

谭锦泉 章晓联 主编

诊断免疫学



科学出版社

www.sciencep.com

诊断免疫学

谭锦泉 章晓联 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

全书分为上、中、下三篇：上篇介绍免疫诊断技术，包括体液免疫和细胞免疫的检测、流式细胞术和免疫组化与免疫病理技术；中篇分类介绍了各种疾病的免疫诊断，涉及各种病原体引起的疾病、免疫缺陷病、变态反应、自身免疫病、肿瘤和移植排斥反应等；下篇讲述了有关诊断免疫学的质量控制，包括临床实验室、体液分析和免疫组织化学、疾病诊断、核酸测定等方面的质量控制与标准化，以及临床免疫学实验室的作用。

本书汇集了国内外研究应用的最新进展，特别是把免疫学相关疾病诊断的基本技术、基础理论和临床研究最新动态相结合，促进了基础工作者对临床应用的了解，也推动了临床工作者对基础科学的运用，基础和临床的结合为促进各个相关临床学科的发展提供了坚实的基础。本书既可作为免疫学专业人员的工具书、教科书，又可作为临床医师和临床实验室工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

诊断免疫学/谭锦泉,章晓联主编. - 北京: 科学出版社, 2006

ISBN 7-03-017249-3

I. 诊… II. ①谭…②章… III. 临床医学-免疫学 IV. R392

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 050233 号

责任编辑: 杨瑰玉 / 责任校对: 王望容

责任印制: 高 嵘 / 封面设计: 宝 典

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

湖北京山德新印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006 年 6 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2006 年 6 月第一次印刷 印张: 62 3/4

印数: 1~2 000

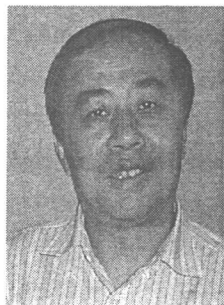
字数: 1 580 000

定价: 108.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

主 编 简 介 (一)

谭锦泉 男,教授,博士生导师,1956年出生。现任武汉大学基础医学院院长、医学研究中心主任、免疫学系主任,湖北省过敏与免疫相关疾病重点实验室主任。受聘为“长江学者”特聘教授。1991年获丹麦国立 Aarhus 大学医学博士学位。曾受邀到美国耶鲁大学、瑞典皇家 Karolinska 医学院、英国皇家医学研究生院、日本东京大学、德国 Lubeck 大学等院校和美国 Schering-Plough 医药公司合作研究。历任丹麦国立医学院暨哥本哈根大学免疫学副教授、丹麦国家过敏研究中心及 ALK-Abello A/S 资深研究员、华中科技大学同济医学院免疫学系教授和博士生导师、安徽医科大学免疫学教研室主任。



1998年至今,在国内主持参与一系列国家自然科学基金重点课题,入选国家人事部百千万人才工程第二层次人选,担任湖北省免疫学会理事会副理事长和中国免疫学会第三、四届理事会理事。长期致力于细胞免疫学研究,取得多项国际创新性成果,创立了细胞游走和局灶化调控机制的理论体系、嗜酸粒细胞与 T 辅助细胞互动激活模式的创新理论。迄今为止,在国际一流杂志发表 55 篇论文,其中第一作者和(或)通讯作者 42 篇,SCI 全文收录 35 篇,发表刊物包括 Blood, Cancer Res., J. Immunol.等。论文被 SCI 检索刊物引用 1660 余次,引用杂志包括 Annu Rev Immunol., Nat Immunol., Science 等。曾经荣获世界白细胞介素研究学会最佳科学贡献奖、剑桥大学国际传记中心前沿科学奖(Living Science Award)、2004 教育部自然科学一等奖、2005 年中华医学科技奖二等奖。主编出版专著《临床免疫学》和《基因芯片技术及应用》。

主 编 简 介 (二)

章晓联 女,教授,博士生导师,1965年出生。曾于1997年获得香港科技大学生物化学系博士学位,然后赴美国马里兰大学进行博士后研究等。2001年作为回国引进人才,被武汉大学聘为教授和博士生导师,武汉大学病毒学国家重点实验室教授和博士生导师。2004年赴日本福岛医科大学从事补体研究。从2002年至今担任湖北省过敏与免疫相关疾病重点实验室免疫研究室主任、武汉大学医学院免疫学系常务副主任、病毒学国家重点实验室副主任,同时兼任中华医学会武汉市微生物及免疫学会副理事长、武汉市免疫学会副理事长等职务。



