



神奇的總象

智慧的海洋

中國生物物理學會

神奇的海马 智慧的海洋

贈送中法。

有明

90.6.27.

中国生物物理学会

本书在编辑过程中得到了林克梅、沈淑敏、王书荣、郑竺英、郑荣梁、陈润生、曲直、施永德、金厚家、金少真、王力等专家及中国科协科普部的关心和大力支持,在此一并感谢。

中国生物物理学会
教育普及委员会

神奇的海马 智慧的海洋

责任编辑:李瑞雯

编 辑:朱晓敏 张 崑

文中插图:张 崑

版面设计:翟 琪

写在书的前面

中国生物物理学会教育与普及工作委员会很早就想编一本比较通俗地介绍生物物理学在各方面实际应用的书,其目的就是希望更多人能了解:什么是生物物理学?为什么需要发展这门学科?它在实践中有什么意义和价值?我们希望通过一个一个的实例来说明这些问题,而且写成具有科学性、普及性,最好还有趣味性的文章。这一倡议得到了许多生物物理学工作者的赞成与支持,但是由于不少学者工作都很忙,而且很多人过去没有写科普文章的经验,为此他们花费了不少时间和精力。这本书就是从全国各地送来的文章中选择了一部份编辑而成的。有些文章没有入选,或者是因为和生物物理这门学科距离较远,或者是因为其实际应用还在实验阶段,还没有十分把握向读者介绍(特别是和人体有关的问题)。不论是否入选,我们都要向全体投稿者表达我们的谢意,因为他们都非常认真而且热情地支持了这一征文活动。我们也希望,在不久的将来能有更多的同志支持这个活动,使这个“选编”能以第二集、第三集等更多更好的内容和读者见面。

什么是生物物理学?这的确是难以用几句话简单而明确地回答的一个问题。有人甚至说过这样的话:假如你向100位生物物理学家提出这个问题,你可能得到100种不同的回答。为什么会造成这种情况呢?这和生物物理学工作者原来从哪个专业出身有关,和生物物理学确实涉及到生命科学的每一个领域有关,还和廿世纪科学技术的飞速发展,学科间的交叉以及新学科雨后春笋般地出现有关。仁者见仁、智者见智,如果只从某一个方面、某一个角度来看待,当然就会出现许多不同的看法。因此我们必须从许多种回答中归纳出共同点,找出最具有普遍意义的一种回答。如果我们用一句话来归纳,可以说生物物理学就是生命的物

理学,正如同生物化学是生命的化学一样。也许这个说法过于笼统了,稍微再加一点解释,不妨认为生物物理学是运用物理学的理论、方法和技术研究生命物质的物理性质和生命现象的物理运动规律的一门学科。这种回答概括性比较强,它既可以包括微观的、从分子甚至电子水平来研究的生命问题,又可以包括宏观的、从热力学、控制与信息的角度来研究的诸多现象。在这本小册子中,这两方面都有所反映,当然,还远不是很全面,这有待今后继续加以补充。

也有一些同志认为,生物物理学是一门基础学科,有它的必要性,但是要在实际工作中加以应用却是很遥远的事。这话不无道理,甚至我们许多从事生物物理学工作的学者也有这种看法。应该说,生物物理学的出现,为生命科学的基础研究提供了更深入探索的条件,这是很重要的方面。但是只要机理研究有了进展,很快就会在实践中找到应用的途径。比如人们了解到核磁共振现象是和原子核的磁矩有关的,因此把它用到生物对象应该可以得到有关活体代谢的信息,这就是无损活体测量的应用;而且如果把不同部位的氢原子想办法区别开来,就有希望对体内脏器进行窥测,这就是核磁成像。这种技术目前已经相当广泛地在医院应用了。甚至有些机理还没有完全弄清楚,只要掌握规律,也并不妨碍其在实际中的应用。比如光复活作用(“起死回生有妙方”)、光生物技术在农业、畜牧业中的应用、动物的声通讯、生物节律等等。这本小册子就是专门为了说明生物物理学在各方面应用——包括基础研究与实际应用——的一次尝试。我们这样做,是为了使更多人能理解这门学科是有生命力的,是能 and 许多兄弟学科并肩作战,来揭示生命现象的奥秘、并造福于人类的。当然,尽管我们有良好的愿望,但并不等于工作就做好了。我们还将不断努力,发掘并提高质量。同时我们也欢迎来自各方面的批评与帮助,把它看作对我们工作的积极支持。

