



新生物学丛书

T细胞受体概论

The T Cell Receptor FactsBook

〔美〕 M. P. 勒弗拉克 G. 勒弗拉克 编著
李 懿 张剑冰 等 编译



科学出版社

新生物学丛书

T 细胞受体概论

The T Cell Receptor FactsBook

[美] M. P. 勒弗拉克 G. 勒弗拉克 编著

李 懿 张剑冰 等 编译

科学出版社

北 京

图字：01-2018-4464 号

内 容 简 介

人类 T 细胞受体 (TCR) 通过识别递呈到细胞表面的抗原肽与人类白细胞抗原的复合物, 帮助机体识别“自我”或“非我”, 是免疫体系的核心组成部分。本书系统地介绍了 TCR 的结构和生物性质、TCR 的合成及其在染色体上的定位。同时, 为了方便读者查阅, 本书根据 IMGT 相关信息总结出 TCR 基因列表, 每章节列出一个或一组 TCR 等位基因的基因名称、序列及 V 基因的二级结构珠状图。

本书适合免疫学初学者和从事病原微生物与宿主相互作用研究、疫苗研发、肿瘤免疫治疗及药物研发等免疫学专业的人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

T 细胞受体概论 / (美) M. P. 勒弗拉克 (Marie-Paule Lefranc),
(美) G. 勒弗拉克 (Gerard Lefranc) 编著; 李懿等编译. —北京:
科学出版社, 2018. 6

(新生物学丛书)

书名原文: The T Cell Receptor FactsBook

ISBN 978-7-03-057708-5

I. ① T… II. ① M… ② G… ③ 李… III. ① 肿瘤免疫疗法
IV. ① R730. 51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 123479 号

责任编辑: 罗 静 田明霞 / 责任校对: 郑金红

责任印制: 张 伟 / 封面设计: 刘新新

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>

北京虎彩文化传播有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 6 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2018 年 6 月第一次印刷 印张: 25 3/4

字数: 600 000

定价: 180.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

The T Cell Receptor FactsBook, 1st edition

Marie-Paule Lefranc, Gerard Lefranc

ISBN: 9780124413528

Copyright © Elsevier Ltd. All rights reserved.

Authorized Chinese translation published by China Science Publishing & Media Ltd. (Science Press).

《T 细胞受体概论》(李懿 张剑冰 等 编译)

ISBN: 9787030577085

Copyright © Elsevier Ltd. and China Science Publishing & Media Ltd. (Science Press). All rights reserved.

This edition of *The T Cell Receptor FactsBook* by Marie-Paule Lefranc and Gerard Lefranc is published by arrangement with **ELSEVIER LTD.** Of The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, OXFORD, OX5 1GB, UK.

本书英文版 *The T Cell Receptor FactsBook*, 第一版, 编者 Marie-Paule Lefranc, Gerard Lefranc, 由 **ELSEVIER LTD.** 出版, 地址: The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, OXFORD, OX5 1GB, 英国。

声明

本译本由中国科技出版传媒股份有限公司独自负责完成。相关从业及研究人员必须凭借其自身经验和知识对文中描述的信息数据、方法策略、搭配组合、实验操作进行评估和使用。(由于医学科学发展迅速,临床诊断和给药剂量尤其需要经过独立验证。)在法律允许的最大范围内,爱思唯尔、译文的原文作者、原文编辑及原文内容提供者均不对译文或因产品责任、疏忽或其他操作造成的人身及 / 或财产伤害及 / 或损失承担责任,亦不对由于使用文中提到的方法、产品、说明或思想而导致的人身及 / 或财产伤害及 / 或损失承担责任。

Printed in China by China Science Publishing & Media Ltd. (Science Press) under special arrangement with Elsevier Ltd.

This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the contract.

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

本书编译人员

主 编 译：李 懿 张剑冰

编 委（按姓氏拼音排序）：

陈 琳 樊 辉 黄 姣 吴显辉

郑红俊 钟 时

插 图：冯春明

参加单位：广州市香雪制药股份有限公司

广东香雪精准医疗技术有限公司

译者序

哺乳动物细胞的免疫系统由互相关联又相对独立的细胞免疫和体液免疫两大分支构成，二者协同作用识别“非我”抗原并清除表达这些抗原的细胞和病毒等。T 细胞受体（T cell receptor, TCR）和抗体是这两个系统中抗原识别的分子基础。

抗体分子首先被开发成药物，自 1986 年第一个抗体药 OKT3 上市至今，抗体药已经从一个小的药物分支成长为制药业的参天大树，在 2016 年十大销售药物中有 7 个是抗体药物或 Fc 融合蛋白。

