

# 微电子机械系统在生物医学领域中的应用\*

马建旭 王立鼎 吴一辉

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春130022)

**摘要** 本文介绍了国际上微电子机械系统研究的状况以及发展趋势;阐述了目前微电子机械系统在生物医学中的应用和研究开发的方向;并详细地介绍了日本在微小血管检测系统方面所作的研究工作;最后提出了应用于医疗领域中的微电子机械系统的发展前景。

**关键词:** 微电子机械系统;生物医学;微小血管检测系统

## 1 微电子机械系统研究国际发展概况

微电子机械系统(简称微机械)作为二十世纪末新型前沿学科,发展十分迅猛,并开创了微电子学、微机构学、微摩擦学、微流体力学、微细加工技术等新的研究领域。目前微电子机械系统已广泛应用于生物医学、航天、军事、工业和农业等方面,并导致了人类认识能力和改造世界能力的重大突破,从而给国民经济、人民生活 and 军事国防带来了深远影响。它已成为以美国、日本、德国为代表的许多发达国家研究的热点。

美国是最早研究并试制微机械成功的国家。美国对微机械的研究始于六十年代中期、八十年代后期引起普遍重视。美国国家基金会于1988年投入100万美元科研启动费支持8所大学开始微电子机械系统的主要项目研究,1989年又将经费增加到200万美元。此后,每年投入500万美元支持一些学校进行研究。1993年美国国家关键技术委员会在提交总统的报告中将“微、纳米级的制造”列为国家关键技术。以发展两用技术为宗旨的美国国际部高级研究计划局(ARPA),在1995年财年的计划中,将微电子机械系统视为直接关系国防与经济发展的高技术加以重点发展。此外美国航空航天公司在1993年就微机械对未来航天系统的潜在影响进行了调查和评估。目前美国国会已把微电子机械系统作为二十一世纪重点发展的学科之一。美国从事微电子机械系统研究的单位很多,有以斯坦福大学、麻省理工学院、犹他大学为首的高校,以国际商用机器公司、加州弗里蒙特新传感器制造公司为代表的大企业,以及伯克利传感器与致动器中心、圣迪亚等大型国家实验室。目前美国主要注重于微致动器、微传感器、微结构、微传动元件、微泵以及扫描隧道显微镜、原子力显微镜的研究探索,并注意在实际生活中应用。其中美国工业界主要致力于与传感器有关的领域的研究工作,有关系统的工作几乎全是在大学进

\* 国家自然科学基金、攀登计划重点资助项目。

收稿日期:1995年9月8日

行的。

德国于九十年代初,将微电子机械系统列为新开发的重点项目,并为之提供了4亿马克的经费。德国工程师协会和德国电工协会下属精密工具技术委员会统一协调微型机械的研究与开发,并组织全德的大学、研究所和企业进行研制,而且微型机械已列入大学的必修课程。德国在所从事微机械研究的单位主要有慕尼黑夫琅霍费固体工艺研究所、卡尔斯鲁厄核研究中心微结构研究所、法兰克福的巴特勒研究所以及达尔姆施塔特大学等。目前德国从事的微机械研究中创造了 LIGA 微细加工工艺,并在微型泵、立体微型结构、微型机械元件、悬臂执行机构中取得了令人瞩目的成绩。

日本在微机械研究方面紧随美国之后,作了大量的工作,目前已成为微机械研究最为炽热的国度。日本已将微机械列入国家重点课题,已设立了以十年为周期(1991—2000年),投资2.5亿美元的微机械研究项目。以东京大学、东北大学、名古屋大学为首的高校正着手于微机械的基础研究,并各有千秋。其中东京大学主要从事微致动器与微器件及其应用、微机电系统构筑与控制方法、微细加工技术、微小孔加工、微复合加工和微装配技术,东北大学主要从事微型传感器、微型阀、微型泵以及微致动器等研究;名古屋大学主要从事微操作系统的研究;早稻田大学主要从事微切割的研究、微细加工技术;并且日本大学已成立微机械专业,正式培养专业从事微机械工作的本科生、硕士生和博士生。此外,包括日立、索尼、松下大公司在内的25家大公司参与微机械工艺制造技术。通商产业省机械研究所等三家国家级研究所进入微机械的实用研究工作。从而在日本形成了官、学、民共同从事微机械研究和开发的形势。设立的研究项目有:电站机构,包括微型密封舱、母舰、无线检查舱、有线检查舱;诊断和治疗系统,包括传感器设备、激光设备;微功能单元包括驱动器、传动机构、传感器;能量源,包括电磁和光等非接触能量传递;系统控制,包括通信、反馈、综合控制系统。

