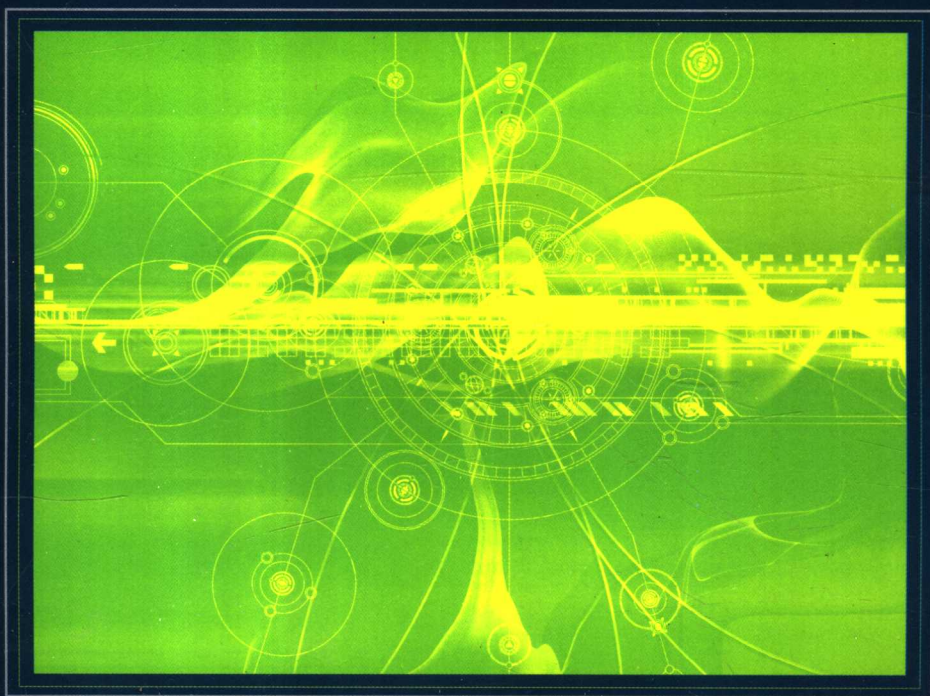


(美) John K. Chapin Karen A. Moxon 著

感官及运动功能 重建的神经修复技术

NEURAL PROSTHESES FOR RESTORATION
OF SENSORY AND MOTOR FUNCTION

刘自鸿 宋欣东 张若昕 译
王志华 审



国防工业出版社

National Defense Industry Press

NEURAL PROSTHESES FOR RESTORATION OF
SENSORY AND MOTOR FUNCTION

感官及运动功能重建的 神经修复技术

(美)约翰 K. 切宾 卡伦 A. 莫克森 著
刘自鸿 宋欣东 张若昕 译
王志华 审

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

很多人看过美国很受欢迎的科幻电视系列片“Six Million Dollar Man”,中文翻译为《无敌金刚》。该系列片的主角受重伤后,科学家和医务人员通力合作,利用高超的电子技术和医术,改造了他身体的部分器官,使他成为外表与常人无异、而实质上却具有超人力量的人。人类很难真正创造出电影《无敌金刚》中展示的人,但是人造神经系统可能很快就能用于有神经系统的伤害或疾病的病人。本书提供了人造神经系统相关的最新技术和应用情况。全书由两部分组成,第一部分详细介绍了现阶段应用最成功的人造感官与运动器官装置,特别讨论了这类装置现阶段的应用情况以及随技术发展这类装置改善的可能性;第二部分探索了一种新的研究领域,即采用植入大脑的设备、控制假肢等功能修复性装置或者人工再建神经系统。

著作权合同登记 图字:军-2005-038号

图书在版编目(CIP)数据

感官及运动功能重建的神经修复技术/(美)切宾(Chapin, J. K.),
莫克森(Moxon K. A.)著;刘自鸿,宋欣东,张若昕译. —北京:国
防工业出版社,2007.11

ISBN 978-7-118-05369-2

I. 感... II. ①切... ②莫... ③刘... ④宋... ⑤张... III. 神
经系统—修复术 IV. R651

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 145452 号

NEURAL PROSTHESES FOR RESTORATION OF SENSORY AND MOTOR FUNCTION

Edited by John K. Chapin Karen A. Moxon © 2001 by CRC Press LLC All Rights Reserved Authorized translation
from English language edition published by CRC Press, part of Taylor & Francis Group LLC.