从药物开发的角度，TCR 对靶点的识别比抗体有更大优势，因为到目前为止，只有识别细胞表面和分泌到细胞外的抗原的抗体才被开发成了生物药、免疫治疗活细胞药物等，TCR 可以靶定所有不同部位的抗原，包括细胞内、细胞膜表面和分泌出细胞的抗原，而很多已知的肿瘤特异性抗原是在胞内表达的。尽管如此，目前开发基于 TCR 的药物却大大落后于抗体，这是由于相较于抗体，TCR 分子在成药性方面有比较大的挑战。

近 10 年来肿瘤免疫治疗的兴起使得 TCR 比以往更受重视。无论是最早在肿瘤免疫治疗中获得突破的肿瘤浸润淋巴细胞治疗，还是阻断免疫检查点的抗体药物对实体瘤的治疗，或者是用嵌合抗原受体（chimeric antigen receptor, CAR）改造了的 T 细胞（CAR-T）治疗，以及基于 TCR 的细胞治疗 TCR-T 和 TCR 蛋白药物等，其核心都是 T 细胞对肿瘤细胞的杀伤。

在免疫系统激活的过程中，TCR 和抗原肽 - 主要组织相容性复合物的结合是形成免疫突触的结构中心，也是启动免疫反应的第一信号。因此对 TCR 的理解直接影响我们对整个免疫系统的理解。

国际免疫遗传学数据库（IMGT）的创始人 Marie-Paule Lefranc 和 Gerard Lefranc 于 2001 年出版了 *The T Cell Receptor Factsbook*，该书介绍了 TCR 结构和生物学特性、TCR 的合成途径及其在染色体上的定位，还列出了每一个 TCR 基因的相关信息。我们认为应该将这本系统介绍 TCR 的权威著作介绍给国内同仁。10 多年来，尽管 TCR 基因和它们的位置信息并无改变，但对 TCR 结构和功能的研究有了长足的进步，因此我们重写了该书

的第二章 T 细胞结构和生物学特性，其他章节基本保持原样。

本书的编译者是就职于广州市香雪制药股份有限公司生命科学研究中心（XLifeSc）暨广东香雪精准医疗技术有限公司的科学家，感谢所有编译者在工作之余的努力，才有了这本书的面世。本书如有不妥之处，敬请广大读者指正。

编译者

2018 年 1 月

目 录

1 绪论	1
2 T 细胞受体结构和生物学特性	12
3 T 细胞受体链的合成	36
4 染色体定位、基因座组织结构与潜在库	64

I 人类 T 细胞受体 TRA 基因

第 1 部分 TRAC	93
第 2 部分 TRAJ	97
第 3 部分 TRAV	105

II 人类 T 细胞受体 TRB 基因

第 1 部分 TRBC	201
第 2 部分 TRBD	207
第 3 部分 TRBJ	209
第 4 部分 TRBV	213

III 人类 T 细胞受体 TRG 基因

第 1 部分 TRGC	339
第 2 部分 TRGJ	351
第 3 部分 TRGV	355

IV 人类 T 细胞受体 TRD 基因

第 1 部分	TRDC	381
第 2 部分	TRDD	385
第 3 部分	TRDJ	387
第 4 部分	TRDV	389

1 绪 论

1.1 本书的适用范围

本书的主要目的是提供用于构建人类 T 细胞受体库的人类胚系 T 细胞受体基因, 包括 168 个基因和 271 个等位基因的条目, 共 393 条序列 (第 II 部分)。在这些条目之前有 4 个介绍性章节 (第 I 部分), 其中第 1 章定义了基于国际免疫遗传学数据库 (IMGT) 科学图表^[1]和 IMGT- 肿瘤学概念^[2]的数据的内容和数据的选择标准; 第 2 章是人类 T 细胞受体结构和生物学属性的简要介绍; 第 3 章对人类 T 细胞受体链合成的分子机制进行了总结; 第 4 章, 作为 IMGT 的一个重要贡献, 提供了人类 T 细胞受体胚系基因库的完整描述。

1.2 数据选择

这些 T 细胞受体基因包括所有位于 4 个主要基因座且至少拥有一个功能性或可读框 (open reading frame, ORF) 等位基因的人类 T 细胞受体的恒定基因、胚系可变基因、多样性基因和连接基因。所选资料来自 IMGT, 即由 M.-P. Lefranc (法国蒙彼利埃第二大学, 法国国家科学研究中心) 于 1989 年建立于蒙彼利埃的国际免疫遗传学数据库^[1, 3-5] (<http://imgt.cines.fr>), 更多资料来自于 IMGT/LIGM-DB 数据库和 IMGT 库^[6]。单项记录的选择标准的定义请见 IMGT 科学图表^[1] (<http://imgt.cines.fr>) 和 IMGT- 肿瘤学中的“鉴定”与“分类”概念^[2], 其中一些概念简要概括如下。

