链结构和抗原性的不同，将其分为 κ （kappa）链和 λ （lambda）链，据此可将Ig分为两型（type），即 κ 型和 λ 型。一个天然免疫球蛋白分子上两条轻链的型别总是相同的，但同一个体内可存在分别带有 κ 或 λ 链的免疫球蛋白分子，两型轻链的功能无差异。不同种属生物体内两型轻链的比例不同，正常人血清免疫球蛋白 κ ： λ 约为2：1，而在小鼠内则为20：1。 κ ： λ 比例的异常

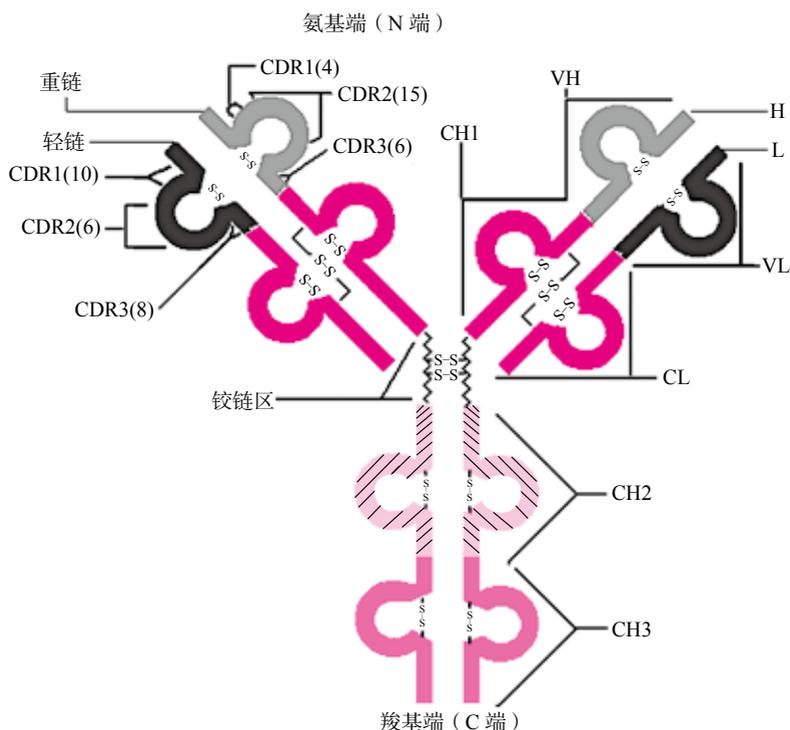


图 3-1 免疫球蛋白的基本结构及功能区示意图 (CDR 后为氨基酸数)

可能反映免疫系统的异常，如人类免疫球蛋白 λ 链过多，提示可能有产生 λ 链的 B 细胞肿瘤。根据 λ 链恒定区个别氨基酸的差异，又可分为 $\lambda 1 \sim \lambda 4$ 四个亚型。

2. 可变区与恒定区 通过分析不同免疫球蛋白重链和轻链的氨基酸序列，发现重链和轻链靠近氨基端 (N 端) 约 110 个氨基酸残基的组成和排列变化很大，此区域称为可变区 (variable region, V 区)，分别占免疫球蛋白重链近 N 端 1/4 或 1/5 和轻链近 N 端 1/2；其余近羧基端 (C 端) 的氨基酸残基组成和排列顺序相对稳定，故称为恒定区 (constant region, C 区)，分别占重链和轻链的 3/4 或 4/5 和 1/2。

3. 互补决定区和骨架区 免疫球蛋白重链和轻链可变区结构域中，各有 3 个特定区段内的氨基酸组成和排列顺序高度可变，称为超变区 (hypervariable region, HVR)，分别以 HVR1、HVR2 和 HVR3 表示。通常 HVR3 变化程度更高。它们分别位于 VH 内第 29~31、49~58、95~102 位氨基酸，和 VL 内第 28~30、49~59、92~103 位氨基酸。VH 和 VL 内 3 个 HVR 共同组成 Ig 的抗原结合部位 (antigen binding site)，该部位能与相应抗原表位互补结合，故 HVR 又称为互补决定区 (complementarity determining region, CDR)，分别用 CDR1、CDR2 和 CDR3 表示。不同抗体的 CDR 氨基酸组成及序列不同，决定着抗体与相应抗原表位结合的特异性，负责识别及结合抗原，从而发挥免疫效应。

免疫球蛋白可变区内超变区之外的氨基酸组成和排列顺序变化相对较小，称为骨架区 (framework region, FR)。VH 和 VL 内各有 4 个骨架区，分别以 FR1、FR2、FR3 和 FR4 表示。