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

※

开本 787×1092 1/16 印张 13½ 字数 320 千字

2007 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—1500 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

译 序

信息时代催生了许多前所未有的崭新领域,健康和医疗定是未来科学技术发展的主要驱动。脑机接口不但是研究神经和认知科学的主要技术支撑,而且可能是实际未来电子信息产业和健康医疗领域的重要驱动。随着信息技术的进步,传统医疗设备与数字消费电子以及无线产品正在走向融合,这些产品的尺寸不断缩小、重量更轻,还增加了更多功能,并可连接到无线网络。这标志着医疗电子设备的消费化,它们正在走出医院和医生的办公室,进入其他渠道。

神经修复和脑机接口的研究正是这种电子学与生命学科研究的重要交叉学科,它已经成为 21 世纪人们解决神经健康问题的主要途径,也是目前神经工程学研究中最热门的课题之一。它的发展同时也引导了电子学和微电子学的发展。

脑机接口是指在人脑与计算机或其他电子设备之间建立的直接交流和控制的通道。通过这种通道,人可以直接通过大脑对外界进行控制,而不需要通过语言或肢体的动作。美国布鲁克林纽约州立大学健康科学中心的 Jonh K. Chapin 教授,和 Drexel 大学的生物医学工程和科学健康系统学院的 Karen A. Moxon 助理教授共同编辑完成了“Neural Prostheses For Restoration of Sensory And Motor Function”(即《感官及运动神经功能和重建的神经修复技术》)一书。书中分两部分:第一部分描述了感官与运动功能的神经修复技术,包括听觉修复,使用多种刺激神经组织的神经接口装置刺激肌肉、神经纤维甚至脊髓内神经元完成肢体动作,以及使用神经接口进行刺激,记录及调节神经活动,同步提取大脑神经行为并用以控制机器装置等。第二部分讲述了神经修复的大脑控制技术,包括人工神经控制的脑机接口设计,以及使用植入设备记录神经信号,然后利用它们进行神经功能修复等。可以看出,微电子技术和神经工程技术的结合,对神经患者的功能修复具有极其重要的意义。此书为人们对神经修复和脑机接口的研究提供了有力帮助。

为了更好地帮助大家借鉴此书,了解神经恢复和脑机接口技术,促进人们对微电子学和神经工程学等交叉学科的研究,在国家自然科学基金项目“脑—机交互控制 SOC 中的关键问题研究”(项目编号:60475018)的支持下,清华大学微电子学研究所王志华教授主持翻译了此书。其中,刘自鸿翻译了引言、第 1 章、第 6 章和第 7 章,张若昕翻译了第 2 章、第 4 章和第 8 章,宋欣东翻译了第 3 章、第 5 章和第 9 章。全书的翻译由王志华教授审校。

鉴于译者水平所限,对翻译不妥之处,敬请读者批评指正。

译者

2006 年 10 月于清华园

关于著者

约翰 K. 切宾(John K. Chapin)是布鲁克林纽约州立大学健康科学中心的生理学和药理学教授。他出生在科罗拉多州首府丹佛,在俄亥俄州的安提俄克学院(Antioch College)获得学士学位,此后在纽约罗彻斯特大学(University of Rochester)获得生理学博士学位。他的论文证明了大脑内单个神经元的躯体感觉反应相对运动期望是有偏差的。1980 年他的博士论文获得 Donald Lindsley 奖,成为行为科学方面的优秀博士论文。他曾经在达拉斯的得克萨斯大学(University of Texas)西南健康科学中心当过助理教授,此后在费城 MCP 哈内曼大学(MCP Hahnemann University)做过神经生物学的副教授、教授。他参加了在清醒条件下提取并记录动物大脑中大量神经元活动行为的技术研究。这项工作使得他完成了最新的演示实验:动物能够只通过大脑信号学会控制机器人设备,这些信号是从运动神经皮层和其他区域上的大量神经群记录中解析出来的。