目前微机械应用的领域有:

- (1) 医疗领域包括非侵入性治疗、显微手术、小器官检测。
- (2) 生命科学领域包括小生理器官处理、基因操作系统、蛋白质追踪。
- (3) 信息领域包括高密度磁盘存贮、信息输入/输出、信息传递。
- (4) 航天领域包括微型和纳米卫星、制导导航与控制用的微型传感器和微型仪器、应用于航空中的微型光学设备。
- (5) 半导体工业领域包括微模型修理、微领域评估、微线路构造。

目前微机械借助扫描隧道显微镜(STM)和原子力显微镜(AFM),把化学和高分子生物学处理方法结合起来,并利用专用集成电路技术(ASIC),将开辟专用集成微仪器(ASIM),进而发展到纳米专用集成系统(ASIN),以及更前沿的技术。

## 2 微机械在生物医学领域的应用和研究

微机械应用于医疗领域是微机械的主要目标之一,有着极其诱人的应用前景。古代文学家幻想着将人变成小昆虫钻进人体内脏及血管中,在现代的科技医学中,微机械将这种幻想变成现实。目前,微机械在医学中的应用日渐广泛,例如微小血管检测器,用于心脏衰弱者的心脏起搏器、微小人工血管,治疗肾脏病人的安置于肾脏内定时注射药物的吸排器以及人工关节,清理脑血栓患者阻塞动脉的血块,接通和切断神经的微机械,可进入人体腔道进行检查和手术

的微型机械,用于外科手术中可实现各种微细操作的微型可控摄子等等。

微机械在生物医领域应用的研究主要有以下几个方面:

(1)人体微小器官和组织的检测和治疗:

通过微机械进入人体检测微小器官或组织发现早期病变,并进行显微手术或遥控手术,达到预防和极早治疗的目的。

(2)脑功能的研究:

利用微机械技术研究神经细胞里的信息流,了解人脑的信息变换能力,分析人脑思维的特性,真正科学地了解人的学习和智力。

(3)细胞的研究:

细胞分离和融合,借助于 STM/AFM,利用尖端直径小到足以插入活细胞内而又不严重干扰细胞的正常生理过程的微机械传感器,去获得在不同环境条件下能反映整体的功能信息的活细胞内的动态信息。这将为临床医学相应疾病提供诊断和治疗的客观标准,为药理学研究提供细胞水平的模型。

(4)基因的研究:

在微生物学研究的基础上利用微纳机械将某一基因植入细胞,让人体制造出所需要的蛋白质,产生特殊效应,能治疗病毒引起的疾病和消除血液中的胆固醇等。

微机械在生物医学领域应用的研究已得到很大程度的进展:日本名古屋大学已研制出有可进入体腔血管进行检查和手术的微型机械并已在动物试验和模拟中获得成功,美国阿博特实验室研制了血压传感器和子宫内压力传感器。美国马里兰州的约翰一斯试验室制造出一种药丸,它比维他命稍大一些,其中包含有硅温度计及电子线路,用来将瞬时温度值送给记录装置。现在灵巧药丸非常有用处,它可以播送有关心率、胃的酸度及其它中性功能的信息,而不使病人感到任何痛苦。美国加利福尼亚理工学院已制造出能测量活体脑组织的神经活动的微型机械神经探针,犹他大学生物工程系用硅微加工技术制作了由100微探针(直径0.08毫米长1.5毫米)组成的脑电极阵列,用该电极阵列可以检测电流,其未来的发展是可精确测量脑部信息,甚至可使盲人复明。密执安大学利用微机械加工和微缝合技术在神经修复上获成功。此外在医疗方面已进行了研制冠状动脉血流传感器和用于作微米级视网膜开刀手术的微型机械,在眼球运动的条件,作切除弹网膜或个别病理、细胞手术等等。日本东京大学工科学研究研制出的一种微型机构的驱动机构(IDM)成功地塞入一个毛细血管到兔子的170 $\mu\text{m}$ 的直径的卵子所在位置处,并注入一个精子细胞。采用微机械技术已实现了人体细胞间的融合,细胞融合技术可以人工设计和创造新物种,微机械可使生物学家操作和控制单一细胞,这将带来生物工程和医学科学的革命。在不久的将来,微机械技术将大规模用于临床医学,可将毫米、微米、以及纳学的微小智能系统进入人体内执行诊断和治疗任务。

### 3 微小血管检测系统

血管瘤是人类的一种严重的血管疾病,特别是脑部血管瘤由于其不断膨胀,可能压迫血管,造成病人某一器官失去知觉,还可能胀破血管引起脑溢血进而导致死亡。目前,应用于临床的常规微小血管检测系统是把钢丝绳推入血管中,并注入照像液,在X射线下,通过医生感觉其在血管中运动检测血管瘤在血管中的位置,进行操作,但这种方法操作性极差,一不小心就

会撞破血管导致医疗事故的发生。这就要求医生具有多年的临床经验高的操作技术及足够的耐心。因而急需一种特殊的微小血管检测系统,既具有微小性多自由度等特点,又有传感器来检测压力。多自由度选向的目的是因为脑部血管构造极其复杂,因而要求操作系统能在血管分支点能自由选向,并且操作系统还应有多个能动的环节,在血管中象蛇一样的运动。下面介绍一下目前应用于血管检测的微操作系统。

### 3.1 多自由度能动医疗检测系统

多自由度能动医疗检测系统 (Micro Active Catheter System MAC) 主要利用微机械中常用的形状记忆合金 (SMA) 作为基本执行软件。它是将 SMA 安置于 MAC 的管道中实现弯曲运动,达到血管中爬行多自由运动及进行手术的目的。下面介绍的是一种能实现两自由度运动的医疗血管检测系统(图1)。分三组成 120°角将两根  $\Phi 50\mu\text{m}$  的 SMA 放在 MAC 管腔两端并在两端加电压,利用电压调节温度控制 SMA 的弯曲运动,选择前进方向和实现左右转并进行两自由度运动,SMA 的温度控制是靠电阻的检测达到的。该系统利用步进电机操作移动,已在模拟实验和在狗身上的实验中获得成功。

多自由度能动医疗检测系统虽已在模拟实验、动物实验获得成功,但它却有着不容忽视的缺点,即它需要 6v 以上的电压进行控制,这就不可避免在血管中产生漏电流现象。医学实验表明进入人体的漏电流超过 10mA/min 就会使血管中血液成分分解,导致病人休克甚至死亡。对于医学手术而言安全性是第一位的,因而研制安全性更高的微小血管检测系统是非常重要的。

### 3.2 能动导向微小机械检测系统

如图2能动导向微小检测系统 (Active Catheter System with Multi D. O. F), 是将 ICPF (Ionic Conduct Polymer Film) 执行器置于二自由度能动导管前端,这种检测系统是靠能动导管弯曲选择在分叉处的运动方向。ICPF 执行器是利用一种新型的高分子材料 Nafion117 并将金片贴于两端,将在两端加电压,通过这种材料的吸放水作用实现弯曲,引导检测系统转向,并通过两端的 ICPF 分别实现检测系统的左右转(图3)。

ICPF 执行器具有以下特点:

- (1)在电信号下的易控制性;
- (2)柔性操作性能;
- (3)结构简单易实现微小化;

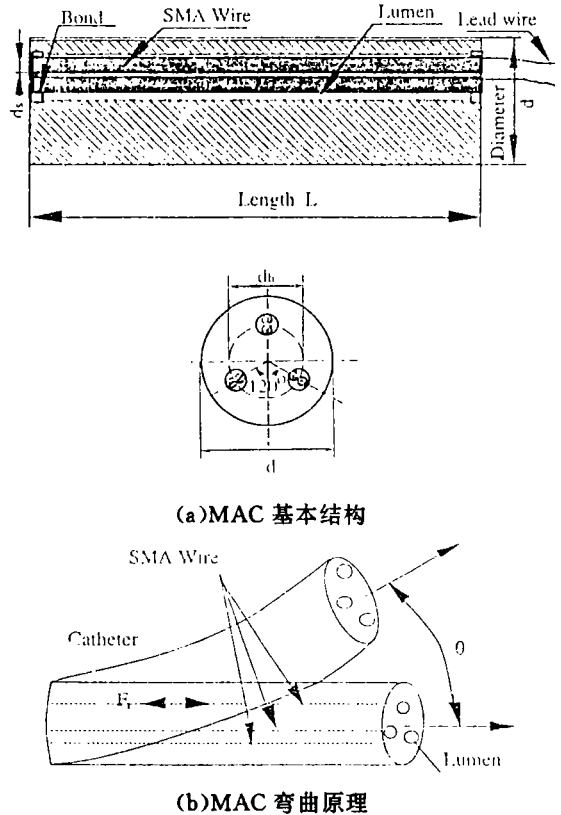


图1 多自由度能动医疗检测系统

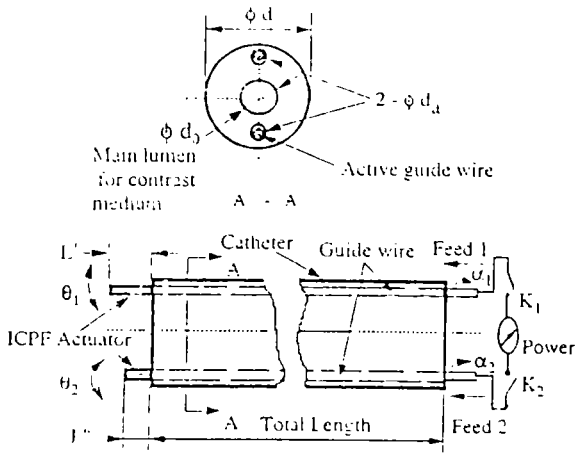


图2 能动导向微小检测系统

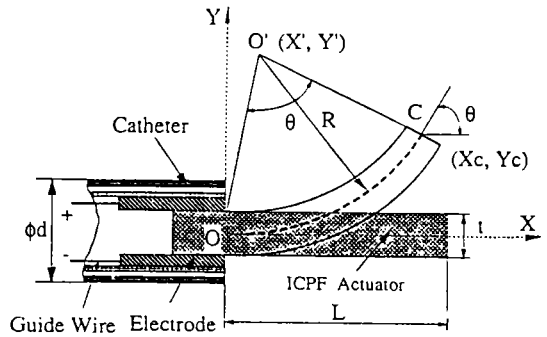


图3 ICPE弯曲原理

- (4)高响应性(120Hz);
- (5)长寿命;
- (6)低电压驱动(1.5V)无小漏电流发生。

该系统通过了模拟操作型实验及左右转测试,并与常规血管检测系统进行了对比性实验。操作时间评价标准为,15个医生分别用两种血管操作系统进行进入血管模拟实验,在相同条件下,利用常规血管检测系统平均用了58.3秒,而利用能动导向微小机械系统平均仅用了13.5秒,效率提高了1.78倍。