长期以来,从事胞内病原微生物的分子及感染免疫研究。在国际上率先发现伤寒杆菌原毒力岛上的IV型纤毛基因操纵子和点特异重组酶基因;阐明了伤寒杆菌IV纤毛对人体细胞特异性致病机制,取得一系列国际领先水平的成果;还进一步研制和开发了携带病毒抗原的伤寒杆菌疫苗和新型药物。她对伤寒杆菌致病基因的重大发现和研究成果对弄清伤寒杆菌的致病机制以及研制完善的伤寒疫苗有着重要意义和价值。同时开展了与糖蛋白糖基化、丙肝病毒糖蛋白糖基化和免疫相关性有关的国际前沿领域研究,取得的创新性研究成果对由于糖基化引起的疾病研究有着很好的指导意义。作为10余项“国家自然科学基金”重点及面上项目、教育部项目等诸多重点科技项目的主持人,完成了一系列课题的研究,并参与了一些国际项目(如NIH项目)的合作,取得了一系列重要的科研成果,共发表高影响因子的SCI论文24篇。研究结果被Nature等国际刊物引用65次;获湖北省重大成果奖、申请发明专利6项;编写教材和专著6部。曾获第二届中国青年女科学家提名奖;中华医学奖二等奖;获得教育部新世纪人才支持计划、教育部优秀青年教师资助计划、湖北省杰出青年基金支持,以及武汉大学十大杰出青年等荣誉称号。此外,还主持多项湖北省和武汉大学教学研究项目,积极开展免疫学双语教学。主讲《分子免疫学》、《免疫学原理》。主编科学出版社出版的《免疫学双语实验技术指导》等。

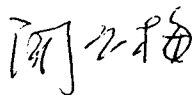
序 一

多年来,随着免疫学理论和技术的不断完善和发展,免疫学已成为生命科学及医学中的前沿科学之一。从18世纪牛痘用于预防天花,到1980年世界卫生组织(WHO)宣布“天花已在全世界被消灭”和对鼠疫、霍乱、黄热病等传染性疾病的有效控制,免疫学在临床上的作用毋庸置疑。如今在利用基因工程技术开发生物制品,诊断与防治传染性疾病与非传染性疾病中,免疫学更是发挥了重要作用。免疫学的发展为医学各领域带来了全新的突破。面对免疫学的迅猛发展,我国免疫学在整体上与国际先进水平还有一定的差距。因此,迅速掌握免疫学前沿知识并与临床结合已成为我国免疫学专业及相关临床科室今后工作的重要任务之一。

《诊断免疫学》正是顺应时代潮流,集中外现代免疫学技术研究应用的新进展编写而成的一部著作,它注重临床免疫相关疾病诊断的理论与实践,包括免疫学诊断技术及其质量控制等重要免疫学内容。既有利于临床工作者更深地了解和掌握相关疾病的免疫学诊断方法,又为基础研究人员对临床相关疾病的研究提供了有利的资料。

我衷心祝贺《诊断免疫学》的出版,这本书不仅符合我国免疫学发展的需要,而且在一定程度上达到了国际水平。本书的出版必将对我国免疫学的发展和应用起到积极地推动作用。

中国工程院院士
复旦大学医学院教授



2006年1月

序 二

免疫学作为生命科学的前沿学科之一，与分子生物学等学科交叉结合，产生了新的理论与应用上的突破，从而更好地解释了生命现象，揭示了疾病的发病机制。在我国医学模式的转变过程中，免疫学可为提高人体自身免疫力和疾病的诊断效率提供有效手段，从而解决日益突出的老年医学、精神卫生等问题。

目前，广大医务工作者和临床科研人员迫切渴望加深对免疫学相关知识的了解，以满足实际临床诊疗和科研工作的需要。抗体和抗原的特异性结合，为诊断医学提供了相当有力的武器，并在此基础之上逐渐发展和完善了诊断免疫学。

《诊断免疫学》一书满足了广大医务工作者和医学科研人员的需要，汇集了中外免疫学研究成果及其临床应用的经典理论和新近进展，把免疫学技术的基础理论和临床免疫相关疾病诊断的知识结合起来，构成了一部结构严谨、条理清晰的免疫学论著，将基础免疫学与临床实践紧密结合起来。本书具有较高的参考和使用价值，既可作为免疫学专业工作者的工具书，又可作为临床工作者的参考资料。