卡伦 A. 莫克森(Karen A. Moxon)在密歇根大学(University of Michigan, Ann Arbor)获得她的化学工程学士学位,在科罗拉多大学(University of Colorado)航空工程系获得系统工程博士学位,1995—1999 年在科罗拉多大学健康科学中心和 MCP 哈内曼大学作研究工作,此后在神经生物和解剖学系担任研究助理。2000 年,Moxon 博士加入 Drexel University 生物医学工程科学与健康系统学院,任助理教授,同时还在 MCP 哈内曼大学药学院兼任助理教授。

引言

长期以来,在电子设备与神经系统间建立接口的可能性研究吸引了大量科学家、工程师和医师。一般而言,任何扩展大脑与机器间通信带宽的方法都会带来众多有趣的可能性,包括从快速人机(human-computer)接口到直接遥控(如心灵遥感)。在医学上,神经修复领域的研究进展迅速,产生了多种刺激神经组织的装置。本书第1章~第5章描述了这些装置在中枢神经系统、外周神经系统以及肌肉组织中的应用和展望。未来研发中最让人具备的领域之一是同步提取大脑中神经元的活动并用以控制机器装置。第6章~第9章研究了使用植入式设备记录神经信号在科学研究和临床上的可能性,然后利用它们进行神经功能修复。这两项技术的结合,对瘫痪患者的功能修复具有尤其重要的意义。例如,颈椎脊髓受伤便会中断从大脑发至手臂的动作命令,同时也会中断从手臂反馈回大脑的感官信息流。

如图1所示,“神经机器人”的新兴技术尝试从大脑运动控制区获取运动命令并转换为适合于控制机器人装置的电信号。人们已经知道,在人类大脑皮层的中央前回的初级运动皮层对控制肢体的自主运动非常重要。因此,提取运动神经皮层中控制肢体运动的信号,并且利用这些信号来直接驱动与人体构造相似的机器人肢体是可能的(第7章与第8章)。最近已经成功地在老鼠身上演示了这种神经机器人控制技术的可行性,类似的研究目前正在猴子身上开展。

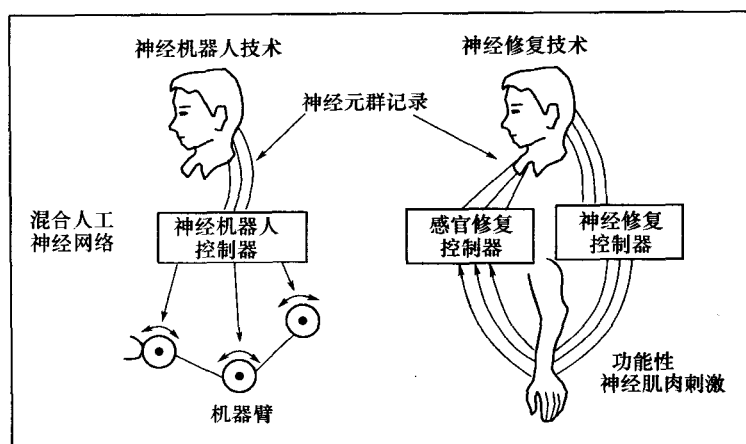


图1 神经机器人与神经修复技术

“神经机器人”是指通过利用脑中产生的信号来控制机器人设备。这是一幅假想的示意图,将记录电极阵列用外科手术植入到大脑中的运动皮层和联合区域,来提取脑中的运动信息。一个实时的计算装置(这里是一个神经网络)可以将多通道的神经信息转化为适合于控制