1.2.1 鉴定概念

“鉴定”的概念使科学家可根据基本生物学和免疫遗传特征识别 T 细胞受体序列^[2], 具体如下。

1.2.1.1 分子类型

有 3 种情况: 基因组 DNA、cDNA 和蛋白质。

1.2.1.2 基因类型

T 细胞受体合成中包含编码抗原结合位点的 4 类基因: 胚系可变 (V) 基因、多样性 (D) 基因、连接 (J) 基因及编码具有效应属性部分多肽链的恒定 (C) 基因。

1.2.1.3 构型

构型定义基因的状态：“胚系”或“重排”的 V、D 和 J 基因构型。这一概念特别重要，因为它只适用于免疫球蛋白和 T 细胞受体 V、D 和 J 基因。注意 C 基因未直接重排，因此未定义其构型。

1.2.1.4 链型

链型描述 T 细胞受体基因编码的多肽链的性质。根据 C 基因序列特征它们可以被定义为 4 个主要类型：TCR- α 、TCR- β 、TCR- γ 和 TCR- δ 。

1.2.1.5 功能性

功能性的定义以序列分析为基础。例如，功能性（针对胚系 V、D、J 和 C 基因）及生产性（针对重排 V-J-C 和 V-D-J-C 序列）意味着编码区拥有不含终止密码子的可读框，且剪接位点中没有已被发现的缺陷和（或）重组信号和（或）调控元件。根据已被发现的缺陷的程度，可将功能性定义为 ORF、伪基因或退化（针对胚系 V、D、J 和 C 基因）^[7]。完整定义见 <http://imgt.cines.fr> 的 IMGT 科学图表。

1.2.2 分类概念

“分类”的概念（图 1-1）可用来整理免疫遗传知识，方便 T 细胞受体（TR）基因的命名和分类^[2]。

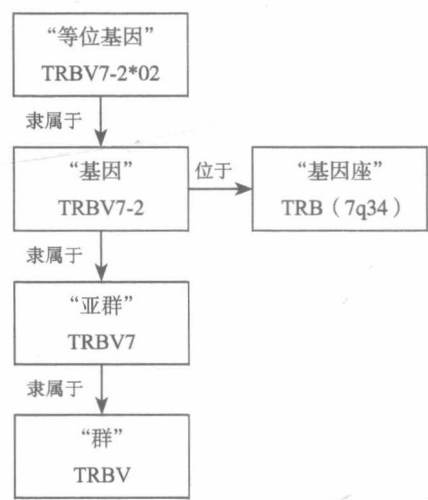


图 1-1 IMGT-肿瘤中的“分类”概念

1.2.2.1 基因座

基因座是在给定物种中有序定位于相同染色体位置上的一组 T 细胞受体基因。人类基

因组包括 4 类主要 T 细胞受体基因座：TRA (14q11.2)、TRB (7q34)、TRG (7p14) 和 TRD (14q11.2)，最后一个基因座混杂于 TRA 基因座内。T 细胞受体基因在有别于主要 TCR 基因座的其他染色体位置上也有发现，然而这些基因座里的 TCR 基因被称为孤儿基因，不具备功能性。

1.2.2.2 群

群是一组共有相同“基因类型”(V、D、J 或 C)并潜在参与相同“链型”肽合成的基因。引申开来，群包括相关伪基因和孤儿基因。

1.2.2.3 亚群

亚群是一组属于相同群的基因，在给定物种中亚群在核苷酸水平上（在 V、D 和 J 的胚系构型中）至少有 75% 相同。

1.2.2.4 基因

基因是指可被潜在转录和（或）翻译的 DNA 序列（有时该定义包括 5' 端、3' 端的调控元件和内含子）。“基因”概念的实例为基因名称。引申开来，孤儿基因和伪基因也是“基因”。对于每个基因来说，IMGT 已定义一个参照序列^[1]。对 V、D 和 J 基因来说，参照序列对应胚系基因实体。参照序列的选择规则见 IMGT 科学图表。