在此谨祝本书的编者及广大免疫学和临床工作者在 21 世纪为中国和世界人民的健康做出更大的贡献。我希望本书的出版能在新世纪推动我国免疫学更快地发展。

中国科学院院士
武汉大学生命科学学院教授



2006 年 3 月 12 日

前 言

免疫学是在总结人类同有害环境和疾病长期斗争经验的基础上诞生的。从最初认识抗原和抗体到预防接种疫苗,免疫学在人类消灭和控制感染与非感染性疾病中发挥了重要作用,在揭示生命活动基本规律、发展生物学理论和方法上的任何一次突破或进展,均极大地促进了生命科学和医学的发展。

基于现代医学模式的转变以及对免疫应答和免疫效应的深入理解,免疫学家可以利用免疫学技术提高疾病的诊断和预后水平;可以利用新型研发的疫苗去征服严重威胁人类生命的传染病;可以从免疫学角度深入认识并尝试解决肿瘤、心脑血管疾病、自身免疫性疾病、老年痴呆等困扰人类已久的疾病;可以发展以干细胞异体移植为主体的再生医学。免疫学为临床研究提供了有力的支持,并为临床诊断开辟了全新的解决途径。

《诊断免疫学》一书为基础免疫学研究者提供了深入了解临床免疫相关疾病诊断的平台,又使临床研究者加深对免疫学诊断技术的理解和掌握。本书内容深入浅出,图文并茂,包括20章,各章既独立成篇又相互联系,基础理论和临床应用之间交互连贯,并且结合了免疫学技术的最新发展动态。

本书除介绍免疫诊断技术和诊断免疫学的质量控制外,还按疾病的免疫学特征分类介绍了疾病的免疫诊断,包括细菌性疾病、病毒性疾病、其他病原体引起的疾病、免疫缺陷病、变态反应性疾病、自身免疫病、肿瘤、移植排斥反应等。着重从免疫学的角度阐述各种免疫相关疾病的诊断技术和方法,以及各种诊断方法的质量控制与标准化。

本书的编写者都是基础和临床科研工作第一线的专家、教授和研究生,有些目前仍在国外从事研究工作。他们具有深厚的免疫学理论知识或丰富的临床工作经验,时刻追踪国际上本领域的最新研究动态。他们在完成本职工作的基础上,日以继夜地辛苦工作,终于完成了本书的编写。他们丰富的理论知识、科研和临床经验、严谨的科学态度是本书质量的有力保证。

21世纪是生命科学的世纪,免疫学的发展更是日新月异。由于编者水平有限,书中纰漏之处在所难免,欢迎各位同行不吝赐教,给予批评指正。

傅锦泉 章晓联

2006年3月

目 录

上篇 免疫诊断技术

第 1 章 体液免疫的检测	3
第一节 免疫球蛋白基因	3
第二节 免疫球蛋白的免疫化学性质	11
第三节 免疫学方法在临床上的应用	30
第四节 免疫球蛋白的定量检测	35
第五节 补体选择试验	39
第六节 补体的遗传学分析	45
第七节 标本的收集与处理	58
第 2 章 细胞免疫的检测	60
第一节 抗原特异性 CD8 ⁺ T 细胞的检测	60
第二节 巨噬细胞功能检测	64
第三节 T 细胞受体的组成与检测技术	70
第四节 人 NK 细胞活性的检测	79
第五节 迟发型超敏反应皮肤试验	84
第六节 应用流式细胞仪进行凋亡的检测和定量分析	89
第 3 章 其他免疫分子的检测	98
第一节 细胞因子与细胞因子受体的检测	98
第二节 细胞因子的流式细胞仪分析技术	113
第三节 趋化因子和趋化因子受体的检测	120
第四节 细胞黏附分子的检测	127
第 4 章 流式细胞仪的分析技术	136
第一节 概述	136
第二节 外周血淋巴细胞的分型	137
第三节 白血病及淋巴瘤的分型	148
第四节 细胞功能的检测	158
第五节 细胞内 DNA 含量的检测	168
第六节 造血干细胞计数的标准化	180
第 5 章 免疫组化与免疫病理	189
第一节 概述	189
第二节 免疫组化的原理	189
第三节 免疫组化在肿瘤诊断中的应用	195
第四节 免疫荧光法在临床中的应用	201