仿人机器臂的输出控制信号。“神经修复”主要是指用电刺激(激励)的方式来人为重建神经或肌肉组织的功能。第2章和第3章阐述了现有的应用功能性神经肌肉刺激(FNS, Functional Neuromuscular Stimulation)来激活麻痹肌肉的一些方法。像图示的这样,可以用脑中产生的信号来提取命令信号给FNS系统来控制麻痹手臂上的肌肉。在神经机器人的示例中,需要一个实时的计算装置来将多通道的脑信号转化成对FNS足够的输出信号来激活若干上肢肌肉并协调它们的运动。此外,人们强烈渴望得到从手臂上神经传回的感觉信号来回馈感觉信息到大脑中。这会给修复装置提供“闭环”控制,让大脑更好更精确地控制手臂。

神经修复技术的研究还有另外一个方向,通过肌肉或肌肉神经的功能性电刺激(FES;也称为功能性神经肌肉刺激,FNS),可以形成一种瘫痪患者运动功能修复的新方法。例如,现行使用的装置通过对前臂肌肉组织进行功能性电刺激,可使瘫痪的手实现抓取动作。这些装置可以通过身体其他部位的运动进行控制,如未瘫痪一侧的肩臂。

这些尽管是对未来的设想,神经修复技术已经迅速成为对很多神经系统损伤或患病的残疾人可行的治疗方案。例如,已经有30000多个听觉修复装置成功地应用于耳聋患者;150多个功能性电刺激装置用以恢复那些丧失上肢运动功能的患者的抓取动作(第2章和第3章)。本书介绍了多种不同的神经装置,也介绍了感官和运动功能修复设备研究的最新进展。书中各章旨在综述当前神经修复技术,即利用电信号刺激神经和肌肉组织来重建感官和运动功能。该领域在过去的十几年内发展迅速。神经修复装置包括修复运动神经功能的外周神经刺激,修复感官系统的刺激电极(比如听觉修复),以及直接植入大脑用于控制上述修复装置的器件。

本书共分为两个部分。第一部分详细讲述了一些可行的、最成熟的感官和运动功能修复技术;第二部分展示了利用脑信号控制神经修复装置,或者控制外部装置用以修复感官和运动功能的最新研究状况。在第一部分中,第1章综述了非常成功的人工听觉修复装置。这种装置目前广泛被植入于神经系统受损的患者体内,在修复听觉方面相当成功。第2章~第5章探讨了利用功能性电刺激进行运动控制功能恢复的不同方法。第2章和第3章介绍了目前较为成熟并已在临床上得到应用的神经修复装置,用来为脊髓受伤或患病的人们实现运动功能恢复。第2章描述了一种被用于恢复脊髓受损患者抓取动作的装置。第3章讲述了BION™植入技术,它能执行功能性电刺激以维持患者的肌肉组织状况或刺激肌肉组织来恢复抓取动作。这些患者通常是因为脊髓受伤或中风而失去了肢体运动功能。第4章介绍了直接刺激脊髓来恢复运动功能的最新研究进展。这一章重点放在利用脊髓的功能性电刺激方法控制行进中的肢体运动。第5章介绍了用神经袖电极记录和调节神经活动。

本书的后4章构成了第二部分,该部分探讨了用脑中的植入式装置控制人工修复装置,或者说是本书第一部分描述的神经修复装置的技术。第6章介绍了用来记录脑信号的传统电极和硬件,讨论了临床应用设备的相关问题,也讨论了将这些器件直接植入大脑时的有关问题。第7章介绍了一个研究案例,在一位严重瘫痪的患者的大脑皮层中成功植入了控制装置,他可以成功地使用该装置控制计算机屏幕上的光标。第8章给出了关于大脑控制神经机器人技术的可行性的最新研究数据。第9章提出了一种将神经化学和神经生理学信息相结合来建立神经修复控制装置的技术,利用它能恢复大脑中的化学平衡。

