

# 体外 冲击波碎石技术

主编 陈海启 钱仁义



第四军医大学出版社

# 体外冲击波碎石技术

主 编 陈海启 钱仁义  
副主编 李金锐 张增景 张留巧  
张振强 朱 瑞

第四军医大学出版社·西安

## 图书在版编目 (CIP) 数据

体外冲击波碎石技术 / 陈海启, 钱仁义主编. — 西安:  
第四军医大学出版社, 2011.9

ISBN 978 - 7 - 5662 - 0030 - 3

I. ①体… II. ①陈… ②钱… III. ①碎石术  
IV. ①R691.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 166391 号

## 体外冲击波碎石技术

主 编 陈海启 钱仁义  
责任编辑 土丽艳 张永利  
出版发行 第四军医大学出版社  
地 址 西安市长乐西路 17 号(邮编:710032)  
电 话 029 - 84776765  
传 真 029 - 84776764  
网 址 <http://press.fmmu.sn.cn>  
印 刷 西安交大印刷厂  
版 次 2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷  
开 本 787 × 1092 1/16  
印 张 13.5  
字 数 320 千字  
书 号 ISBN 978 - 7 - 5662 - 0030 - 3/R · 926  
定 价 35.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

# 前 言

体外冲击波碎石(ESWL)治疗泌尿系结石,目前是最安全、最经济、最便捷、痛苦最小的一种治疗方法。

20世纪50年代,世界第一台体外冲击波碎石机在德国诞生。这项伟大的新科技是利用航天技术空化效应这一原理研制而成,开创了人类非手术治疗泌尿系统疾病的新纪元。这种非侵入、无痛苦又经济的治疗泌尿系结石病的新技术,给亿万结石患者带来了福音。ESWL治疗泌尿系结石安全、无痛苦又经济,所以发展得比较快,经历了水槽式→液电式→电磁式→脉冲式→复脉冲式的发展变革。随着气候的变化、饮食结构的改变,地下水资源的匮乏,泌尿系结石病日益增多,体外碎石机的改进,碎石技术的提高,使泌尿系结石病患者对体外碎石有了新的认识与理解;需求的增加,使体外冲击波碎石机得以普及和发展。ESWL不但用于治疗肾内结石,特殊性肾结石,输尿管、膀胱及后尿道结石,而且还用于经皮肾镜取石术后肾内残留结石、肾开放性手术取石术的残余结石的治疗。ESWL治疗泌尿系结石,是目前世界公认的一种治疗方法,为人类健康作出了重要的贡献。

1984年10月,中国成功地研制成了第一台体外冲击波碎石机,从此中国各大、中城市医院,迅速将这项新科技应用于临床。据1990年4月统计,全国拥有各类型体外冲击波碎石机300多台。随着临床治疗效果的验证,碎石机不断地更新,逐步向县级医院扩展,据2008年统计,体外冲击波碎石机已普及全国各乡镇卫生院。从发病学统计,中部地区发病率达7%~8%,广东为12%~17%,云南发病率高达50%。随着泌尿系结石病的攀升,体外碎石机的增加,也存在操作不规范的现象,在临床上因ESWL治疗引起的并发症频频可见。笔者近年来从事结石病的研究与临床工作,曾用ESWL治疗泌尿系结石上万例,从中筛选了部分病例,记述了ESWL的碎石方法、治疗过程及操作程序,将其加以整理,供广大医务人员参考。