中国生物物理学会
教育与普及工作委员会
1990年5月

目 录

写在书的前面

- 神奇的海马智慧的海洋 陈惟昌 (1)
- T淋巴细胞的遭遇 沈淑敏 (8)
- 血液具有含羞草的本领——触变性 施永德 (11)
- 衰老的自由基学说 郑荣梁 (14)
- 催化性抗体 江 波 (20)
- 细胞“能力站”——线粒体的研究与应用 杨福愉 (25)
- 流式细胞光度术与医学问题 苏雅娴 (32)
- 细胞表面电荷和疾病 施永德 (36)
- 细胞电穿孔作用——生物物理工程新技术 汪和睦 (40)
- 搭起光学显微镜与电子显微镜之间的桥梁 范 明 (45)
- 显微镜家族中的新成员——扫描隧道显微镜 苏雅娴 (48)
- 一种新型的葯物“导弹”系统——脂质体机制 张志鸿 (55)
- 新型的葯物载体——靶向脂质体 聂松青 (59)
- 突触学——揭示脑奥秘的一个关键 吴馥梅 (65)
- 大脑的衰老和中老年人脑保健 宋 采 (71)
- 双眼立体视觉 姚国正 (80)
- 神经网络与神经计算机 汪云九 (87)
- 动物声通信研究及其应用 沈钧贤 (94)
- 超声生物物理学应用花开结硕果 金树武 (98)
- 物理与水生生物 章之蓉 (103)
- 光生物技术在人参产业中的应用 唐树延 (109)
- 光照促进动物生产率及其未来前景 吴 建 (115)
- 光敏技术与疾病治疗 张志义 (121)
- 发光免疫测定法的贡献 林台城 (126)
- 光敏化作用 程极济 (131)
- 起死回生有妙方 董勳章 (135)

紫膜及其生物芯片	胡坤生(138)
生物发光的机理和应用	胡天喜(144)
让静电生物效应为人类造福	梁运章(152)
这样理解“心电轴”对吗?	曲直(156)
人脑有磁场吗?	吴本玠(160)
人体磁场的探测和医学应用	杨文修(165)
无损伤的活体核磁共振研究	程伯基(172)
核磁共振成像	林克椿(178)
利用人体电磁辐射探测乳腺癌	牛中奇(185)
香烟·射线·肺癌	韩刚毅(191)
鸟类的“墨镜”	王书荣(193)
仿生与军事	张建华(198)
生物节律	刘文龙(204)

神奇的海马·智慧的海洋

陈惟昌

(中日友好医院临床医学研究所 教授)