我们非常想借此机会感谢 CRC 出版社神经科学系列丛书的编辑人员还有 Nicoletis 和 Simon 博士,因为他们给了我们这个机会才使得本书得以形成。没有他们热情和持续的支持,这项工作恐怕难以完成。最后,还要感谢 CRC 出版社的许多工作人员,他们给了一如既往的支持,尤其是 CRC 生命科学出版社的 Barbara Norwitz,是她的坚定支持使得本书顺利出版。

John K. Chapin 博士

纽约州立大学神经生物系,布鲁克林健康科学中心,布鲁克林,纽约

Karen A. Moxon 博士

德雷塞尔大学电机工程学院科学和健康系统,费城,宾西法尼亚

目 录

第一部分 感官与运动功能修复

第 1 章 听觉修复	2
1.1 引言	2
1.2 历史	2
1.3 基本设计	3
1.4 研究课题	8
1.5 安全问题	9
1.6 改善修复功能的可能性	9
1.6.1 音频信号采集	9
1.6.2 信号处理方案	10
1.6.3 电激励的特征	14
1.6.4 隔皮与穿皮传输	17
1.6.5 神经残存模式	18
1.6.6 训练	19
1.7 个体差异研究	19
1.8 未来研究方向	20
1.8.1 超越 40% 语音识别率	20
1.8.2 变量与机制	21
1.8.3 硬件	21
1.8.4 双耳声听觉	21
1.8.5 组织工程	22
致谢	22
参考文献	22
第 2 章 采用神经修复术恢复上肢末端功能的进展	32
2.1 神经修复技术在脊髓损伤中的应用	32
2.2 运动功能神经修复技术	33
2.3 用于脊髓受损患者上肢末端运动功能恢复的第一代神经修复术	33
2.3.1 患者适用范围	34

2.3.2	上肢末端神经修复术的工作原理	35
2.3.3	增强功能的外科手术	36
2.3.4	实施步骤	37
2.3.5	第一代植入神经修复术的临床结果	40
2.4	在脊髓损伤中为上肢末端运动机能而设计的第二代神经修复术	43
2.4.1	系统描述	43
2.4.2	增强的运动功能	44
2.4.3	双侧控制	45
2.5	为恢复脊髓损伤患者的上肢末端功能而设计的神经修复术展望	46
2.5.1	控制的展望	46
2.5.2	感觉反馈的展望	47
2.5.3	神经激励和肌肉恢复的展望	47
2.5.4	多重肢体和器官修复系统的展望	48
2.5.5	神经修复术在其他中枢神经疾病中的应用	48
2.6	总结	48
	致谢	49
	参考文献	49
第3章	用于治疗和功能电激励的 BION™ 植入体技术	54
3.1	引言	54
3.2	项目研究目标	55
3.2.1	应用的简便性	55
3.2.2	模块化设计	55
3.2.3	长期的可靠性	56
3.3	基于安全性与功效性的设计	56
3.3.1	无线的可注射植入的封装体	56
3.3.2	关于密封性的实现与论证	57
3.3.3	电极与组织间的接口	60
3.3.4	激励输出和恢复特性	60
3.4	临床应用前的生物适应性测试	61
3.4.1	生物体外测试	61
3.4.2	短期的组织适应性	62
3.4.3	长期的非工作模式植入测试	62
3.4.4	长期的工作模式植入测试	64
3.5	临床应用及其技术挑战	65
3.5.1	中风患者的肩部半脱位的 TES 恢复	65
3.5.2	用于中风患者或脊椎损伤患者的辅助性抓握 FES	67
	参考文献	68