1.2.2.5 等位基因

一个等位基因是一个基因多型性变种中的一个。等位基因以标准化的方式对 T 细胞受体基因的 4 个“核心”编码区，胚系 V 区、D 区、J 区和 C 区进行描述，这些等位基因与被指定为 *01 的参照序列比对（请参见 IMGT 科学图表对于突变的 IMGT 的说明，以及对于序列多态性的 IMGT 等位基因命名法）。

由于 T 细胞受体 V 区通常不会发生体细胞高频突变，如果一个胚系基因尚未被分离到，那么其重排后的基因组 DNA 或 cDNA 仍会被用于 TCR 等位基因的比对。注意，TRV 区的 CDR3-IMGT 中的核苷酸突变和氨基酸变化在描述等位基因多型性时未考虑。

1.3 资料说明

单独基因条目的描述基于 IMGT-ONCOLOGY 中描述的概念，对 V 区来讲，这意味着需要设置 IMGT 唯一编号^[7-9]。

“描述”概念

“描述”是指对 T 细胞受体序列的组织及其组成，以及它们独特的保守模体的一个标准化了的叙述。本书提供了一个 IMGT 标签的列表，并建立了用图形展示的 T 细胞受体基因的原型（图 1-2）。例如，一个原型 V 基因代表一个在胚系构型中基因组 V 基因，而 V-J 基因代表一个 α 链或一个 γ 链中构型重排后的基因组 V 和 J 基因，一个 V-D-J 基因代表一

个 β 链或一个 δ 链中构型重排后的 V、D 和 J 基因（图 1-2）。

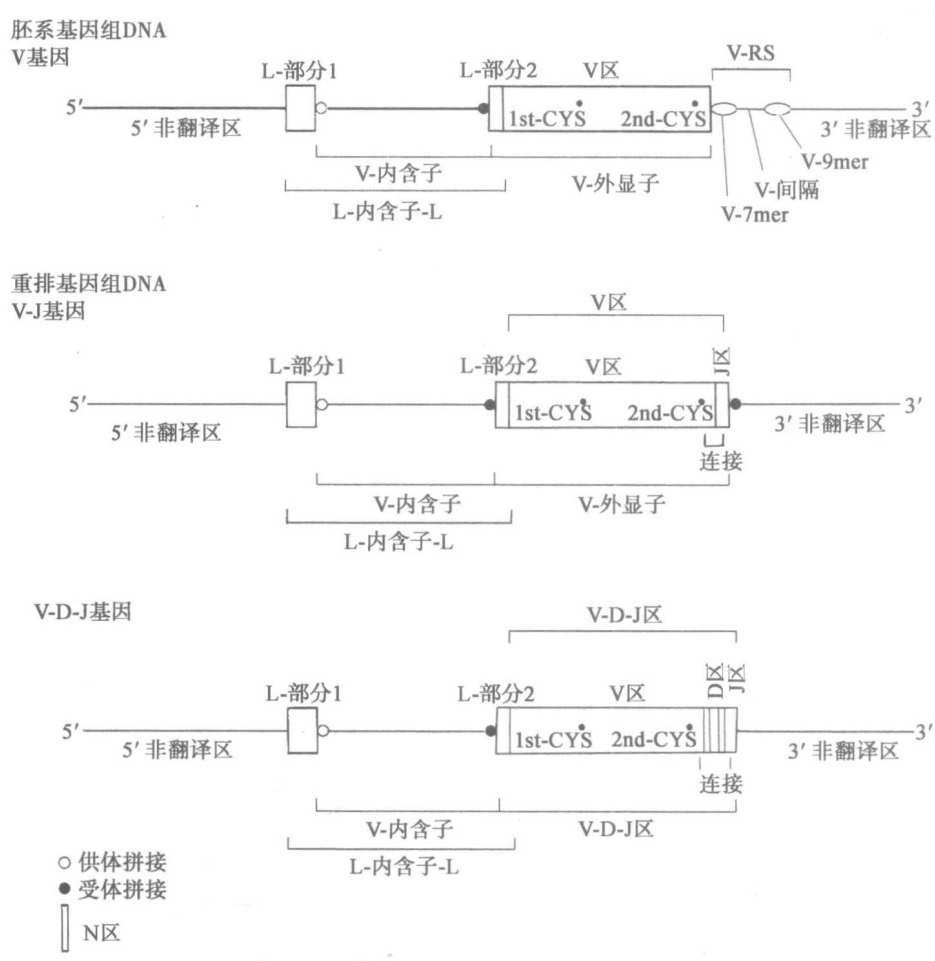


图 1-2 胚系 (V 基因)或重排 (T 细胞受体 α 链或 γ 链的 V-J 基因, T 细胞受体 β 链或 δ 链的 V-D-J 基因) 了的基因构型的原型。标签 (大写字母) 用于在 IMGT 中描述序列 (<http://imgt.cines.fr>)