因水平有限,书中难免存在错误和不足之处,望广大医务者给予指正。

陈海启  
2011.5

# 目 录

第一章 体外冲击波的历史 .....	( 1 )
第二章 体外冲击波碎石的基本原理 .....	( 7 )
第一节 体外冲击波碎石机的工作原理 .....	( 7 )
第二节 体外冲击波碎石术的科学基础 .....	( 7 )
第三节 体外冲击波源及其特性 .....	( 8 )
第四节 体外冲击波的碎石过程 .....	( 13 )
第五节 体外冲击波碎石机的定位系统 .....	( 15 )
第六节 体外冲击波碎石机的种类及功能 .....	( 17 )
第三章 泌尿系结石的形成因素 .....	( 19 )
第一节 流行病学因素 .....	( 19 )
第二节 代谢异常因素 .....	( 22 )
第三节 局部解剖因素 .....	( 26 )
第四节 药物相关因素 .....	( 28 )
第四章 泌尿系结石形成机制及理化性质 .....	( 38 )
第一节 泌尿系结石的形成机制 .....	( 38 )
第二节 泌尿系结石的理化性质 .....	( 44 )
第五章 泌尿系结石对泌尿系统的损害 .....	( 47 )
第一节 病理机制 .....	( 47 )
第二节 泌尿系梗阻 .....	( 48 )
第三节 炎症和感染 .....	( 49 )
第四节 损伤和上皮病变 .....	( 49 )
第六章 泌尿系解剖学 .....	( 51 )
第七章 ESWL 治疗泌尿系结石需掌握的几个重要环节 .....	( 56 )
第八章 ESWL 在临床上的几个共性的问题 .....	( 57 )
第一节 ESWL 治疗结石的适应证 .....	( 57 )
第二节 ESWL 治疗的禁忌证 .....	( 57 )
第三节 ESWL 治疗后的处理 .....	( 58 )
第四节 ESWL 并发症的处理 .....	( 58 )
第五节 ESWL 治疗前须查项目 .....	( 58 )
第六节 ESWL 治疗前患者的准备 .....	( 59 )
第七节 ESWL 治疗泌尿系结石的几个体位 .....	( 59 )
第八节 B 超与 X 线定位的优缺点 .....	( 59 )

第九节	工作电压与触发冲击数 .....	( 60 )
第十节	ESWL 治疗时的顺序 .....	( 60 )
第十一节	双“J”管的置入方法及临床作用 .....	( 60 )
第十二节	桃核承气汤、芍药甘草汤在 ESWL 治疗后排石的临床应用 .....	( 61 )
第十三节	ESWL 治疗后的护理 .....	( 61 )
<b>第九章</b>	<b>泌尿系结石的检查和诊断 .....</b>	<b>( 63 )</b>
第一节	泌尿系结石的实验室检查 .....	( 63 )
第二节	影像学在泌尿系结石诊断中的应用 .....	( 68 )
<b>第十章</b>	<b>肾结石 ESWL 的治疗 .....</b>	<b>( 81 )</b>
第一节	双肾多发性小结石 ESWL 的治疗 .....	( 83 )
第二节	肾下极结石 ESWL 的治疗 .....	( 85 )
第三节	肾上极结石 ESWL 的治疗 .....	( 86 )
第四节	单侧肾内大结石 ESWL 的治疗 .....	( 87 )
第五节	双肾结石 ESWL 的治疗 .....	( 89 )
第六节	双肾结石伴发一侧输尿管结石 ESWL 的治疗 .....	( 90 )
第七节	体质肥胖型肾结石 ESWL 的治疗 .....	( 91 )
第八节	肾门大结石 ESWL 的治疗 .....	( 93 )
第九节	肾术后残余结石的 ESWL 的治疗 .....	( 94 )
第十节	经皮肾镜取石术后肾内残余结石 ESWL 的治疗 .....	( 96 )
第十一节	肾术后复发性结石 ESWL 的治疗 .....	( 97 )
第十二节	背部烧、烫伤合并肾结石 ESWL 的治疗 .....	( 98 )
<b>第十一章</b>	<b>特殊性肾结石 ESWL 的治疗 .....</b>	<b>( 100 )</b>
第一节	孤立肾结石 EWSL 的治疗 .....	( 100 )
第二节	肾内鹿角状结石 EWSL 的治疗 .....	( 101 )
第三节	马蹄肾并结石 ESWL 的治疗 .....	( 104 )
第四节	海绵肾结石 ESWL 的治疗 .....	( 106 )
第五节	尿酸结石 ESWL 的治疗 .....	( 107 )
第六节	肾盏憩室结石 ESWL 的治疗 .....	( 109 )
<b>第十二章</b>	<b>输尿管结石 ESWL 的治疗 .....</b>	<b>( 111 )</b>
第一节	孤立肾结石并输尿管结石 ESWL 的治疗 .....	( 113 )
第二节	双侧输尿管结石 ESWL 的治疗 .....	( 114 )
第三节	输尿管“石街”ESWL 的治疗 .....	( 116 )
第四节	输尿管上段结石 ESWL 的治疗 .....	( 118 )
第五节	压痛点定位法 ESWL 治疗急性输尿管中段或中下段结石的治疗 .....	( 119 )
第六节	输尿管中段结石 ESWL 的治疗 .....	( 121 )
第七节	输尿管下段结石 ESWL 的治疗 .....	( 122 )
第八节	输尿管末端结石 ESWL 的治疗 .....	( 123 )