4. 免疫球蛋白的功能区及其主要功能 免疫球蛋白分子的每条重链和轻链均可经链内二硫键形成球形的结构域 (domain)，发挥其相应的功能，故又称为功能区。重链和轻链 V 区各

形成一个结构域，分别以 VH 和 VL 表示；重链和轻链 C 区形成以下数目不等的几个结构域：
① γ 、 α 和 δ 重链形成 CH1、CH2 和 CH3 三个结构域；② μ 和 ϵ 重链形成 CH1、CH2、CH3 和 CH4 四个结构域；③ 轻链 C 区只有一个结构域，以 CL 表示。

免疫球蛋白各功能区的主要功能如下：① VH 和 VL 中的 HVR (CDR) 与抗原表位特异性结合；② CH1 和 CL 具有 Ig 同种异型遗传标志；③ IgG 的 CH2 和 IgM 的 CH3 具有补体 C1q 结合位点，可参与补体经典途径的激活；④ IgG 的 CH2 可介导 IgG 通过胎盘；⑤ IgG 的 CH3 和 IgE 的 CH2/CH3 能与多种免疫细胞表面相应受体结合，并由此介导免疫细胞产生不同的生物学效应。

免疫球蛋白分子每个结构域约由 110 个氨基酸残基构成。各结构域虽然功能不同，但却具有相似的结构，即各结构域均形成“ β 三明治”样二级结构，也称为“ β 桶状” (β barrel) 结构 (图 3-2)。该结构由多肽链折叠形成两个反向平行的 β 片层 (anti-parallel β sheet)，片层间由一个链内二硫键垂直连接，以稳定其结构。免疫球蛋白多肽链分子的这种折叠方式称为免疫球蛋白折叠 (immunoglobulin fold)。

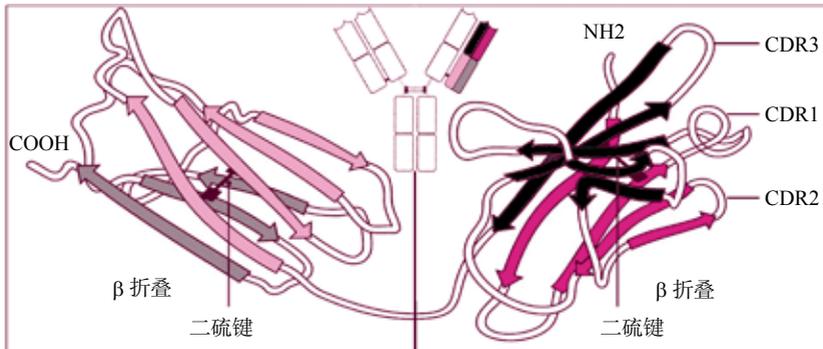


图 3-2 免疫球蛋白的轻链可变区和恒定区结构示意图

5. 铰链区 (hinge region) 免疫球蛋白铰链区位于 CH1 与 CH2 功能区之间。该区富含脯氨酸，因此易伸展弯曲，能改变“Y”形两臂之间的距离，有利于两臂同时结合两个相同的抗原表位。也有利于免疫球蛋白分子补体结合位点的暴露，与补体 C1q 结合而激活补体。五类免疫球蛋白及其亚类的铰链区不尽相同。IgG、IgA 和 IgD 重链 CH1 与 CH2 之间存在铰链区，IgG1、IgG2、IgG4 和 IgA 的铰链区较短，仅由 10 多个氨基酸残基构成；而 IgG3 和 IgD 的铰链区较长，约含 60 多个氨基酸残基。IgM 和 IgE 重链无铰链区。此外，铰链区对木瓜蛋白酶和胃蛋白酶敏感，经酶水解处理后，可使免疫球蛋白从该部位断裂为数个不同的片段。

二、免疫球蛋白的辅助成分

免疫球蛋白分子除轻链和重链外，IgM 和 IgA 还含有其他的辅助成分，包括连接链和分泌片两种。

1. 连接链 (joining chain, J 链) 是由浆细胞合成的 124 个氨基酸组成的多肽链、富含半胱氨酸，相对分子质量约为 15000；其主要功能是将单体 Ig 分子连接成为多聚体。血液中 IgM 是由 IgM 单体分子通过二硫键和 J 链连接组成的五聚体 (图 3-3)；分泌型 IgA (secretory IgA, SIgA) 由两个单体 IgA 通过 J 链相连，并与分泌片共价结合形成 (图 3-3)。IgG、IgD、IgE 和