在人的大脑半球的深部,埋藏着一块像小指头大小的结构,拖着一条长长的尾巴,形状和中药店里陈列的海马十分相像,科学家就形象地把这一小块结构称为海马(图1)。

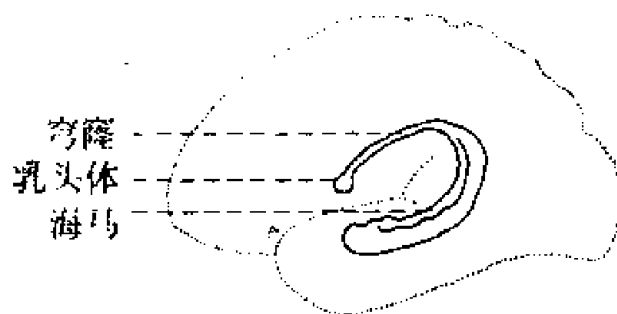


图1 大脑内部的海马

起初,科学家对海马的功能感到迷惑不解。它深深隐藏在大脑的内部,和外界环境似乎很少直接联系。因此有人曾经设想,它可能和人的喜怒哀乐等情绪活动有关。但这一猜想缺乏有说服力的实验依据。后来有一位名叫 Kaada 的神经生物学家,他把大鼠的海马破坏以后,大鼠就丧失了学习和记忆的能力,再不能像正常大鼠那样会闯迷宫寻找食物了,而且还会把已经学会的闯迷宫的本领,也忘记得一干二净。Kaada 的发现,立即引起许多科学家对海马的研究兴趣。有的科学家发现,人年纪老了就会出现记忆力减退,其主要原因是海马出了问题。老年人的海马神经细胞中,堆积了不少褐色的脂褐素,就象仪器的元件生锈那样,运转不灵了。还有一些记忆力严重减退的老年人,脑中海马里面的神经纤维,互相缠绕,扭结成团,就象把电子计算机内部的电缆线拧断搞乱一样,完全丧失了信息传递与加工的能力。这些老年人就和呆傻的小孩子一样,连自己的亲人都

不认识，吃饭和睡觉都得由别人来照顾。文献上还有过报导，有的病人在海马部位长了肿瘤，当医生把海马连同肿瘤一同切除以后，病人就得了健忘症，刚告诉过他的事情，一转眼就全忘记了。这些实例都足以说明，海马是学习记忆的关键部位，是知识智慧的宝库。特别值得强调的是，一些酗酒的人往往出现慢性酒精中毒，表现为严重的学习和记忆功能的障碍，其主要损伤的部位就是海马。所以大量饮酒对海马的记忆功能是十分有害的。

也许有人会问，以上的例子都是一些病人的表现，有没有直接的证据足以证明，当正常人在学习和记忆活动时，海马的确是直接参与执行记忆的功能呢？这样的实验证明相当困难。后来在1982年美国一位生物物理学家 *Phelps* 用正电子断层图的方法解决了这一难题。正电子断层图(*PET*)是一种新型的研究脑功能活动和代谢过程的仪器。它是将能发射正电子的同位素氟18标记的脱氧葡萄糖注射入人体内，就可以用检测器结合电子计算机断层成像的方法，显示出脑内各个部位的不同功能活动状态的图象。*Phelps* 的实验结果表明，当正常人在听故事并努力回忆故事的内容时，海马的葡萄糖代谢率明显增高，表明海马的功能活动比安静时大大增强。在进行实验时，免不了有个别的人心不正焉，思想开小差，不用心听和记。这时如果告诉他如他能回忆大部份的内容时就给他一笔奖金作为报酬，这时被试人就会十分专心听讲与回忆，同时，在 *PET* 图象上可以看到海马处于高度兴奋与积极活动状态。*PET* 的实验结果，是海马参与学习与记忆的直接证据。

但是，只知道海马是从事学习与记忆的关键部位是远远不够的。进一步应该深入研究海马是通过什么机制来实现这一重要的功能。目前科学家趋向于把人的记忆大致分成两大类：一是技巧性记忆，二是联想性记忆。技巧性记忆又名运动性记忆，其具体的例子是，比如我们学会骑自行车或游泳之后，就会记住不忘。这种记忆的关键部位在小脑。联想记忆是指两种或两种以上的内

容经过综合之后形成新的联系而产生的记忆。目前大多数神经生物学家都认为,海马是联想记忆的关键部位。海马和小脑在结构上有许多相似的地方,例如,他们的细胞都呈分层的排列,细胞的分布都表现为规则的点阵,各层细胞之间都有很丰富的神经纤维侧支,把许多神经元互相连系,形成多层次的复杂的神经回路网络。海马和小脑都有特殊的“苔状纤维”(Mossy fibers),这是脑的其他部位所没有的独特结构。苔状纤维中包含有若干个神经元的突触终末,组合在一起形成复杂的突触集群,这些突触群之间,互相作用、互相影响,从而实现神经信息的加工和存储(图2)。