中篇 疾病的免疫诊断

第 6 章 细菌性疾病	211
第一节 概述	211
第二节 链球菌的免疫学诊断	211
第三节 流感嗜血杆菌、脑膜炎双球菌、肺炎链球菌、白喉棒状杆菌疫苗	222
第四节 破伤风梭菌的免疫学诊断	237
第五节 革兰阴性球菌感染的免疫学诊断	241
第六节 肠杆菌和弧菌所致腹泻的免疫学诊断	254
第七节 幽门螺杆菌感染的血清学诊断	274
第八节 军团菌抗体的免疫学检测	279
第九节 结核病与麻风病的免疫学检测	290
第十节 诺卡菌属和放线菌病	301
第 7 章 病毒性疾病	306
第一节 概述	306
第二节 病毒的快速诊断	307
第三节 病毒抗体的检测	314
第四节 单纯疱疹病毒	319
第五节 水痘-疱疹病毒	325
第六节 EB 病毒	329
第七节 巨细胞病毒	339
第八节 人类疱疹病毒 6 型、7 型和 8 型	347
第九节 乳头瘤多空泡病毒	357
第十节 腺病毒	364
第十一节 细小病毒 B19	371
第十二节 流感病毒	376
第十三节 呼吸道合胞病毒和副流感病毒	383
第十四节 麻疹与流行性腮腺炎	393
第十五节 风疹病毒	398
第十六节 肠道病毒	404
第十七节 病毒性肝炎	407
第十八节 轮状病毒	424
第十九节 虫媒病毒	433
第二十节 汉坦病毒	441
第二十一节 狂犬病病毒	446
第二十二节 人 T 淋巴细胞病毒	452
第 8 章 真菌和寄生虫疾病	457
第一节 概述	457
第二节 临床寄生虫病的免疫学诊断	458
第三节 临床真菌感染的免疫学诊断	468

第 9 章 免疫缺陷病	497
第一节 概述	497
第二节 HIV 血清学诊断的原理	499
第三节 HIV 感染的免疫学检测	514
第四节 HIV 耐药性的检测	530
第五节 遗传性免疫缺陷病的诊断	546
第六节 T、B 细胞联合免疫缺陷	555
第七节 初次免疫缺陷	566
第八节 补体系统的遗传缺陷	572
第九节 中性粒细胞异常	587
第 10 章 变态反应性疾病	597
第一节 变应原的定量与标准化	597
第二节 变态反应的体内测定方法	604
第三节 变态反应的实验室诊断	612
第四节 利用各种变应原进行免疫学检测	620
第五节 变态反应物及其介质的检测	627
第六节 超敏反应性呼吸系统疾病的检测	640
第 11 章 自身免疫性疾病	649
第一节 自身抗体及其检测方法	649
第二节 自身免疫性肾脏疾病	699
第三节 自身免疫性皮肤病	702
第四节 自身免疫性肝炎	709
第五节 自身免疫性心血管疾病	714
第六节 自身免疫性血小板减少性紫癜	718
第七节 结肠病的免疫学检查	722
第八节 自身免疫性溶血性贫血	727
第九节 重症肌无力	733
第十节 自身免疫性神经系统性疾病	739
第 12 章 肿瘤	744
第一节 概述	744
第二节 T 细胞特异性人类肿瘤抗原	745
第三节 肿瘤疫苗	750
第四节 淋巴和组织细胞的恶性肿瘤	758
第五节 肿瘤的免疫学治疗与监控	770
第 13 章 移植免疫学和免疫遗传学	781
第一节 免疫遗传学概述	781
第二节 HLA 的分型	787
第三节 移植过程中的体液免疫反应	789
第四节 移植过程中的细胞免疫反应	797
第五节 骨髓移植的组织相容性	807