血清型 IgA 为不含 J 链的单体分子。

2. 分泌片 (secretory piece, SP) 又称为分泌成分 (secretory component, SC) (图 3-3), 是分泌型 IgA 的一个重要辅助部分, 相对分子质量约为 75000, 是由黏膜上皮细胞合成分泌的一种含糖肽链。分泌片的主要生物学作用是: ①介导 IgA 二聚体从黏膜下转运至黏膜表面; ②保护分泌型 IgA 铰链区, 使其不被蛋白酶水解。

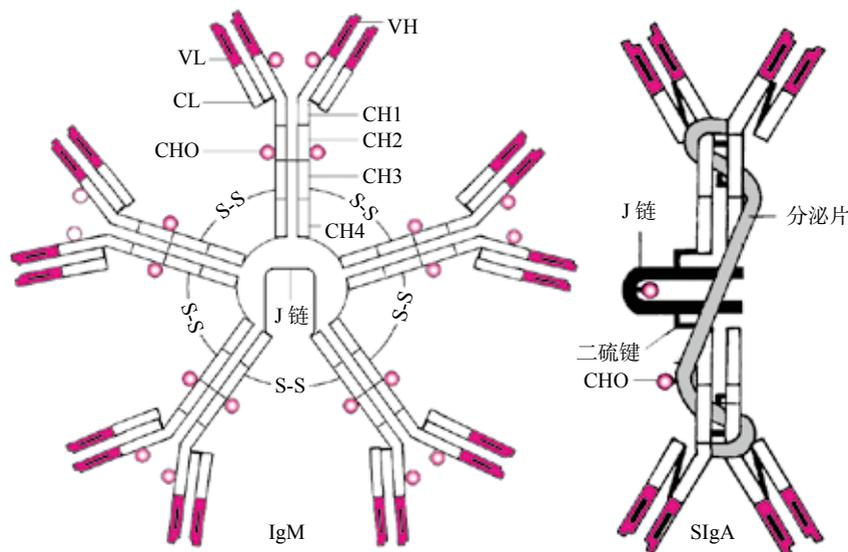


图 3-3 免疫球蛋白 IgM 五聚体和 SIgA 二聚体结构示意图

三、免疫球蛋白的水解片段

在一定条件下, 免疫球蛋白分子肽链的某些部分可被蛋白酶水解成各种片段。木瓜蛋白酶 (papain) 及胃蛋白酶 (pepsin) 是最常用的蛋白水解酶, 借此可研究免疫球蛋白的结构和功能, 分离和纯化特定的免疫球蛋白多肽片段。

1. 木瓜蛋白酶水解片段 木瓜蛋白酶可在 IgG 重链铰链区链间二硫键近氨基端处将其断裂为三个片段 (图 3-4): 即两个完全相同的抗原结合片段 (fragment antigen-binding, Fab) 和一个可结晶片段 (fragment crystallizable, Fc)。每个 Fab 段由一条完整的轻链和部分重链 (VH 和 CH1) 组成。该片段具有单价抗体活性, 只能与一个相应抗原表位结合, 因此与相应抗原结合后不能形成大分子免疫复合物。Fc 段由铰链区链间二硫键连接的两条重链的 CH2 和 CH3 功能区组成, 无抗原结合活性, 是 IgG 与其他免疫分子和细胞 (表达 IgG Fc 受体) 相互作用的部位。

2. 胃蛋白酶水解片段 胃蛋白酶可在 IgG 重链铰链区链间二硫键近羧基端将其断裂为一个多肽片段和若干小分子片段 (图 3-4)。多肽片段是由铰链区内链间二硫键连接的两个 Fab 片段组成, 故称 $F(ab')_2$ 片段。该片段具有双价抗体活性, 与相应抗原结合后可形成大分子复合物, 发生凝集或沉淀反应。小分子片段称 pFc', 无生物学活性。根据上述酶解特性, 用胃蛋白酶水解破伤风抗毒素等抗体制剂, 可使其具有同种型抗原表位的 Fc 段裂解, 大大减少临床使用可能引起的超敏反应。