第九节	肾内取石术后伴发输尿管结石 ESWL 的治疗	(125)
第十节	经皮肾镜取石术后伴发输尿管结石 ESWL 的治疗	(126)
第十一节	肥胖型输尿管结石 ESWL 的治疗	(127)
<b>第十三章</b>	<b>膀胱和尿道结石</b>	<b>(129)</b>
第一节	临床表现	(129)
第二节	诊断和鉴别诊断	(129)
第三节	膀胱结石 ESWL 的治疗	(130)
第四节	后尿道结石 ESWL 的治疗	(131)
<b>第十四章</b>	<b>小儿泌尿系结石</b>	<b>(133)</b>
第一节	小儿泌尿系统解剖特点	(133)
第二节	小儿泌尿系结石的病因特点	(135)
第三节	小儿泌尿系结石临床表现	(137)
第四节	小儿泌尿系结石诊断和鉴别诊断	(138)
第五节	小儿泌尿系结石的治疗	(140)
第六节	小儿泌尿系结石 ESWL 的治疗	(144)
<b>第十五章</b>	<b>妊娠期合并泌尿系结石</b>	<b>(147)</b>
第一节	妊娠期泌尿系结石的易感因素	(147)
第二节	妊娠合并结石的诊断	(148)
第三节	妊娠合并结石的治疗	(150)
第四节	妊娠合并输尿管结石 ESWL 的治疗	(152)
<b>第十六章</b>	<b>特殊类型的泌尿系结石</b>	<b>(154)</b>
第一节	肾钙乳	(154)
第二节	输尿管膨出合并结石	(155)
第三节	肾盂输尿管连接部梗阻合并肾结石	(157)
第四节	肾钙质沉着症	(161)
第五节	结石性尿闭	(163)
第六节	结石性脓肾	(165)
<b>第十七章</b>	<b>ESWL 碎石后并发急性肾绞痛的治疗</b>	<b>(169)</b>
第一节	临床表现	(169)
第二节	实验室检查及影像学检查	(170)
第二节	治疗	(170)
<b>第十八章</b>	<b>泌尿系结石内科治疗与中医辨证施治</b>	<b>(173)</b>
第一节	概述	(173)
第二节	泌尿系结石内科治疗的原则和措施	(173)
第三节	泌尿系结石的中医辨证施治	(176)
<b>第十九章</b>	<b>尿石症的治疗进展和 ESWL 治疗泌尿系结石的展望</b>	<b>(178)</b>
第一节	尿石症的防治原则	(178)

第二节	尿石症的临床特征与治疗分类 .....	(180)
第三节	尿石症治疗方法的选择及进展 .....	(184)
第四节	世界腔道泌尿外科大会尿石症研究进展 .....	(187)
第五节	ESWL 治疗泌尿系结石的展望 .....	(193)
<b>第二十章</b>	<b>泌尿系结石的预防 .....</b>	<b>(195)</b>
第一节	饮食防石 .....	(195)
第二节	药物防石 .....	(198)
第三节	运动防石 .....	(202)
第四节	饮水防石 .....	(204)
<b>参考文献</b>	.....	<b>(205)</b>



# 第一章 体外冲击波碎石的历史

体外冲击波碎石(ESWL)是利用航天技术空化效应的原理,从体外产生冲击聚焦,把体内的结石冲击粉碎的过程。它可冲击泌尿系结石、肝胆系结石、涎腺结石和胰腺导管结石,使其随排泄液排出体外,以达到治疗结石病的目的。体外冲击波碎石机在20世纪50年代诞生,被誉为当代三大医疗新技术(CT、MRI和ESWL)之一。这项新技术,在短短的几年内改变了治疗泌尿系结石主要依赖传统开放性手术取石方法,是治疗泌尿系结石一次伟大的革命,目前已被世界公认为治疗泌尿系结石的首选方法。今天,这门技术仍在不断发展、完善中,是泌尿外科工作者必须了解、掌握的一门技术,也是医院必设的科室。

从第一次将冲击波应用于医学领域至今,只有很短的历史。在第二次世界大战期间,偶然发现水雷在水中爆炸后,在海内洗澡的人虽然没有外表的损伤,但是体内的肺组织常有严重的损伤,而出现咯血的现象,这是第一次观察到冲击波对体内组织的影响,这也是冲击波的起源。