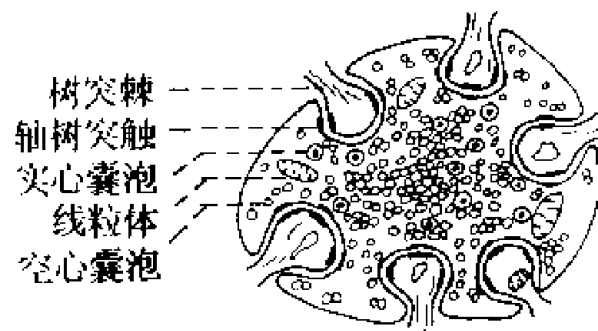


图2 苔状纤维突触集群

所有这些特点,都使神经生物学家对海马产生极大的兴趣。目前对海马神经元网络信息加工机理的研究已成为当前生物科学研究的前沿领域之一。

海马是怎样进行记忆的?记忆的物质基础是什么?信息是通过什么方式进行编码的?信息是通过什么方式写入和回忆与重现的?这些问题,目前都还没有明确的结论。目前有些人这样认为:海马既是大脑信息的存储器,就应有信息输入通路,信息的存储载体和信息的传出通路。现在我们稍为详细地介绍一下海马的主要内部构造(图3)。海马的传入通路叫做“穿通纤维”,外环境和内环境输入的信息,经过大脑其他部位加工与整理之后,即由穿通纤维通路送入海马。海马还接受来自“隔神经核”来的“隔海马纤维”,实验证明隔海马纤维与海马的节律活动有密切关系。海

马内部的神经元可分为齿状回、 CA_1 、 CA_3 三个主要部分。齿状回神经元的胞体为圆球形，叫做颗粒细胞， CA_1 和 CA_3 中多数的神经元呈圆锥形，叫做棱锥细胞，颗粒细胞和棱锥细胞都是兴奋性神经元，此外还有少量的抑制性神经元如花篮状，称为篮细胞。

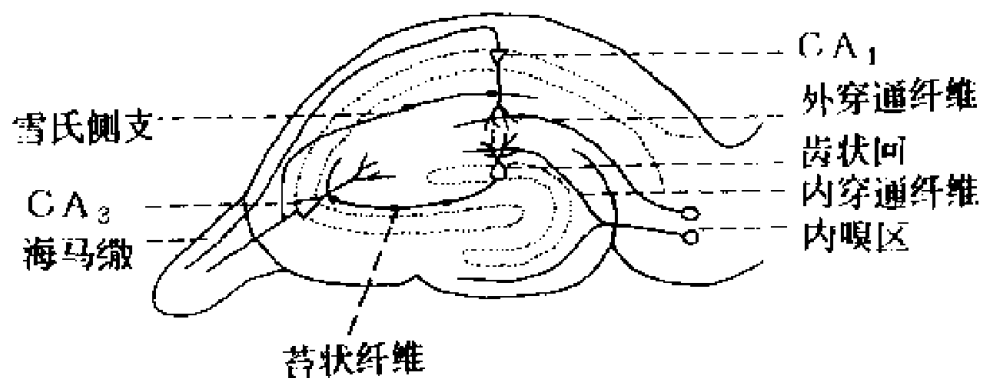


图3 海马的纤维连系

胞。根据我们的观察，棱锥细胞和篮细胞的数目之比约为 30:1。棱锥细胞和齿状回颗粒细胞都呈六角形的点阵排列，十分规则，穿通纤维进入海马之后，分为两部分，一部分止于 CA_1 ，而另一部分则止于齿状回。齿状回的轴突组成苔状纤维，止于 CA_3 ， CA_3 又通过神经元的侧支止于 CA_1 。为什么穿通纤维分成两部分最后都到 CA_1 ？这一问题引起许多猜测。有的人认为，这两部分的输入信息可能是起互相印证的作用，好比全息照相那样，一路是参考对比光束，另一路是经过调制的带有信息的光束，二者相互对照，相互作用，从而输出正确的信息。也有一种可能是，新异的信息经过齿状回这条途径进行处理和存储，而由穿通纤维到 CA_1 的输入可能是一种回忆的提示性输入，用以提取海马中已经有的记忆信息。当然这些都是些假设，还需要进一步的实验证实。 CA_3 和 CA_1 都发出纤维，大部分形成海马内部的连系，另一部分离开海马到达丘脑下部，这一束传出神经纤维称为“穹隆”，穹隆的神经纤维总数不足棱锥细胞总数的 20%。从功能连系上看，海马已经具备信息存储器的必要条件：穿通纤维是信息的输入总线，止于

CA₁的穿通纤维可能是回忆的提示性输入;穹窿是信息的输出总线,隔海马纤维为海马的时钟输入线,海马内部神经元呈十分规则的六角形点阵排列,彼此以丰富的侧支形成复杂的回路网络;这一切都与计算机中的信息存储器比较相似。