第4章 脊椎内微激励:功能性电激励的技术、观点和前景	71
4.1 引言	71
4.1.1 目的	71
4.1.2 背景	71
4.1.3 观点	72
4.2 蛙和鼠脊髓内的基元募集:脊椎内 FES 的基本现象和启示	72
4.2.1 背景	72
4.2.2 微激励中的基元叠加	74
4.2.3 脊椎行为中的基元	75
4.2.4 蛙的肌肉图谱:力量/肌肉关系	76
4.2.5 在蛙脊髓微激励中,通过双侧交互作用得到的叠加干扰	79
4.2.6 观点和结论	80
4.3 在麻醉的和短期实验的猫体内,由脊髓内微激励引起的下肢运动神经响应	80
4.3.1 背景	80
4.3.2 产生膝部扭矩的高分辨率空间映射图谱	81
4.3.3 肢体运动响应特征	82
4.3.4 观点和结论	84
4.4 清醒状态下猫的下肢运动神经响应	85
4.4.1 背景	85
4.4.2 腰骶脊髓的急性映射图谱	85
4.4.3 长期实验的定位技术	86
4.4.4 由脊髓微激励引起的运动种类	87
4.4.5 感觉与脊髓微激励的相互影响	89
4.4.6 金属丝腐蚀测试	90
4.4.7 植入金属丝和长期激励所产生的组织反应	90
4.4.8 前景和结论	91
4.5 探讨和结论	91
4.5.1 前景	91
4.5.2 未来问题和发展方向	92
4.5.3 新方向:未来光纤方法	93
4.5.4 结论	93
致谢	93
参考文献	94
第5章 应用神经套管激励、记录或调制神经行为	98
5.1 引言	98
5.2 对于神经套管电极长期植入体在解剖学以及外科上的考虑	99

5.3	怎样在日常行为中记录神经活动	99
5.3.1	神经套管的阻抗	100
5.3.2	套管的密封	101
5.3.3	电极配置	101
5.3.4	神经套管的多通道记录	102
5.3.5	信号放大要求	103
5.3.6	日常稳定性及记录信号的可重复性	104
5.4	怎样通过神经套管电极来激励神经	104
5.4.1	非神经套管的神经激励	104
5.4.2	应用神经套管进行神经激励的优点	105
5.4.3	电极配置	105
5.4.4	神经套管密封	106
5.4.5	神经套管管长	106
5.4.6	神经套管的临床应用经验	106
5.4.7	多通道神经套管的激励	106
5.5	如何应用神经套管调制神经行为	106
5.6	神经套管设计及制造方法	107
5.6.1	套管壁结构	108
5.6.2	神经套管打开与密封的方法	110
5.6.3	神经套管电极和引出线	112
5.6.4	神经套管壁和关闭系统的发展	114
5.7	神经套管电极的研究与临床应用	115
5.7.1	神经套管的典型研究应用	115
5.7.2	神经套管所展现出来的临床用途	117
	致谢	119
	参考文献	119

第二部分 神经修复术的大脑控制

第6章	神经修复控制的脑机接口设计	126
6.1	引言	126
6.2	神经接口设计	127
6.2.1	调节神经胶质反应	127
6.2.2	稳定长期记录	129
6.2.3	神经可塑性的作用	130
6.3	设计电极接口	131
6.3.1	微丝	131
6.3.2	薄膜电极	132
6.4	处理神经信号	138

6.4.1	前置放大电路	139
6.4.2	噪声源	140
6.4.3	模/数信号转换	141
6.5	神经信号采集系统	142
6.5.1	混合信号 VLSI	142
6.5.2	器件封装	144
6.6	无线传输	145
6.6.1	带宽	146
6.6.2	电源问题	146
6.7	神经修复设备的新方向	148
	致谢	149
	参考文献	149

第7章 在植有亲神经性电极的人脑内与控制光标相关的皮层出现时神经信号的动态相互作用..... 155

7.1	引言	155
7.2	方法	155
7.2.1	植入	155
7.2.2	记录	156
7.2.3	波形分离	156
7.2.4	发放率控制的获取	156
7.2.5	当前研究对象	157
7.3	结论	157
7.3.1	追踪目标时的神经活动	157
7.3.2	单个神经元数据	159
7.4	讨论	162
7.4.1	总结	162
7.4.2	推论	162
7.4.3	未来的发展方向	163
	致谢	163
	可能的利益冲突	163
	参考文献	164