第六节	造血干细胞移植工程	817
第七节	次要组织相容性抗原	828

下篇 诊断免疫学的质量控制

第 14 章	医学实验室管理概论	839
第一节	实验室的质量保证	839
第二节	实验室质量控制体系的建立	842
第三节	临床免疫学检查的意义与评价	844
第四节	临床免疫学实验室的认证	845
第五节	参考值的建立与验证	847
第 15 章	体液分析的质量控制与标准化	851
第一节	免疫球蛋白和血清蛋白的检测	851
第二节	补体实验室检测的质量控制	854
第三节	冷球蛋白和免疫复合物	858
第四节	细胞因子、生长因子和黏附分子	861
第 16 章	免疫组织化学的质量控制与标准化	868
第一节	细胞免疫功能的检测	868
第二节	细胞因子受体及其检测	875
第三节	流式细胞仪分析技术	880
第四节	免疫荧光显微镜技术	883
第五节	免疫组化的质量控制	886
第六节	组织细胞的图像分析	888
第七节	过敏实验	891
第 17 章	免疫性疾病诊断的评价	897
第一节	免疫缺陷病	897
第二节	系统性自身免疫病	902
第三节	类风湿性关节炎	905
第四节	自身免疫性内分泌病和胃病	907
第五节	糖尿病	912
第六节	自身免疫性肝病	915
第七节	自身免疫性神经系统疾病	921
第八节	血管炎性疾病	922
第九节	移植的免疫组化分析	926
第十节	肿瘤的血清学与细胞学检测	930
第 18 章	感染性疾病诊断的质量控制与标准化	933
第一节	肺炎球菌性肺炎	933
第二节	病毒性肝炎	935
第三节	风疹	938
第四节	EB 病毒和单核细胞增多症	941
第五节	疱疹、水痘和巨细胞病毒	944

第 19 章	核酸测定的质量控制与标准化	948
第一节	分子生物学实验室的建立	948
第二节	原位杂交	957
第三节	感染性疾病的分子生物学检测	963
第四节	遗传性疾病的分子生物学检测	967
第五节	肿瘤的分子生物学检测	971
第六节	法医学 DNA 鉴定	976
第 20 章	临床免疫学实验室的作用	980

上篇

免疫诊断技术

第1章 体液免疫的检测

第一节 免疫球蛋白基因

一、免疫球蛋白分子

(一) 概述

免疫球蛋白是一组由 B 淋巴细胞和浆细胞产生的不同种类的糖蛋白。一个人能够合成 1000 万到 1 亿种不同的免疫球蛋白分子，每个分子都具有独特的抗原结合特性。体液免疫系统的这种巨大的多样性使得我们能够产生针对各种抗原的特异性抗体，这些抗原包括环境中不存在的分子。抗体与抗原结合存在多样性，而抗体和抗原的结合启动了一系列有重要生物学作用的事件，例如补体活化和(或)免疫复合体与白细胞受体的黏附。免疫球蛋白结构的分析揭示了这些分子在保持保守的补体活化等重要功能的同时，在与抗原结合时如何能具有如此巨大的多样性。

(二) 免疫球蛋白的基本结构

免疫球蛋白分子是由两条相同的重链和两条相同的轻链组成的。这四条多肽链由二硫键和非共价作用结合在一起。不同的免疫球蛋白分子重链和轻链的氨基端结构域(110~120 个氨基酸)的一级结构变化很大，所以这些结构域被称做可变区。而羧基端结构域的一级结构在同一类或同一亚类是相同的，所以被称做恒定区。轻链和重链可变区的氨基酸相互影响，形成一个抗原结合位点。每一个四链的免疫球蛋白基本单位有两个相同的结合位点。重链和轻链的恒定区为免疫球蛋白分子提供稳定性。重链的恒定区也决定不同类型的免疫球蛋白的特异性作用(表 1-1)。

表 1-1 人免疫球蛋白的物理性质

重链类型 (同种型)	重链亚型	重链结构域 的数目	分泌形式	相对分子质量 (Da)	抗原结合价	血清浓度 (mg/ml)	占总免疫球蛋白的百分比(%)
IgG(γ)	$\gamma 1, \gamma 2, \gamma 3, \gamma 4$	4	单体	150 000	2	8~16	80
IgA(α)	$\alpha 1, \alpha 2$	4	单体	160 000(单体)	2(单体)	1.4~4.0	13
IgM(μ)		5	二聚体	400 000(分泌型)	4(分泌型)		
		5	五聚体	900 000	10	0.5~5.0	6
IgD(δ)		4	单体	180 000	2	0~0.4	1
IgE(ϵ)		5	单体	190 000	2	17~450ng/ml	0.002

免疫球蛋白轻链有 κ 型和 λ 型两种类型，这两种类型轻链恒定区的氨基酸序列不同。在成人血浆中 κ 型和 λ 型轻链的比例是 2:1。轻链恒定区的主要功能可能是确保完整的免疫球蛋白分子的正确组装和释放。抗体轻链合成之后其恒定区很快和新合成的免疫球蛋白重链结