1.4 V 区 IMGT 唯一编号

IMGT 唯一编号^[7-9] 源于可变区结构的高度保守性。该编号在比对了 5000 多条序列后建立, 且考虑并结合了骨架区 (framework, FR) 和互补决定区 (complementarity determining region, CDR) 的定义^[10]、X 射线衍射研究的结构数据^[11], 以及高变区环的特征描述^[12]。利用 IMGT 唯一编号, 本书确定了 FR-IMGT 和 CDR-IMGT 区的边界, 并确立了 IMGT 编号和其他编号之间的相关性^[9]。

IMGT 唯一编号有许多优点。

1) 无论何种抗原受体 (免疫球蛋白或 T 细胞受体)、链型 (T 细胞受体的 α 链、 β 链、

γ 链、δ 链）或物种，都可以轻松比对变异区的编码序列。

2) IMGT 唯一编号中，保守氨基酸都具有相同的位置，如半胱氨酸 23、色氨酸 41、亮氨酸 89、半胱氨酸 104。骨架区的疏水氨基酸也在保守性位置中被发现。

3) 该唯一编号可以重新定义 FR 和 CDR 的范围。FR-IMGT 和 CDR-IMGT 长度成为描绘群、亚群和（或）基因变异区的关键信息。

4) 无需序列比对就可比较不同序列中相同位置上的骨架氨基酸（和密码子）。这也适用于具有相同长度的 CDR-IMGT 氨基酸。

5) 为描述 T 细胞受体可变区等位基因多型性，IMGT 唯一编号使一个标准化的对突变的描述成为可能^[4, 7]。

6) IMGT 唯一编号被用于 IMGT/V-QUEST 比对工具（<http://imgt.cines.fr>）基于 IMGT 标准分析 T 细胞受体可变区（胚系或重排了的）所获得的结果。在 IMGT/V-QUEST 中，当一个可变区的重排了的序列和 IMGT 参照序列库中成套的 V 区、D 区与 J 区等位基因进行比较后，和输入序列最同源的 V 区，以及如果适用的话，D 区（相对于 β 链和 δ 链）和 J 区会被显示出来。比对了的 V 区序列会按照 IMGT 唯一编号被展示出来，FR-IMGT 和 CDR-IMGT 也会被定界。

7) 通过简化序列间的比较和对等位基因及其突变的描述，IMGT 唯一编号在分析所有物种的 T 细胞受体序列方面向前迈了一大步，而且，它加深了对可变区结构域结构构型的了解，也打开了 V-set 序列进化有趣的视野，因为这个编号系统被成功地用于所有免疫球蛋白超家族的序列分析，包括脊椎动物中的非重排序列（CD4，非洲蟾蜍 CTX 等）和无脊椎动物中的非重排序列（果蝇 Amalgam、果蝇 Fasciclin II 等）。

编号之间的相关性

表 1-1 显示了 T 细胞受体变异区的 IMGT 唯一 Lefranc 编号^[7-9] 和不同的 Kabat 编号^[1] 之间的相关性。

表 1-1 V 区编号之间的相关性

FR1-IMGT	TRBV 人类 TRBV6-5					TRAV 人类 TRAV8-6					TRDV 人类 TRDV2					TRGV 人类 TRGV3				
	1	1	aat	ASN	N	1	0	agc	ALA	A	1	0	gcc	ALA	A	1	1	tct	SER	S
	2	2	gct	ALA	A	2	1	cag	GLN	Q	2	1	att	ILE	I	2	0	tcc	SER	S
	3	3	ggt	GLY	G	3	2	tct	SER	S	3	2	gag	GLU	E	3	1	aac	ASN	N
	4	4	gtc	VAL	V	4	3	gtg	VAL	V	4	3	ttg	LEU	L	4	2	ttg	LEU	L
	5	5	act	THR	T	5	4	acc	THR	T	5	4	gtg	VAL	V	5	3	gaa	GLU	E
	6	6	cag	GLN	Q	6	5	cag	GLN	Q	6	5	cct	PRO	P	6	4	ggg	GLY	G
	7	7	acc	THR	T	7	6	ctt	LEU	L	7	6	gaa	GLU	E	7	5	aga	ARG	R
	8	8	cca	PRO	P	8	7	gac	ASP	D	8	7	cac	HIS	H	8	6	acg	THR	T
	9	9	aaa	LYS	K	9	8	agc	SER	S	9	8	caa	GLN	Q	9	7	aag	LYS	K
	10	10	ttc	PHE	F	10	9	caa	GLN	Q	10	9	aca	THR	T	10	8	tca	SER	S