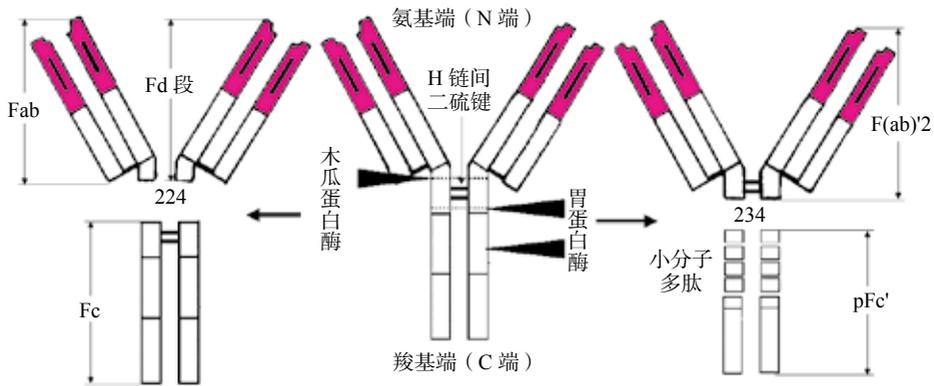


图 3-4 免疫球蛋白 (IgG) 的酶解片段示意图

第 2 节 免疫球蛋白的免疫原性

Ig 具有抗体活性，能与相应抗原表位特异性结合，产生一系列生物学效应。但其本身对于异种动物、同一种属不同个体或自身体内一些淋巴细胞克隆来说又是一种抗原性物质，能够刺激机体产生相应的抗体，即抗 Ig 抗体。利用含有抗 Ig 抗体的血清（血清学鉴定），分析免疫球蛋白的抗原表位，可将其分为同种型、同种异型和独特型三种血清型（图 3-5，表 3-1）。

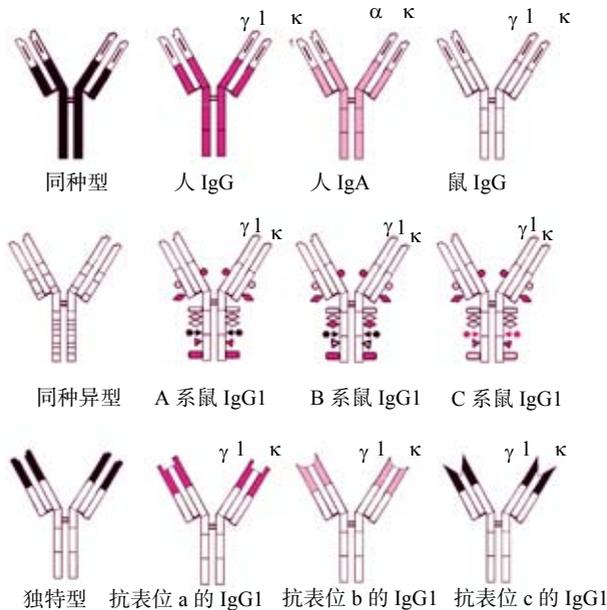


图 3-5 免疫球蛋白的血清型

Ig 血清型是免疫球蛋白异质性的表现，其功能和结构基础是在免疫球蛋白多肽链分子中存在着多种不同的抗原表位，从而表现出不同的免疫原性，刺激机体产生相应的抗 Ig 抗体。Ig 血清型是区分免疫球蛋白类和亚类、型和亚型的分子基础，同时在机体免疫调节中发挥重要作用。

表 3-1 免疫球蛋白的血清型

Ig 类型名称	决定不同类型 Ig 抗原特异性的部位	举 例	肽链氨基酸组成差异	分 布
类	CH	IgG、IgA、IgM、IgD、IgE	60% 不同	
同种型	亚类	CH	IgG1~IgG4、IgA1~IgA2	同一种系所有
	型	κ 、 λ	60% 不同	正常个体
	亚型	CL (λ)	λ 1~ λ 4	一个或数个氨基酸不同
同种异型	CH (γ 1- γ 3)	Gm1~Gm30		
	CH (α 2)	A2m1、A2m2	一个或数个氨基酸不同	同一种系某些个体
	CL (κ)	κ m1、 κ m2、 κ m3		
独特型	VH/VL	极多	各异	所有 Ig

1. **同种型 (isotype)** 指同一种属所有个体免疫球蛋白分子所共有的抗原表位。其为种属型标志,同一种属不同个体的同类免疫球蛋白分子抗原表位相同。此种抗原表位因种属不同而异,可刺激异种动物产生针对该表位的免疫应答。同种型存在于 Ig 恒定区内,根据 Ig 重链或轻链恒定区肽链同种型抗原表位的不同,可将 Ig 分为若干类、亚类及型、亚型。此外,IgG 同种型抗原表位主要存在于 Fc 段,用人 IgG 免疫动物可获得针对人 IgG Fc 段的抗体,此类抗体为抗 Ig 同种型抗体,又称第二抗体。