合,使得后者从免疫球蛋白结合蛋白或者从 BiP 释放。BiP 是一种热休克蛋白。在没有抗体轻链的情况下, BiP 和新合成的重链的第一恒定区结合,使得重链多肽留在细胞的内质网。

(三) 重链同种型

根据五种重链类型(γ , α , μ , δ , ϵ), 免疫球蛋白分子分为五大类: IgG、IgA、IgM、IgD 和 IgE。每一种类型免疫球蛋白分子含有 κ 型或者 λ 型轻链的任一种。表 1-1 总结了每一类免疫球蛋白分子的物理性质。

1. IgG

IgG 是成人血浆中含量最丰富的免疫球蛋白, 约占总免疫球蛋白的 80%。IgG 是二次免疫应答产生的主要的抗体。IgG 分子能够透过血管外的间隙并且能够通过胎盘屏障为胎儿提供免疫力。IgG 分子由铰链区结合形成 150kDa 的四条肽链免疫球蛋白, 其铰链区能够被蛋白水解酶(例如木瓜蛋白酶、胃蛋白酶)作用。IgG 有四种亚类: IgG1, IgG2, IgG3, IgG4。每一种亚类有独特的重链恒定区, 并且有不同的功能。含量最丰富的亚类是 IgG1, 占血浆总 IgG 的 65%。在 IgG 的亚类中, IgG1 最易于和 FcRI(CD64)以及 FcRII(CD32)结合。IgG1 和 IgG3 具有同样强的结合 FcRIII(CD16)的能力。CD16 是介导 ADCC(抗体依赖的细胞介导的细胞毒性作用)的自然杀伤细胞(NK 细胞)表面的 Fc 受体。IgG4 或 IgG2 亚类与 FcRI(CD64)以及 FcRII(CD32)的结合力很低, 并且完全不和 FcRIII(CD16)结合。血循环中 IgG 分子的平均半衰期大约是 21 天。

2. IgA

IgA 分子占总血浆免疫球蛋白的 13%。IgA 分子主要有两个类型: IgA1, IgA2, 其中主要是 IgA1(占血浆总 IgA 的 85%)。IgA 分子的半衰期大约是 6 天。

IgA 抗体在二次免疫应答中合成, 在黏膜免疫中发挥作用。IgA 抗体是唾液、眼泪、初乳、胃肠液以及呼吸道、尿道的主要抗体。这些分泌型免疫球蛋白由一个通过 J 链(或称连接链)连接形成的二聚体以及一个相对分子质量为 70kDa 的分泌蛋白组成。J 链是 IgA 正常肝脏转运所必需的。分泌蛋白实际上是二聚体 IgA Fc 受体的一部分, 这部分不是由 B 细胞合成, 而是由器官(如肠道)的上皮细胞合成的。分泌蛋白能够促进 IgA 蛋白的转运, 帮助其通过上皮细胞, 并且可以保护分泌型 IgA 分子免受肠腔内的蛋白水解酶的消化。因为 IgA 分子不能穿过胎盘屏障, 并且不容易结合到细胞表面, 所以 IgA 的主要作用可能是防止外源性物质与黏膜结合并且进入血液。

3. IgM

IgM 在成人血浆中约占 6%。IgM 分子的分子质量非常大(因此它们被称做巨球蛋白), 五个相同的免疫球蛋白通过二硫键和一个 J 链连接形成五聚体。IgM 是初次免疫应答中主要的免疫球蛋白类型。IgM 分子不能通过胎盘并且不能进入血管外间隙, 但是其固定补体的能力比 IgG 强。血浆中 IgM 的半衰期约是 6 天。单体 IgM 是 B 细胞表面表达的主要免疫球蛋白。

4. IgD

IgD 分子只占血浆免疫球蛋白的 1%, 并且其和 IgM 一起在 B 细胞表面表达。IgD 不能穿过胎盘, 也不易渗透至血管外间隙, 但是在脐带血里 IgD 的浓度较高。IgD 的功能被认为是作为 B 细胞膜表面的抗原受体, 并且可以帮助为特定抗原募集 B 细胞。

5. IgE

IgE 被称做反应素抗体, 以表明其与速发性超敏反应的关系。IgE 在血浆中占总免疫球蛋