冲击波问世最早始于20世纪50年代,首先开始对专利号系统的研究,冲击波在医学领域里应用,研究发现液电冲击波在水中可将陶瓷盘打碎。一般认为美国的Frank Rieber(New York),一个申请液电冲击波发生器专利的人(专利号:2.559.277),在50年代末研制出电磁式冲击波发生器。

20世纪50年代,苏联学者掌握了体内液电冲击波对膀胱碎石技术,仅限于体内碎石,内腔镜达不到的部位无法治疗,因此临床应用受到很大的限制。

对冲击波真正具有跨时代意义的研究是西德,1963年联邦德国多尼尔(Dornier)公司从事航空航天工业的物理学家,在寻找超音速飞机材料损伤的机制过程中,发现了冲击波的影响。当雨点落在超音速飞机上时,反弹的压强(可达16000MPa)可产生一种冲击波,并会传播到离原撞击点很远的地方使之产生裂缝。从而确认冲击波能击碎脆性物质,并偶然发现冲击波对人体组织亦能起到冲击力的作用。1966年,多尼尔公司一位电器工程师在做高速喷射试验时,他的手无意中短暂接触到被高速冲击的板上,他感觉到体内有电击样的感觉。经测量后显示板上并没有电流,电击样的感觉是冲击波经板反射后再经手传入身体内,这又是一个冲击波的问号。从1968到1971年,德国开始研究冲击波与动物生物组织的相互作用,发现高能冲击波可以引起远距离器官的损伤,特别是在器官的表面有水分和当冲击波经过潮湿的活体器官组织时,冲击波最好的传递介质是水和凝胶。

另一个有趣的发现是冲击波进入体内后出现转变。观察发现,冲击波通过肌肉、脂肪和关节组织时引起的损伤反应较小;对完整的骨组织有损伤作用;而对肺、脑、腹腔等其他组织器官有损伤的危险。1969—1972年,多尼尔公司和萨尔布吕肯理工大学的物理学家霍夫贝伦特和郝斯勒开始研究冲击波在医学上的应用,了解了冲击波在生物体内的传播、损耗情况,以及对不同组织、器官的影响,结果表明:冲击波在软组织中传播能量损失很小,冲击波可以将生物体内的脆性物质击碎,并会对含有大量气体的肺组织造成极大的伤害。他们还

经过实验,证实经水传播的冲击波能粉碎离体肾结石。

于是物理学家们将这些研究与医师们讨论后产生了一个设想,能否把冲击波用于人体医疗。这期间有人提出利用冲击波粉碎肾结石的构思。也许受到体内冲击波碎石成功的启发,体外冲击波被导入了医疗领域,即用体外冲击波击碎肾内结石。在开始时,该设想及医学上的认识尚不清,但毕竟产生了这一设想,而且随着该设想的进一步发展,出现了利用体外冲击波击碎肾内结石的基本模型,当时有人设想让患者坐在一个大水缸中,进行冲击波碎石治疗(图 1-1)。1971 年,Haesler 和 Kiefer 首次报告了采用体外冲击波未接触结石而将结石击碎,进一步又做了大量采用体外冲击波未接触结石,而将结石击碎的实验研究。1972 年,多尼尔公司与慕尼黑的 Lndwing Maximilians 大学的外科研究所所长布兰德尔霍夫教授等正式合作,开始从体外冲击波碎石装置到临床应用等一系列的研究。

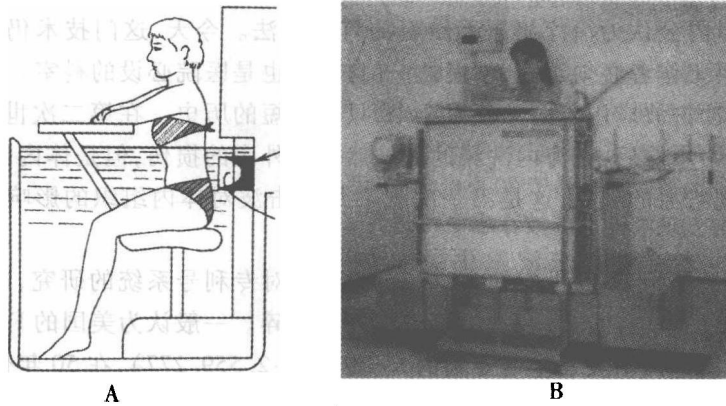


图 1-1 进行冲击波碎石治疗(A、B)的最初设想

1974 年,德国科学院资助了“ESWL 的应用”,参加该项目的著名学者有 Chaussy、Eisenberger、Frssman 等(图 1-2)。发现水中冲击波聚焦原理,利用金属半椭圆反射体可以实现冲击波的聚集,这为实用的碎石技术奠定了基础。1976—1977 年,科学家做了很多实验以寻找结石定位方法。当时表明 A 型及 B 型超声设备不能进行满意的结石定位,采用双束 X 线交叉,才能进行准确的结石定位(图 1-3)。