(1) **类和亚类**:根据免疫球蛋白重链恒定区肽链抗原表位的不同(即在肽链氨基酸的组成、排列以及构型等的不同),可将免疫球蛋白区分为 IgG、IgA、IgM、IgD 和 IgE 五类,其重链分别以希腊字母 γ 、 α 、 μ 、 δ 和 ϵ 表示。这五类免疫球蛋白重链间恒定区内的氨基酸组成约有 60% 不同,其含糖量也存在明显差异。

同一类免疫球蛋白因其重链恒定区某些抗原表位及二硫键数目和位置存在差异,又可分为若干亚类。现已发现人类 IgG 有 IgG1~IgG4 四个亚类,IgA 有 IgA1 和 IgA2 两个亚类。上述各亚类间恒定区内氨基酸组成约有 10% 的差异。

(2) **型和亚型**:根据免疫球蛋白轻链恒定区肽链抗原表位的不同,可将其分为 κ 和 λ 两型,如 IgG 可分为 κ 型 IgG 和 λ 型 IgG。

在 λ 型轻链恒定区内由于某些抗原表位存在差异,又可将其分为 λ 1~ λ 4 四个亚型,所有 κ 链恒定区内结构基本相同,无亚型存在。

2. **同种异型 (allotype)** 指同一种属不同个体同一类型 Ig 分子所具有的不同的抗原表位,为个体型标志。同种异型抗原表位存在于 Ig 重链或轻链恒定区内,是由于一个或数个氨基酸残基出现差异所致。

目前仅在 IgG、IgA 重链恒定区和 κ 型轻链恒定区中发现有同种异型抗原标志。IgG (γ 链)的同种异型抗原标志称 Gm 因子,位于 IgG1、IgG2 和 IgG3 重链恒定区内,已发现有 30 个 (Gm1~Gm30);IgA (α 链)的同种异型抗原标志称为 Am 因子,存在于 IgA 2 重链恒定区内,包括 A2m1 和 A2m2 两种; κ m 因子是 κ 型轻链的同种异型抗原标志,位于 κ 型轻链恒定区内,共有 κ m1、 κ m2 和 κ m3 三种。

3. **独特型 (idiotype)** 是指每个免疫球蛋白分子可变区 (V 区) 肽链所独有的抗原特异性标志, 其表位又称独特位 (idiotope)。独特型位于免疫球蛋白分子 V 区中的超变区内, 每个 Ig 超变区有 5~6 个独特位。独特型的本质在于免疫球蛋白分子重链和轻链可变区中超变区氨基酸序列的不同, 这也是抗体特异性的分子基础。不同抗原特异性的免疫球蛋白分子, 其独特型各异。B 细胞抗原受体为膜表面免疫球蛋白 (mIg), T 细胞抗原受体为免疫球蛋白超家族成员, 二者可变区内也存在独特位。它们在异种、同种异体甚至自体内可刺激机体产生相应抗体, 即抗独特型抗体 (antiidiotype antibody, AId)。免疫球蛋白分子的独特型及抗独特型抗体可形成复杂的网络, 参与机体免疫应答的调节 (见第 14 章)。

第 3 节 免疫球蛋白 (抗体) 的主要功能

免疫球蛋白结构是其功能产生的基础。同一免疫球蛋白分子 V 区及 C 区氨基酸的构成以及排列不同, 决定了其功能上的差异。免疫球蛋白的生物学功能主要表现为其 V 区和 C 区的作用。

一、免疫球蛋白可变区的生物学功能

免疫球蛋白分子有单体、二聚体及五聚体存在形式, 故不同免疫球蛋白分子结合抗原表位的数量不同。单体免疫球蛋白 (IgG、IgD、IgE) 可结合 2 个抗原表位; 分泌型 IgA 是二聚体, 可结合 4 个抗原表位; IgM 为五聚体, 理论上可与 10 个抗原表位结合, 但由于免疫球蛋白分子内立体构型的空间位阻原因, 一般只能结合 5 个抗原表位。膜表面免疫球蛋白分子 (mIg) 为单体, 仅能结合 2 个抗原表位。