关于海马信息存储的物质基础目前比较普遍的看法是存储在突触的分布和连系的模式之中。现在已经有些实验事实证明,当两种刺激同时输入到海马的神经元时,经过若干次的重复训练之后,可以改变突触的连系强度,使突触后电位比学习前增强150%到300%。而且这种长程的增强效应(LTP)可以维持数小时直至几个星期。LTP的分子生物学基础是在海马神经元突触上有一种能和谷氨酸相结合的NMDA(N-甲基-D-天门冬氨酸)受体。这种特异的受体分布在突触后膜上,它是一种特殊的离子通道蛋白,因为它能特异地和N-甲基-D-天门冬氨酸结合,所以把它称为NMDA受体,它既受电压的调控也同时受神经递质(如谷氨酸、甘氨酸、N-甲基-D-天门冬氨酸等)的控制。只有当动作电位到来而谷氨酸又同时从突触前膜释放并与受体结合之后,NMDA受体才起作用,并打开离子通道,让钠离子和钙离子由细胞外流入细胞内,产生突触后电位;而钙离子的内流又通过第二信使系统,触发一系列的生化反应,促进蛋白质的合成和一些特殊基因的表达,通过这些生化反应,可能促进合成更多的受体蛋白,增加突触的神经递质生成总量,进一步增强突触的连系强度。所以有人称NMDA受体是学习记忆的关键物质。LTP和NMDA受体的发现是最近对海马记忆功能研究中取得的极其重要的新进展,它使学习与记忆的物质基础的研究建立在确实的分子生物学的机制之上。

神经信息在海马神经元的突触之中以什么方式进行编码和存储的?目前对此尚不十分清楚。现在初步的看法是通过突触的不同连结强度的分布对信息进行编码与存储。这一观点的来源,主要是受到目前很流行的“神经元计算机”研究的启发。最近几年来,Hopfield发表了一系列关于神经计算机的理论和实验研究

工作,大大推动这一领域研究的进展。所谓神经计算机是一种完全不同于目前的 *Von Neumann* 式的计算机。目前现有的计算机其存储方式是按物理地址寻址的,信息与信息之间很少发生连系,而且其运算方式是串行式的,必须按照预定的程序,一步一步来运行;而神经计算机的大量元件,通过广泛的“突触”连结形成复杂的神经网络,它的运行不需要预定的程序,而是进行并行式的信息处理,自动运行;它的信息存储不是局部地址的而是呈分布式的存储,亦即它不仅局限于某一个局部地址而是涉及全部的元件,每一个信息都与全部元件有关,而每一元件又都与所有的信息有关,和光学的全息照片有些相似。它的寻址方式是按存储的内容寻址而不是按地址进行寻址;即使输入不完全的提示信息也能从神经计算机中提取出完整的信息。神经计算机不仅运算速度快,而且还能解决某些在常规计算机上认为十分难解的非线性问题,如推销员问题以及空气动力学中的非线性问题的求解等。神经计算机的连结方式和原始思路,来源于海马神经回路的研究,而它取得的成果又必将对海马的研究起推动作用。根据 *Hopfield* 理论,可以这样认为,在进行学习时,各种有关的信息,经过穿通纤维输入到海马,使得有些神经元的突触兴奋,或另外一些神经元的突触抑制;这些作用通过 *NMDA* 受体与 *LTP* 的作用得到增强与保持,形成特定的突触连系强度的分布模式。不同的记忆组元 (*engram*) 则以不同的分布模式加以表示。用 *Hopfield* 的理论来叙述,不同的突触连系强度的分布模式组成分布不均匀的高低不同的计算能量 (*Computational energy*) 曲面,能量高的区域形成山峰,有的地方能量低洼形成山谷,这些山谷称为吸引子,就好像低洼的山谷能把水吸引过来一样;这些不同的许许多多的山谷就代表不同的记忆组元。当出现回忆的提示输入时,记忆系统就像水向低处流一样自动地转入局部低洼的势能谷(吸引子),从而根据内容而自动将记忆重现,这种寻址方式称为按内容寻址 (*Content addressable memory*),以区别于普通计算机的按地址寻址方式。