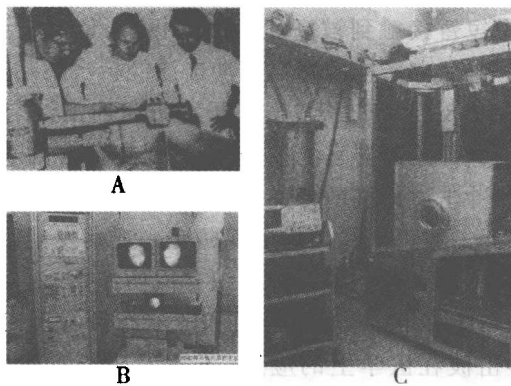


图 1-2 体外冲击波碎石技术的先驱——著名学者 Chaussy、Eisenberger、Frssman 等(A)以及他们所用的实验机器(B、C)

1978年,多尼尔公司研制出第一台双X线交叉定位水槽式体外冲击波碎石机供动物实验应用,随后进行了大量的动物实验,并成功治疗了移植到犬肾中的人体结石。

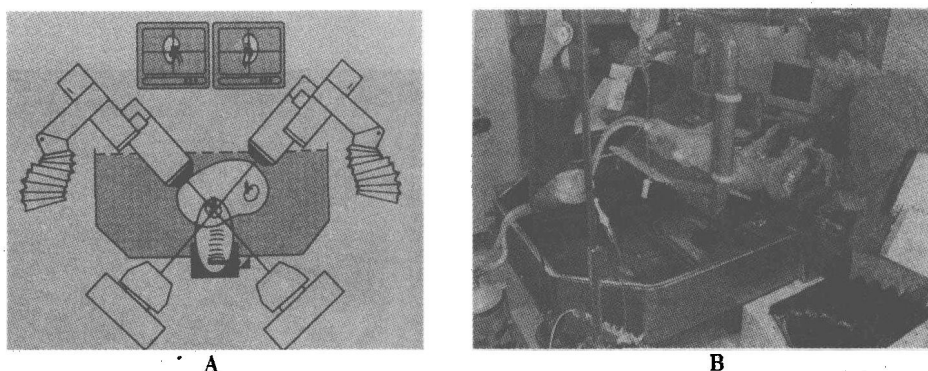


图 1-3 1976—1977年,科学家们发现采用双束X线交叉,可进行准确的结石定位(A),成功治疗了移植到犬“肾中的人体结石(B)”

1979年,多尼尔公司研制出世界上第一台实用型双X线定位水槽式Dornier HM<sub>1</sub>型体外冲击波碎石机。并于1980年2月20日由Chaussy等在德国Ludwig Maximilian-Lians大学泌尿外科首例治疗肾结石患者获得成功。原形机称为Dornier Lithotripter HM<sub>1</sub>(图1-4)。

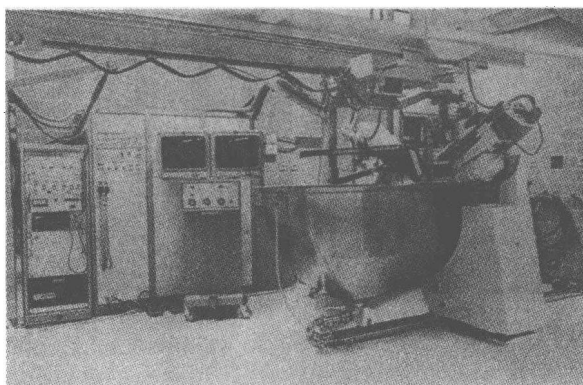


图 1-4 1980年,德国使用的第一代碎石机,称为Dornier Lithotripter HM-1

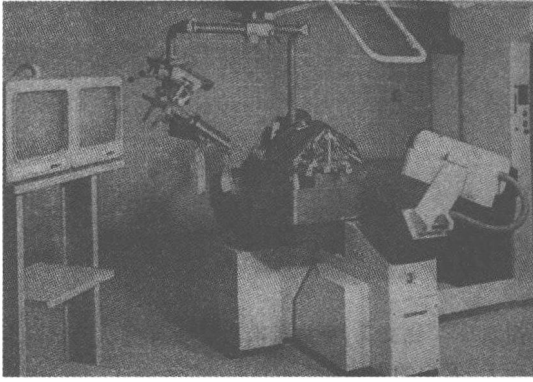
1982年,经过进一步完善的Dornier HM<sub>2</sub>型体外冲击波碎石机取代HM<sub>1</sub>,治疗了800名患者,碎石时患者睡在一个大的水槽中进行。次年,开始体外冲击波治疗胆囊结石的体外和体内实验研究。