免疫球蛋白可变区的主要功能为特异性地识别结合抗原, Ig 可变区的多样性足以识别自然界存在的种类繁多的抗原, 如识别结合细菌、病毒、寄生虫、某些药物以及进入机体的其他异物等。免疫球蛋白可变区 (V 区) 中的互补决定区 (CDR) 是与抗原分子发生结合的部位, CDR 通过空间互补及非共价键 (静电引力、范德华力及氢键) 与抗原表位进行特异性互补结合。免疫球蛋白 CDR 的氨基酸序列组成及构型决定着免疫球蛋白分子与抗原表位结合的特异性。免疫球蛋白通过其 V 区与细菌毒素或病毒等病原体结合后, 可产生中和作用, 阻断毒素或病毒与靶细胞受体结合及抑制病原体黏附的作用 (图 3-6)。

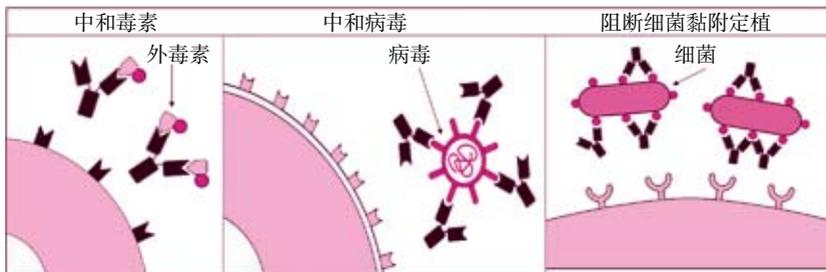


图 3-6 免疫球蛋白的可变区识别并结合抗原

二、免疫球蛋白恒定区的生物学功能

1. **激活补体系统** IgG1~IgG3 和 IgM 与相应抗原结合后, 可因构象改变使其位于 CH2/

CH3 功能区内的补体 C1q 结合位点暴露，从而通过经典途径激活补体系统（图 3-7）；IgG4、IgA 及 IgE 本身难以激活补体，但其凝聚物可经旁路途径激活补体系统。补体系统通过经典途径激活时，需要至少 2 个 IgG 或 1 个 IgM 分子，IgM 为五聚体，其激活补体的能力比 IgG 强。补体系统激活后可产生溶菌效应和调理作用（见第 4 章）。

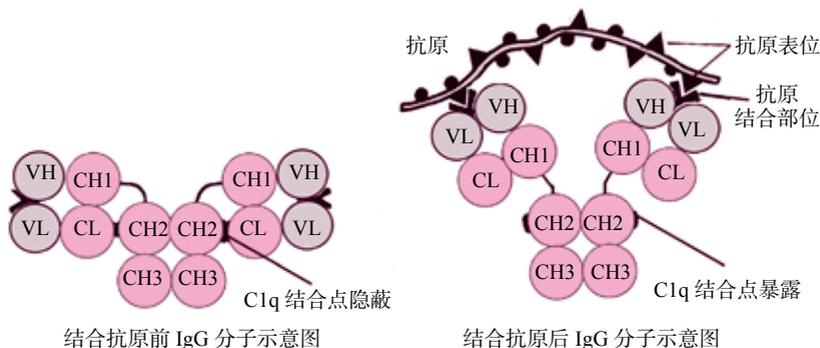


图 3-7 IgG 分子与抗原特异性结合前后构型变化示意图

2. 结合 Fc 段受体 IgG、IgA 和 IgE 的 Fc 段受体分别用 FcγR、FcαR 和 FcεR 表示。不同细胞表面具有不同免疫球蛋白的 Fc 段受体，如中性粒细胞、巨噬细胞、单核细胞等吞噬细胞具有 FcγR I 和 FcγR II，NK 细胞具有 FcγR III (CD16)，嗜碱性粒细胞、肥大细胞具有 FcεR I，嗜酸性粒细胞具有 FcεR II 和 FcαR 等。当抗体与抗原结合后，会引起分子构型的改变，其 Fc 段可与细胞表面的相应受体结合，发挥不同的生物学作用。

(1) 调理作用：IgG 类抗体与相应细菌等颗粒性抗原特异性结合后，通过其 Fc 段与巨噬细胞或中性粒细胞表面相应 IgG Fc 受体 (FcγR) 结合，从而促进吞噬细胞对上述颗粒性抗原的吞噬，称为抗体介导的调理作用 (opsonization) (图 3-8)。IgG 尤其是人 IgG1 和 IgG3 亚类是发挥调理作用的主要抗体类型。嗜酸性粒细胞表面具有 IgE 的 Fc 段受体 (低亲和力 FcεR II)，IgE 亦可发挥调理作用，促进嗜酸性粒细胞的吞噬作用。