所以通过学习和记忆,海马的神经元网络经常改变其突触的连系强度,使其计算能量分布曲面相应地发生变化,形成新的记忆组元;而当回忆时,通过提示信息的输入,海马将自动进行记忆内容寻址,进入相应的势能谷而将记忆的内容提取,再经信息的输出总线——穹窿——读出。*Hopfield*的理论在神经计算机中已得到验证,但在海马中是否一定如此,目前尚处于推测阶段,还缺乏必要的实验证明。从这一理论出发,可以预期:一些干扰突触连系强度形成的因素,如电休克,突触递质的抑制剂,影响蛋白质合成的药物,抑制核酸代谢的药物等都可以影响记忆的形成和巩固。这些已有不少实验事实加以证实。但海马神经元之间如何通过突触连系的改变来反映我们对客观世界的认识过程,海马如何成为我们知识的宝库、智慧的海洋的确切机理,还需要作大量艰苦细致的工作,才能逐步加以解决。

对海马记忆机理的深入研究不仅有重大的理论意义,而且也有实际的应用价值。一方面,通过研究增强记忆药物的方法,可以解决一些健忘症病人的治疗问题以及延缓老年人记忆的衰退过程,而且还可进一步开发海马的学习与记忆功能,促进人类智能的发展。而另一方面,深入研究海马信息加工、储存和搜索提取的机制,将对设计与研制新型的电子计算机有重要的参考价值。目前,*Hopfield*提出的神经计算机模型,仅仅模拟了海马功能中的一小部分,还需要进一步深入与完善。可以预期,人工智能的发展,将从神经生物学的研究成果中吸取必要的思路,创造出智能度更高,更接近于人脑工作原理的电子计算机,从而为未来生产力的飞速发展作出重大的贡献。

T淋巴细胞的遭遇

沈淑敏

(中国科学院生物物理所, 研究员)

我的名字叫 T 淋巴细胞, 我是人体内免疫系统这个大家族的一个成员。我和我的长辈胸腺、脾脏、扁桃腺和散居各地的淋巴腺(淋巴结)等淋巴器官, 和我的同辈 β 淋巴细胞、巨噬细胞、浆细胞等一起担负着人体的保卫工作。

我和我的同辈兄弟姐妹都在骨髓中由骨髓母细胞孕育生长。幼年时我独自离开母亲, 告别兄弟姐妹, 来到外婆胸腺家发育成长。在那里我学会了许多本领。免疫的核心是对“非己”的识别, 这种识别能够记忆, 当某个“非己”第二次来犯时, 能正确无误地认出它来, 对付它也就更容易了。我就学会了这种本领。离开胸腺后, 我随血流飘游, 然后定居在某个淋巴器官。在这里我又遇到我的亲兄弟 β 淋巴细胞。我们一起定居在这里。 β 在外间, 我在中央, 平安无事, 不活动也不分裂, 一直等到有外来物(抗原)的袭击。

我还清楚地记得我的第一次与敌人的战斗。我的主人不慎把手指割破了, 空气中的化脓性细菌乘机混入了血液。细菌进入了血液就像进了安乐窝, 这里营养丰富、温度合适(37°C), 细菌以每 20 分钟一代的速度繁殖出一代又一代的子孙来。但是就在它们进入血液的一刹那, 我就把它们认出来了, 并紧紧咬住不放。因为我有三个亚型, 我的胞毒型(Tc)可以使细菌受伤, 然后我的表兄巨噬细胞能把它们吞下。我的这种本领是因为我的 Tc 亚型的细胞表面有个武器——一种称为“I 型主要组织配位复合体”(MHC I)的蛋白质, 它能直接杀死细菌于它们繁殖之前。我们消灭了入侵的细菌, 第一次出击成功了。