续表

TRBV 人类 TRBV6-5					TRAV 人类 TRAV8-6					TRDV 人类 TRDV2					TRGV 人类 TRGV3					
FR1-IMGT	11	11	cag	GLN	Q	11	10	gtc	VAL	V	11	10	gtg	VAL	V	11	9	gtc	VAL	V
	12	12	gtc	VAL	V	12	11	cct	PRO	P	12	11	cct	PRO	P	12	10	acc	THR	T
	13	13	ctg	LEU	L	13	12	gtc	VAL	V	13	12	gtg	VAL	V	13	11	agg	ARG	R
	14	14	aag	LYS	K	14	13	ttt	PHE	F	14	13	tca	SER	S	14	12	cag	GLN	Q
	15	15	aca	THR	T	15	14	gaa	GLU	E	15	14	ata	ILE	I	15	13	act	THR	T
	16	16	gga	GLY	G	16	15	gaa	GLU	E	16	15	ggg	GLY	G	16	14	ggg	GLY	G
	17	17	cag	GLN	Q	17	16	gcc	ALA	A	17	16	gtc	VAL	V	17	15	tca	SER	S
	18	18	agc	SER	S	18	17	cct	PRO	P	18	17	cct	PRO	P	18	16	tct	SER	S
	19	19	atg	MET	M	19	18	gtg	VAL	V	19	18	gcc	ALA	A	19	17	gct	ALA	A
	20	20	aca	THR	T	20	19	gag	GLU	E	20	19	acc	THR	T	20	18	gaa	GLU	E
	21	21	ctg	LEU	L	21	20	ctg	LEU	L	21	20	ctc	LEU	L	21	19	atc	ILE	I
	22	22	cag	GLN	Q	22	21	agg	ARG	R	22	21	agg	ARG	R	22	20	act	THR	T
	23	23	tgt	CYS	C	23	22	tgc	CYS	C	23	22	tgc	CYS	C	23	21	tgc	CYS	C
	24	24	gcc	ALA	A	24	23	aac	ASN	N	24	23	tcc	SER	S	24	22	gat	ASP	D
	25	25	cag	GLN	Q	25	24	tac	TYR	Y	25	24	atg	MET	M	25	23	ctt	LEU	L
	26	26	gat	ASP	D	26	25	tca	SER	S	26	25	aaa	LYS	K	26	24	act	THR	T
CDR1-IMGT	27	27	atg	MET	M	27	26	tcg	SER	S	27	26	gga	GLY	G	27	25	gta	VAL	V
	28	28	aac	ASN	N	28	27	tct	SER	S	28	27	gaa	GLU	E	28	26	aca	THR	T
	29	29	cat	HIS	H	29	28	gtt	VAL	V	29	28	gcg	ALA	A	29	27	aat	ASN	N
	30	30	gaa	GLU	E	30	29	tca	SER	S	30	29	atc	ILE	I	30	28	acc	THR	T
	31	31	tac	TYR	Y	31	30	gtg	VAL	V	31	30	ggg	GLY	G	31	29	ttc	PHE	F
	32	*	---	---	-	32	*31	tat	TYR	Y	32	31	aac	ASN	N	32	30	tac	TYR	Y
	33		---	---	-	33	*	---	---	-	33	32	tac	TYR	Y	33	31	---	---	-
	34		---	---	-	34	*	---	---	-	34	33	tat	TYR	Y	34	32	---	---	-
	35		---	---	-	35		---	---	-	35		---	---	-	35		---	---	-
	36		---	---	-	36		---	---	-	36		---	---	-	36		---	---	-
	37		---	---	-	37		---	---	-	37		---	---	-	37		---	---	-
	38		---	---	-	38		---	---	-	38		---	---	-	38		---	---	-
FR2-IMGT	39	32	atg	MET	M	39	32	ctc	LEU	L	39	34	atc	ILE	I	39	33	atc	ILE	I
	40	33	tcc	SER	S	40	33	ttc	PHE	F	40	34A	aac	ASN	N	40	34	cac	HIS	H
	41	34	tgg	TRP	W	41	34	tgg	TRP	W	41	35	tgg	TRP	W	41	35	tgg	TRP	W
	42	35	tat	TYR	Y	42	35	tat	TYR	Y	42	36	tac	TYR	Y	42	36	tac	TYR	Y
	43	36	cga	ARG	R	43	36	gtg	VAL	V	43	37	agg	ARG	R	43	37	cta	LEU	L