1983年,多尼尔公司对HM<sub>2</sub>型机加以改进后推出性能更加完善的HM<sub>3</sub>型商品化碎石机。第一台商用型碎石机, HM<sub>3</sub>(图1-5), Dornier在德国斯图加特安装。并开始在欧洲、美国和日本等国应用。从此,ESWL迅速推广到世界各地,国际上出现生产体外冲击波碎石机的高潮。到1987年,国外生产厂家便有11家,各式碎石机相继推向市场。到1989年,国外碎石机台数超过600台,ESWL治愈的患者已超过200万。

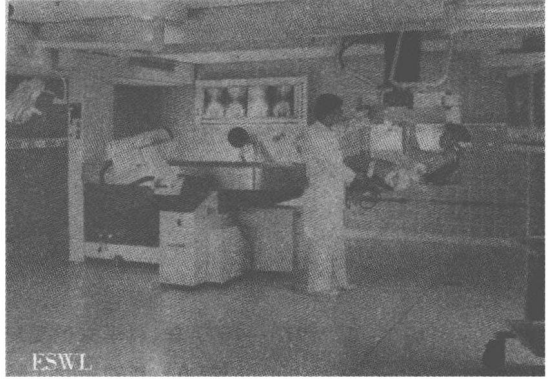
1985年,在德国慕尼黑首次采用ESWL治疗胆囊结石。一年以后,在德国美因兹试制了第一台没有水槽的碎石机。

## ◎ 体外冲击波碎石技术 ◎

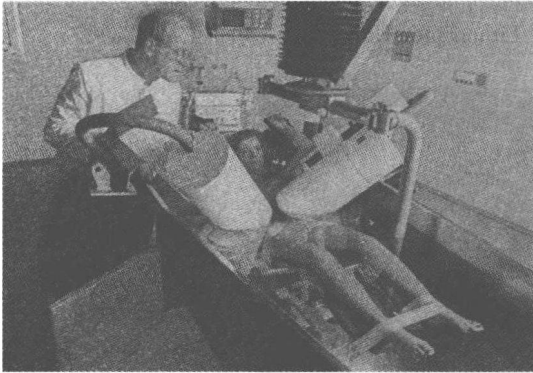
冲击波发生器的设计也在不断变化,1980年研制出液电式(electro-hydraulic ellipsoid)碎石机(图1-6),1985年研制出压电式碎石机(图1-7),1986年研制出透镜电磁式碎石机和1989年研制出圆筒电磁碎石机(图1-8)。