要识别成千上万“非己”抗原并一一记住对我和我的兄弟 β

细胞来说并不困难,就好像我们身上有一台大容量的计算机。其实我本身大小只有 5μ 左右,那么我们是怎样识别的呢?我们靠的是表面上某些蛋白质分子的结构特性来完成的。这种可变结构又是受控于遗传物质 *DNA* 序列的细小变动。以我兄弟 β 细胞表面受体(能咬住抗原部位)来说,这部位叫抗体,它的主要结构由免疫球蛋白组成,它的基本结构已搞得很清楚。它是由四条氨基酸组成的多肽链,两条是轻链,约由 220 个氨基酸组成。两条是重链,由 330 或 440 个氨基酸组成。四条链由双硫键相连呈 Y 形。抗体的识别十分专一,凭这四条链怎么能识别千千万万个不同的抗原呢?原来在 V 型地区的两个分枝上,每个枝有三小段氨基酸序,十分容易变异,称作超变区,这超变区正是抗原的结合部位。也就是说这轻链的超变区正是识别的分子基础。实际情况还要复杂得多,比如轻链就有 k' 与 λ 两种类型,重链则有 α 、 γ 、 ϵ 、 δ 、 μ 五个类型。在我的表面受体,识别的分子基础大体差不多。

说实在的,对细菌这类抗原我不太怕,我有把握战而胜之。但我怕病毒,尤其是逆转录病毒。它入侵之后抢过寄主的全部装备,由它来指挥和操纵机器,这样生产的已不是寄主所需要的一切,而是它想怎么干就怎么干,怎样对它有利就怎样干。它有一件法宝,它入侵的同时带了这一种工具叫逆转录酶,凭借这种工具它能顺利地完成它的使命。不幸的我第二次被袭击就碰上的是它。当时一个名叫 *HTLV - I* 型的逆转录病毒袭击了我。它是 1978 年第一个找到的人类逆转病毒——称人类 T 细胞亲淋巴性病毒。它通过控制了 my 的第二个亚型 Ts (抑制免疫性),使我无限制地繁殖,我已成倍地超过我应有的正常值,这样便导致主人患了白血病(血癌)。我被这种逆转录病毒 *HTLV - I* 控制后,不断繁殖,欲罢不能,眼看主人由于我的急剧增多,病情愈来愈严重。感谢人类已初步掌握了治疗白血病的方法,终于控制了病毒的猖獗行径,同时把我从疲于奔命的困境中解脱出来,我又一次死里逃

生了。

最近,我最后一次遇险并正处于坐以待毙的境地,我再次遭到逆转录病毒的袭击。这次袭击我的是一个叫 *HTLV-III* 型的家伙。它抓住了我的要害部门,我的膜上有一个由两个亚基组成的糖蛋白,*HTLV-III* 控制了这两个亚基活动起来了。活动的后果是我的第三个亚型 *Tn* (辅助型)发不出信号给 β 淋巴让 β 淋巴制造抗体,同时把我的表面搞得千疮百孔并在我体内繁殖直到吸干我的血。我的同伴在大量死亡,使我的主人对任何感染都没有一点抵抗力。眼看主人呆滞、抑郁、感冒导致肺炎,命在旦夕。这该诅咒的 *HTLV-III* 和它所导致的爱滋病。现在,人们正在加紧研究病的来龙去脉,病毒的性状行为,但人们对它们的认识毕竟只是从 1982 年才开始,而 *HTLV-III* 的变种又很多啊!

这次我是无法逃生了。在临终之前,首先我要忏悔。尽管我对人类是有贡献的,但也有缺陷。比如由于我对“非己”的一概排斥,给今天医学上的好事——组织、脏器移植带来了极大的麻烦。希望人们再解剖我,研究我,从亚分子、分子及超分子水平上剖析我的结构。从事生命科学的同志们,尤其是从事生物物理学的同志们,生物与各种内外环境因子打交道时第一个回合总是物理过程,由于这个过程非常短暂而不易捕捉,所以要不断提高各种测试装置的精密度与灵敏度、专一性与直观性。在分子生物物理领域有那么多的结构工作需要。比如这个爱滋病病毒,它的蛋白外壳就像一个足球上的一块块球皮,把 12 个五边形和 20 个六边形缝在一起组成球形,而最关键的糖蛋白 *gp120* 分子在每个六边形的角上和中央各有一个,一共 80 个。它们是怎样抓住我,缴我的械的? 在微观结构上再深入下去,最终人们会驾驭它的。给我针对性的武器,我会更好地为人类服务的。