第8章 感觉运动修复术中的大脑控制..... 165

8.1	引言	165
8.2	“神经机器人”控制的近期成果	165
8.2.1	在大鼠上证实的可行性	165
8.2.2	在猴子上的神经机器控制	171

8.3 多神经元记录和神经机器控制执行的方法.....	173
8.3.1 电极	173
8.3.2 信号处理和传输	175
8.3.3 神经元群体编码	176
8.3.4 从大脑不同区域得到的运动神经信号	179
8.3.5 神经机器执行	180
8.4 未来发展方向.....	181
致谢	181
参考文献	182
第9章 正常活动的鼠和猴脑中电生理监视的神经元周围微环境中的药物传输.....	184
9.1 引言.....	184
9.1.1 作为“分子—电学双机制计算机”的神经元	184
9.2 正常活动下动物脑中的神经发放的分子机制研究.....	186
9.2.1 伴随局部药物注入的神经记录	187
9.3 临床展望.....	194
9.3.1 脑内药物疗法的前景	195
9.4 总结.....	196
致谢	196
参考文献	196
附录.....	199

第一部分

感官与运动功能修复

- 第 1 章 听觉修复
- 第 2 章 采用神经修复术恢复上肢末端功能的进展
- 第 3 章 用于治疗和功能电激励的 BION™ 植入体技术
- 第 4 章 脊髓内电激励：功能性电激励的技术、观点和前景
- 第 5 章 应用神经套管激励、记录或调制神经行为

第1章 听觉修复

1.1 引言

听觉修复是通过电刺激末梢听觉神经系统实现的,它是迄今唯一被商品化的感官神经修复技术。目前世界上有多家公司经美国食品及药物管理局(FDA)批准生产用于人类使用的听觉修复装置。到1999年6月,已有超过30000个多通道听觉修复装置成功植入耳聋患者,他们年龄小到只有12个月,大到80多岁。这些患者通过植入听觉修复装置后能理解的信息量因人而异。利用最新开发的听觉修复装置,很多患者无需借助手势或唇读等视觉提示便能理解上下文已熟悉的语音,从而进行正常的对话。对大多数患者,在唇读法的帮助下,听觉修复装置提供的信息足以使他们进行正常的对话交流。小部分患者即使在唇读法的帮助下仍然无法理解语句,但这些植入装置可以使他们感觉到周围的环境,例如可以听到正在驶近的汽车的声音和听到铃响等。

听觉修复成功的原因众多。其中主要有:

(1) 强大的基础科学后盾。经过多年的声学、生理学以及神经生物学的研究,人们对声音在中枢神经系统中编码的生理学机理有了充分的理解。此外,听觉心理物理学和语音科学的深入研究也给耳蜗植入体的设计做出了很大的贡献。

(2) 医学和工业界有把这项技术应用于耳聋患者的迫切愿望。一些著名的耳鼻喉科医师积极推动这些装置的研发和应用。他们联合几家私人公司推动美国食品及药物管理局(FDA)及其他管理机构对这些听觉修复装置进行评估并批准使用,此后还有医疗保险机构的允许。

(3) 政府对持续研究这些装置以及技术转化方面给予了支持,促使制造这些装置的公司得到发展。在美国和澳大利亚,政府对这项技术发展和实施的支持力度尤为强大。

(4) 声音信号自身的冗余以及人类适应声音信号部分失真或丢失的能力。这里有一个日常生活中的例子:我们使用的普通电话,传送的声音信号的频率仅为300Hz~3.3kHz,而人类语音信号包含的信息包括80Hz(一些男性说话的基频)~8kHz,但是电话传送带来的部分信息丢失对大多数人而言是根本感觉不到的。

1.2 历史

电激励听觉系统的发展历史可以追溯到早期电学和神经生理学的实验^[1]。当然,在听觉修复发展史上被提及最多的是1957年Djourno和Eyries^[2]所做的一个实验,他们成功地将导线植入耳聋患者的内耳并通过电激励的方法使患者产生了听觉。这个实验随后被Doyle等人^[3]在洛杉矶重复,此后还有William House^[4]以及House耳研究所(House Ear Institute)的研究者也重复了这个实验。House对此项研究最为热心,他们最终研制了单通道耳蜗植入体^[5]