续表

	TRBV					TRAV					TRDV					TRGV				
	人类 TRBV6-5					人类 TRAV8-6					人类 TRDV2					人类 TRGV3				
FR2-IMGT	44	37	caa	GLN	Q	44	37	caa	GLN	Q	44	38	aag	LYS	K	44	38	cac	HIS	H
	45	38	gac	ASP	D	45	38	tac	TYR	Y	45	39	acc	THR	T	45	39	cag	GLN	Q
	46	39	cca	PRO	P	46	39	ccc	PRO	P	46	40	caa	GLN	Q	46	40	gag	GLU	E
	47	40	ggc	GLY	G	47	40	aac	ASN	N	47	41	ggt	GLY	G	47	41	ggg	GLY	G
	48	41	atg	MET	M	48	41	caa	GLN	Q	48	42	aac	ASN	N	48	42	aag	LYS	K
	49	42	ggg	GLY	G	49	42	gga	GLY	G	49	43	aca	THR	T	49	43	gcc	ALA	A
	50	43	ctg	LEU	L	50	43	ctc	LEU	L	50	44	atc	ILE	I	50	44	cca	PRO	P
	51	44	agg	ARG	R	51	44	cag	GLN	Q	51	45	act	THR	T	51	45	cag	GLN	Q
	52	45	ctg	LEU	L	52	45	ctt	LEU	L	52	46	ttc	PHE	F	52	46	cgt	ARG	R
	53	46	att	ILE	I	53	46	ctc	LEU	L	53	47	ata	ILE	I	53	47	ctt	LEU	L
CDR2-IMGT	54	47	cat	HIS	H	54	47	ctg	LEU	L	54	48	tac	TYR	Y	54	48	ctg	LEU	L
	55	48	tac	TYR	Y	55	48	aag	LYS	K	55	49	cga	ARG	R	55	49	tac	TYR	Y
	56	49	tca	SER	S	56	*49	tat	TYR	Y	56	50	gaa	GLU	E	56	50	tat	TYR	Y
	57	50	gtt	VAL	V	57	*50	tta	LEU	L	57	51	aag	LYS	K	57	51	gac	ASP	D
	58	51	ggt	GLY	G	58	*51	tca	SER	S	58	52	gac	ASP	D	58	52	gtc	VAL	V
	59	52	gct	ALA	A	59	*52	gga	GLY	G	59	*	---	---	-	59	53	tcc	SER	S
	60	53	ggt	GLY	G	60		---	---	-	60		---	---	-	60	54	acc	THR	T
	61	54	atc	ILE	I	61		---	---	-	61		---	---	-	61	55	gca	ALA	A
	62		---	---	-	62		---	---	-	62		---	---	-	62	56	agg	ARG	R
	63		---	---	-	63		---	---	-	63		---	---	-	63	*57	gat	ASP	D
FR3-IMGT	64		---	---	-	64		---	---	-	64		---	---	-	64		---	---	-
	65		---	---	-	65		---	---	-	65		---	---	-	65		---	---	-
	66	55	act	THR	T	66	*53	tcc	SER	Y	66	*53	atc	ILE	E	66	*58	gtg	VAL	V
	67	56	gac	ASP	D	67	*54	acc	THR	L	67	*54	tat	TYR	K	67	*59	ttg	LEU	L
	68	57	caa	GLN	Q	68	*55	ctg	LEU	S	68	*55	ggc	GLY	D	68	*60	gaa	GLU	E
	69	58	gga	GLY	G	69	*56	gtt	VAL	G	69	*56	cct	PRO	P	69	*61	tca	SER	S
	70	59	gaa	GLU	E	70	*57	gaa	GLU	E	70	*57	ggt	GLY	G	70	*62	gga	GLY	G
	71	60	gtc	VAL	V	71	*58	agc	SER	S	71	*57A	ttc	PHE	F	71	*63	ctc	LEU	L
	72	61	ccc	PRO	P	72	*59	atc	ILE	I	72	*57B	aaa	LYS	K	72	*64	agt	SER	S
	73	*62	---	---	-	73	*	---	---	-	73	*57C	---	---	-	73	*64A	cca	PRO	P
	74	*63	aat	ASN	N	74	*60	aac	ASN	N	74	58	gac	ASP	D	74	*65	gga	GLY	G
	75	*64	ggc	GLY	G	75	61	ggt	GLY	G	75	59	aat	ASN	N	75	*66	aag	LYS	K
	76	65	tac	TYR	Y	76	62	ttt	PHE	F	76	60	ttc	PHE	F	76	*67	tat	TYR	Y