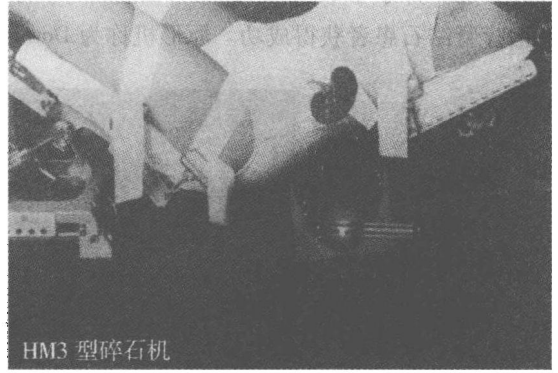
A



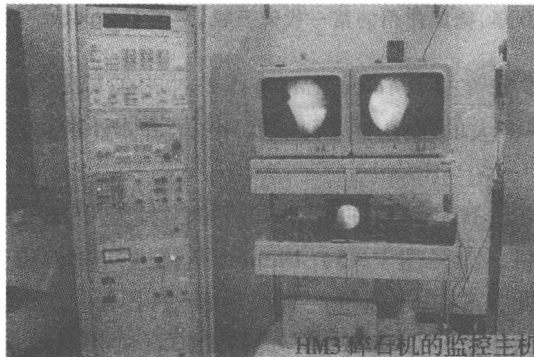
B



C



D



E

图1-5 HM<sub>3</sub>型碎石机

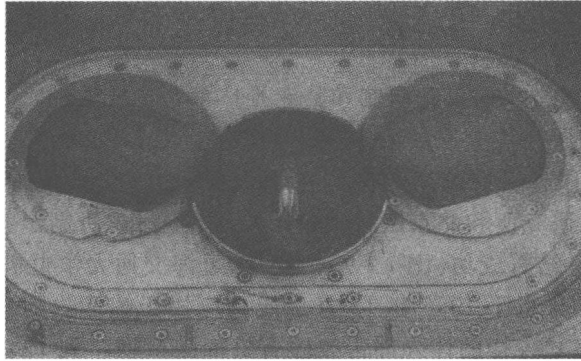


图 1-6 液电式碎石机示意图

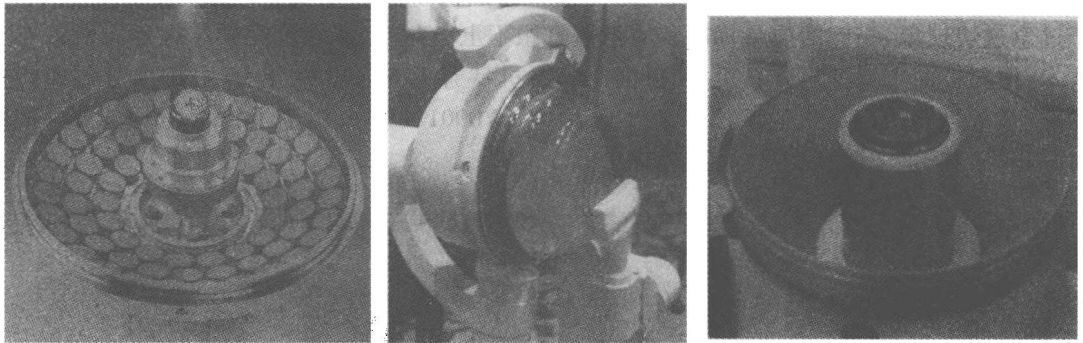


图 1-7 压电式 (piezo - electric sphere) (碎石机示意图)

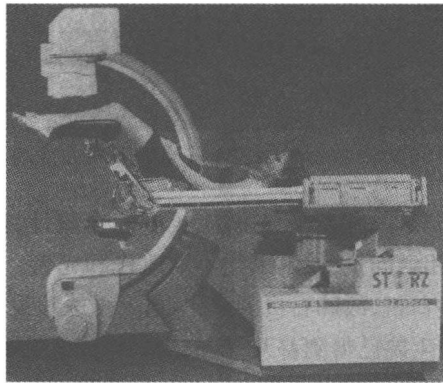


图 1-8 透镜电磁式碎石机和圆筒电磁式碎石机示意图

1985 年超声波技术用于碎石机的结石定位。

1990 年,国外碎石机出现了新的变化。碎石机改为“干式”,大的水槽代之以水囊;冲击波源由主要应用液电式逐步较多的采用电磁冲击波源;定位系统由固定式双束 X 线交叉定位改为单束 X 线 C 型臂定位,甚至可将 X 线球管与冲击波发生器在同一轴线上,使定位更加准确,操作更加方便。目前,大多数碎石机都能应用 X 线和 B 超双定位。这些改进大大简化了碎石机的构造,降低造价,方便治疗。

今天,采用 ESWL 治疗肾、输尿管结石是临床首选。现代碎石机可采用 X 线或 B 超定位

## ◎ 体外冲击波碎石技术 ◎

系统,不局限于作为碎石治疗。冲击波治疗是安全的、有效的。但是,不小心谨慎的使用冲击波也可引起严重的损伤。

在我国,体外冲击波技术的设备研制和临床推广都是比较快的。

1982年,在著名泌尿外科专家吴阶平院士、郭应禄院士和声学专家王德昭院士的主持下,由北京医科大学泌尿外科研究所与中国科学院声学研究所共同研究此项技术,1984年10月,中国科学院电工研究所和北京医科大学附属医院合作,研制出我国第一台实验样机,1985年首次临床治疗肾结石成功(图1-9)。同年,上海交通大学电机系与上海医科大学附属中山医院合作研制的样机于1985年12月也成功应用于临床。随后全国有十几家生产、科研单位相继生产出各式各样的体外冲击波碎石机推向市场。到1989年,有近300台碎石机投入使用,其发展速度之迅速在中国医疗器械发展史上是前所未有的。国产碎石机大部分性能不逊于国外产品,而且价格较低,因而占据国内市场主导地位。但由于存在研制、生产过急过快现象,相应的质量标准和质量监督跟不上,有些厂家还没完全掌握碎石机的有关技术,便匆忙向市场推出碎石机,使得国产碎石机良莠不齐。1990年10月国家分颁布行业标准《体外冲击波碎石机通用技术条件》(称为YY0001-90),规范了技术、安全要求,使我国碎石机生产走上健康发展的道路。