能动导向微小机械检测系统的可行性,不仅提高了传统血管检测系统的检测速度,而且提高了安全性,因此可望用于临床医学中。

### 3.3 医疗辅助系统

医疗辅助系统(Medical Assistance System)是可视化的研究工具,体现了“灵境”(Virtual Reality),它是通过传感器和操纵装置看到一个计算机模拟的景象,控制进入人体的微操作系统运动,并将信息反馈回辅助操作系统,进而控制微操作系统避开事故,提高操作性能,以达到减少医疗事故、安全操作的目的。

医疗辅助操作系统包括三部分:视觉辅助、力觉辅助和相互交流辅助。视觉辅助是通过直接可视性、立体可视性、视点和视象的变化进行辅助性操作;力觉辅助是通过手的力感觉进行操作;相互交流辅助包括生理表现如心脏、脉波跳动和呼吸频率,医生和病人的对话,医生的医疗经验。医疗辅助系统可用于训练性操作,临床准备性操作以及实际手术操作。

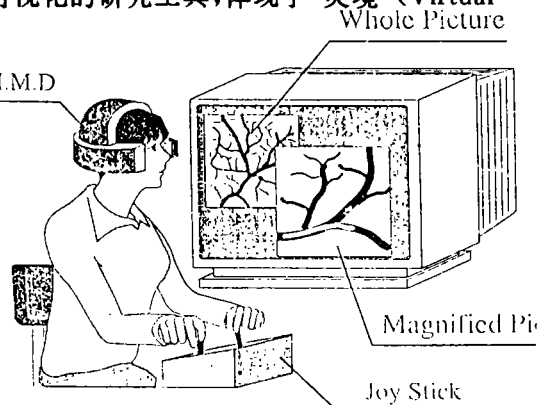


图4 微小血管辅助操作系统

如图4为微小血管辅助操作系统,它是通过手控操作器两轴运动,操作微小血管操作系统弯曲方向,并将是否碰到管壁的信息通过视觉、力觉反馈给操作者,及时避开事故。

## 4 结 束 语

目前微型机械得到了一定的应用,特别是它在生物医学领域中已在深入的研究和开发,在未来的几十年中,利用微机械临床医学必将从传统医疗手术到显微手术进而向遥控手术方向发展,同时通过基因改造使人体自身提高抗病能力。医学中进入人体小器官中的微电子机械系统将发展成为传感器、执行器、驱动器和智能系统有机结合的多功能智能操作系统,并依靠环境生物化学能来解决本身能量源的问题。因而微机械将在不断提高医疗技术、减少医疗事故、延长人类寿命发挥越来越重要的作用。

### 参 考 文 献

- [1] Shuxiang GUO, Toshio FUKUDA, Kazuhiro KOSUGE, Fumihito ARAI, Keisuke OGURO, Makoto NEGORO, Micro Catheter System with Active Guide Wire Structure, Experimental Results and Characteristic Evaluation of Active Guide Wire Catheter Using ICPF Actuator. Proceedings of 5th International Symposium on Micro Machine and Human Science (MHS'94), Nagoya, Japan
- [2] Toshio FUKUDA, Shuxiang GUO, Kazuhiro KOSUGE, Fumihito ARAI, Makoto NEGORO, K. NAKABAYASHI, Micro Active Catheter System with Multi Degrees of Freedom. Proceedings 1994 IEEE International Conference on Robotic and Automation, San diego, California. 1994,3:2290—2295
- [3] 微米、纳米技术文集编委组,微米、纳米技术文集.北京:国防工业出版社.1994
- [4] 千东英,王立鼎,微型机械的现状与发展.北京:机械工程学报,1994,30(2):

## Application of Micro Electro Mechanical System on Medicine and Biology

Ma Jianxu, Wang Liding and Wu Yihui

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

### Abstract

The paper summarizes in general the features and the trend of the development of modern micro electro mechanical system research; reviews the application of MEMs in medicine and biology; introduces the research work of micro active catheter in Japan; at last, points out the development of MEMs applied on medical practice.

**Key words:** MEMs, Medicine and biology, Micro active catheter