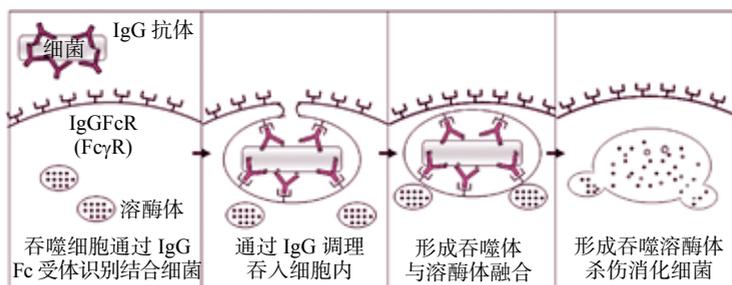


图 3-8 抗体介导的调理作用

(2) 抗体依赖性细胞介导的细胞毒作用：IgG 类抗体与靶细胞（如肿瘤或病毒感染细胞）表面相应抗原表位特异性结合后，通过其 Fc 段与 NK 细胞、巨噬细胞或中性粒细胞等效应细胞表面相应 IgG Fc 受体 (FcγR III A, CD16a) 结合，增强或触发上述效应细胞对靶细胞的杀伤破坏作用称为抗体依赖性细胞介导的细胞毒作用 (antibody dependent cell-mediated cytotoxicity, ADCC)，简称 ADCC 效应 (图 3-9)。在 ADCC 中，抗体与靶细胞抗原的结合是

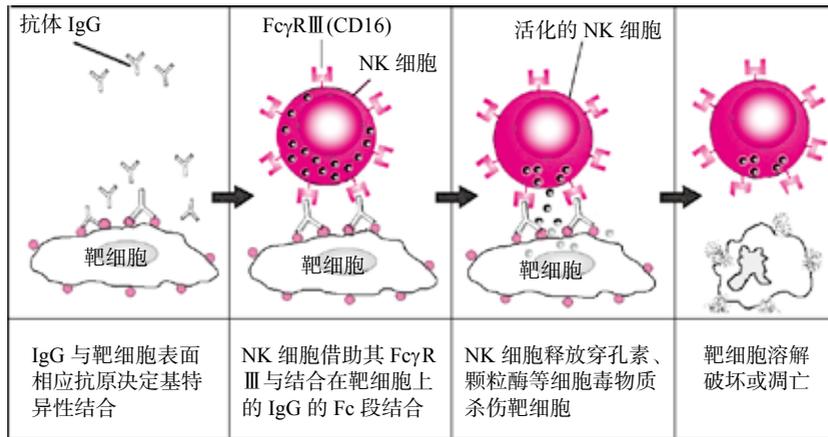


图 3-9 NK 细胞介导的 ADCC 作用

特异性的，而效应细胞对靶细胞的杀伤作用则是非特异性的。NK 细胞是机体介导 ADCC 的主要细胞。此外，嗜酸性粒细胞通过其 Fc ϵ R II 和 Fc α R 介导 ADCC 作用，在抗寄生虫感染免疫中具有重要作用。

(3) 介导 I 型超敏反应：IgE 为亲细胞抗体，可通过其 Fc 段与肥大细胞或嗜碱性粒细胞表面相应 IgE Fc 受体 (Fc ϵ R I) 结合，使上述细胞处于致敏状态。处于致敏状态的肥大 / 嗜碱性粒细胞通过表面特异性 IgE 与相应抗原 (变应原) 桥联而激活，脱颗粒并释放生物活性介质，最终引发 I 型超敏反应 (见第 15 章)。

3. 穿过胎盘屏障和黏膜 人类 IgG 是唯一能够从母体通过胎盘转运到胎儿体内的免疫球蛋白。研究表明：母体内 IgG 类抗体可通过其 Fc 段，选择性地与胎盘母体一侧的滋养层细胞表面相应受体 (neonatal FcR, FcRn) 结合，进而通过胎盘进入胎儿血液循环中。正常胎儿仅合成微量 IgG，其抗感染免疫主要依赖由母体转移而来的 IgG (图 3-10)。因此，上述自然被动免疫机制，对新生儿抗感染具有重要意义。分泌型 IgA (SIgA) 可通过分泌片介导穿越呼吸道、消化道等黏膜上皮细胞，到达黏膜表面发挥抗感染免疫作用。SIgA 形成过程如图 3-11 所示：IgA 单体首先在黏膜下浆细胞内与 J 链连接形成二聚体，分泌到细胞外，并与黏膜上皮细胞基底侧表面多聚免疫球蛋白受体 (polyimmunoglobulin receptor, pIgR) 结合，然后在胞吞转