续表

TRBV					TRAV					TRDV					TRGV					
人类 TRBV6-5					人类 TRAV8-6					人类 TRDV2					人类 TRGV3					
FR3-IMGT	77	66	aat	ASN	N	77	63	gag	GLU	E	77	61	caa	GLN	Q	77	*68	tat	TYR	Y
	78	67	gtc	VAL	V	78	64	gct	ALA	A	78	62	ggt	GLY	G	78	*69	act	THR	T
	79	68	tcc	SER	S	79	65	gaa	GLU	E	79	63	gac	ASP	D	79	*70	cat	HIS	H
	80	69	aga	ARG	R	80	66	ttt	PHE	F	80	64	att	ILE	I	80	*71	aca	THR	T
	81	70	tca	SER	S	81	67	aac	ASN	N	81	65	gat	ASP	D	81	*72	ccc	PRO	P
	82		---	---	-	82	68	aag	LYS	K	82	66	att	ILE	I	82	*	---	---	-
	83	71	acc	THR	T	83	69	agt	SER	S	83	67	gca	ALA	A	83	73	agg	ARG	R
	84	72	aca	THR	T	84	70	caa	GLN	Q	84	68	aag	LYS	K	84	74	agg	ARG	R
	85	73	gag	GLU	E	85	71	act	THR	T	85	69	aac	ASN	N	85	75	tgg	TRP	W
	86	74	gat	ASP	D	86	72	tcc	SER	S	86	70	ctg	LEU	L	86	76	agc	SER	S
	87	75	ttc	PHE	F	87	73	ttc	PHE	F	87	71	gct	ALA	A	87	77	tgg	TRP	W
	88	76	ccg	PRO	P	88	74	cac	HIS	H	88	72	gta	VAL	V	88	78	ata	ILE	I
	89	77	ctc	LEU	L	89	75	ttg	LEU	L	89	73	ctt	LEU	L	89	79	ttg	LEU	L
	90	78	agg	ARG	R	90	76	agg	ARG	R	90	74	aag	LYS	K	90	80	aga	ARG	R
	91	79	ctg	LEU	L	91	77	aaa	LYS	K	91	75	ata	ILE	I	91	81	ctg	LEU	L
	92	80	ctg	LEU	L	92	78	ccc	PRO	P	92	76	ctt	LEU	L	92	82	caa	GLN	Q
	93	81	tcg	SER	S	93	79	tca	SER	S	93	77	gca	ALA	A	93	83	aat	ASN	N
	94	82	gct	ALA	A	94	80	gtc	VAL	V	94	78	cca	PRO	P	94	84	cta	LEU	L
	95	83	gct	ALA	A	95	81	cat	HIS	H	95	79	tca	SER	S	95	85	att	ILE	I
	96	84	ccc	PRO	P	96	82	ata	ILE	I	96	80	gag	GLU	E	96	86	gaa	GLU	E
97	85	tcc	SER	S	97	83	agc	SER	S	97	81	aga	ARG	R	97	87	aat	ASN	N	
98	86	cag	GLN	Q	98	84	gac	ASP	D	98	82	gat	ASP	D	98	88	gat	ASP	D	
99	87	aca	THR	T	99	85	acg	THR	T	99	83	gaa	GLU	E	99	89	tct	SER	S	
100	88	tct	SER	S	100	86	gct	ALA	A	100	84	ggg	GLY	G	100	90	ggg	GLY	G	
101	89	gtg	VAL	V	101	87	gag	GLU	E	101	85	tct	SER	S	101	91	gtc	VAL	V	
102	90	tac	TYR	Y	102	88	tac	TYR	Y	102	86	tac	TYR	Y	102	92	tat	TYR	Y	
103	91	ttc	PHE	F	103	89	ttc	PHE	F	103	87	tac	TYR	Y	103	93	tac	TYR	Y	
CDR3-IMGT	104	92	tgt	CYS	C	104	90	tgt	CYS	C	104	88	tgt	CYS	C	104	94	tgt	CYS	C
	105	93	gcc	ALA	A	105	91	gct	ALA	A	105	89	gcc	ALA	A	105	95	gcc	ALA	A
	106	94	agc	SER	S	106	92	gtg	VAL	V	106	90	tgt	CYS	C	106	96	acc	THR	T
	107	95	agt	SER	S	107	93	agt	SER	S	107	91	gac	ASP	D	107	97	tgg	TRP	W
	108	96	tat	TYR	Y						108	92	acc	THR	T	108	98	gac	ASP	D
	109	97	---	---	-											109	99	agg	ARG	R