并得到了 FDA 批准使用。斯坦福大学的 Blair Simmons 首次实现了多通道植入体的概念,他将一组四根导线直接植入听觉神经^[6]。不久之后,加州大学旧金山分校(UCSF)的 Robin Michelson 将一个多通道植入体植入了耳蜗的鼓阶^[7]。这种植入装置随后被 Michael Merzenich 领导的一个研究小组进行发展和完善,实现并测试了多种设计方法,最终得到了今天所使用的听觉修复装置^[8]。UCSF 的实验室此后开发了今天使用的 Clarion 听觉修复装置^[9],这种装置现在由 Advanced Bionics 公司生产^[10,11]。

与此同时,澳大利亚墨尔本大学的 Graeme Clark^[12]领导了一个很大也很有成效的研究项目。这个研究项目所开发的听觉修复装置由位于悉尼的 Nucleus Pty. 公司的子公司 Cochlear 公司生产,Cochlear 公司目前在全球拥有的人工耳蜗用户数最多(超过 23000 个用户)。

市场上还有世界其他地方研发的听觉修复装置,包括伦敦^[13]、犹他州的盐湖城(Ineraid Prosthesis)^[14,15]、奥地利的维也纳和因斯布鲁克(Med - El 制造的 Combi40 + Prosthesis)^[16~18]、巴黎(MXM 制造的 Digisonic Prosthesis)^[19]、比利时的安特卫普(Philips Hearing Technologies 制造的 Laura Prosthesis)^[20,21]等。

1.3 基本设计

在图 1.1 中,A 为一个听觉语音信号的时间幅度图。B 为用来拾音的麦克风,将语音信号传递给处理器。C 为盛装处理器的盒子(图 1.2),在某些情况下又是流控刺激器。D 为刺激器和处理器供电的电池。E 为传输系统。隔皮传输系统如图左,包括外部隔着皮肤传输信号和能量的天线,和内部植入的接收信号和能量并传输受控电流到电极阵列的电子器件。穿皮连接器如图 1.2 右所示,是另外一种可选方案。当使用穿皮连接器的时候,流控刺激器会和处理器安置在一起。F 为植入在目标神经元附近的电极阵列。在图中,电极阵列植入在耳蜗鼓阶的听觉神经纤维旁(图 1.4)。可选的其他方案还有直接植入在听觉神经束的薄膜电极,和植入在脑干中耳蜗核的表面或穿入式的电极阵列。G 为被刺激的听觉神经元的轴突将神经脉冲

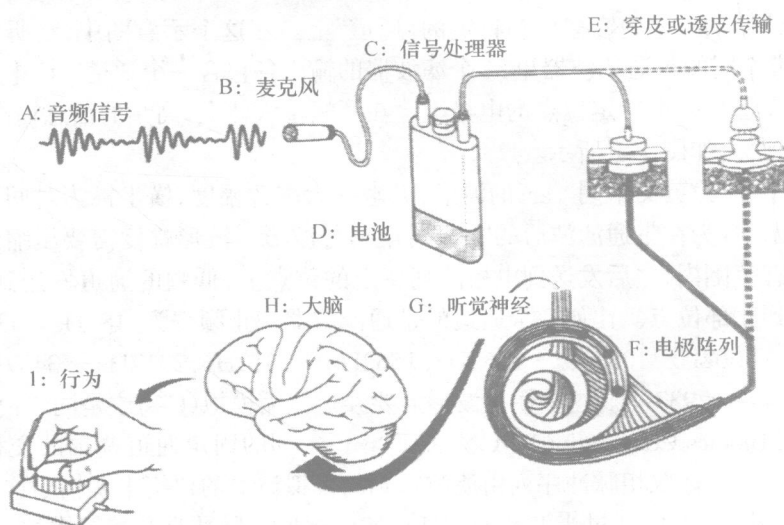


图 1.1 听觉修复系统的各组件示意图