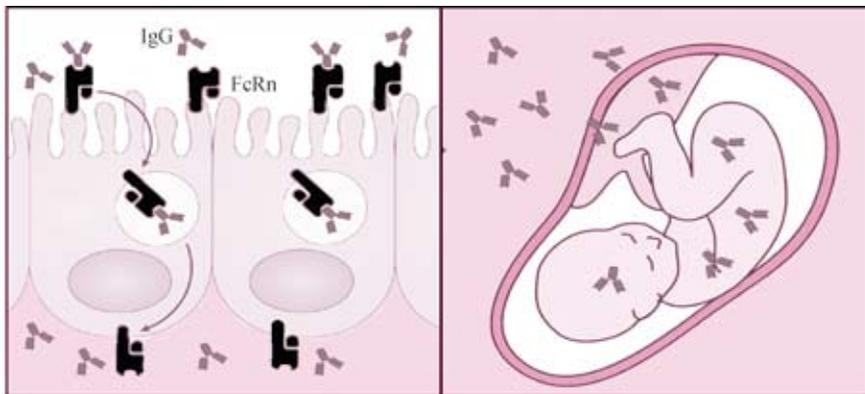


图 3-10 IgG 通过胎盘转运到胎儿体内

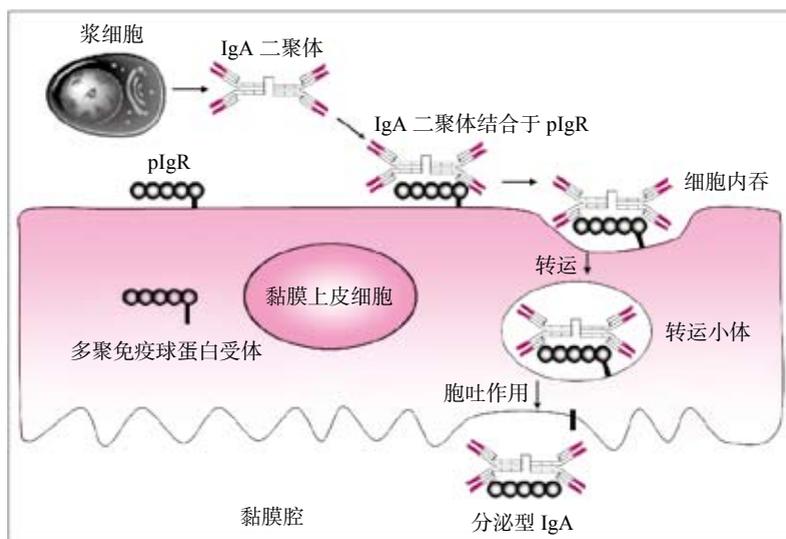


图 3-11 SIgA 二聚体的形成和转运过程

运过程中，蛋白水解酶水解 pIgR，大部分（即分泌片）与 IgA 二聚体结合形成完整的 SIgA，通过胞吐作用将其分泌到黏膜表面及分泌液中。

此外，人 IgG1、IgG2 和 IgG4 分子 Fc 段能非特异性地与葡萄球菌 A 蛋白（staphylococcus protein A, SPA）结合，此特性可用于抗体的纯化、标记以及免疫学诊断（协同凝集）。

第 4 节 各类免疫球蛋白的主要特性和功能

不同类型免疫球蛋白其主要理化特性以及生物学功能各异（表 3-2）。

表 3-2 人类 Ig 主要理化性质和生物学功能

免疫球蛋白类型	IgG	IgM	IgA	IgE	IgD
相对分子质量	150000	950000	160000	190000	175000
重链 (H 链)	γ	μ	α	ϵ	δ
亚类	$\gamma 1 \sim \gamma 4$	—	$\alpha 1, \alpha 2$	—	—
C 区结构域数目	3	4	3	4	3
轻链 (L 链)	κ, λ				
亚型	$\lambda 1 \sim \lambda 4$				
主要存在形式	单体	五聚体	单体 / 二聚体	单体	单体
血清中检出时间	生后 3 个月	胚胎后期	生后 4~6 个月	较晚	较晚
主要合成部位	脾、淋巴结	脾、淋巴结	黏膜相关 淋巴组织	黏膜固有层	扁桃体、脾
血清含量 (mg/mL)	5~12.5	0.25~3.1	1.4~4.2	0.0002	0.03~0.4
占血清 Ig 量比例	75%~80%	5%~10%	10%~15%	0.004%	0.2%
半衰期 (天)	23	5 或 10	6	2.5	3