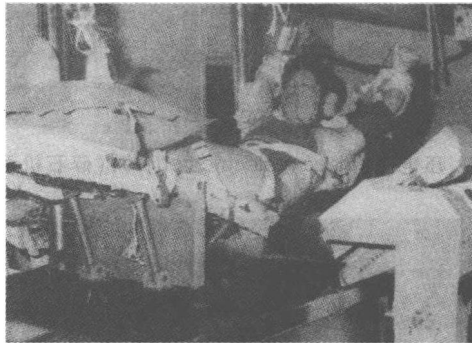


图1-9 1984年,我国研制出第一台碎石机并成功应用于临床

我国碎石机研制虽然起步较晚,但发展速度快,据不完全统计,目前全国已有30多家生产碎石机的厂家,各种新型碎石机相继问世,技术工艺不断改进和完善。因国产碎石机性能价格比和售后服务等多方面大大优于进口机,故碎石机国家化,居大型医疗设备之首。2007年统计,体外冲击波碎石机在县、乡镇、乡镇卫生院已得到普及,从水槽式→液电式→电磁式→脉冲式→复式脉冲式。B超与X线双向定位,而且碎石技术也得到了很快的发展(图1-10)。

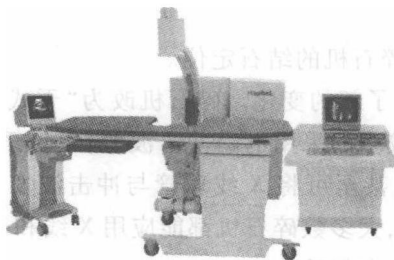


图1-10 X线、B超双向定位体外冲击波碎石机

## 第二章 体外冲击波碎石的基本原理

### 第一节 体外冲击波碎石机的工作原理

体外冲击波碎石术,从 1980 年问世迄今的 30 年中,无论医学上还是设备方面发展迅速,但工作原理基本相同,包括两个基本的组成部分:粉碎结石的核心技术——冲击波源和确定人体内结石位置的定位系统。

我们选择国际上体外冲击波碎石术的开拓者 Domier 公司最早推出的 HM3 型机,来阐述体外冲击波碎石术的工作原理。

在一个大型不锈钢盆内的底部,安一个半椭球形的金属反射体,在它里面的一个焦点  $f_1$  上,固定了一个同轴结构的放电电极。当这个电极上产生高电压(10 ~ 30kV),大电流(10 ~ 20kA)脉冲放电时,在放电中心将由于放电弧道的急剧膨胀而形成高能冲击波,从放电中心向外传播。当冲击波遇到半椭球反射面时,将被反射并聚焦到该椭球体的另一个焦点  $f_2$  上,这时它可以出现 10 ~ 100MPa 的高压力。如人体内的结石调整到这个位置,将随着一次次放电产生的冲击,逐步粉碎成可以自然排出的颗粒(直径为 3mm 以下)。

为了观察与确定人体内结石的状态和位置, HM3 型机采用两束交叉的 X 线定位系统。两束 X 线中心轴线的交点同椭球反射体的第二焦点  $f_2$  相重合。这样通过 X 线的监视器屏,不仅可以观察到结石形态,而且可以确定它的位置。在治疗患者前,在反射体  $f_2$  上设置一个金属球就可事先在 X 线监视器屏上确定它的位置,并作好标志。在治疗患者时,只要在 X 线监视下调整人体,将体内结石调整到事先做好的标志上,那么就意味着体内结石已处在反射体的第二焦点  $f_2$  上,就可以开始冲击治疗。

为了减少患者与医护人员在治疗过程中吸收的 X 线剂量,目前普遍使用 X 线电视系统,这样,一个患者接受一次冲击波碎石治疗,患者所吸收的 X 线剂量约相当于拍摄一次 X 线平片的剂量。但是由于 X 线电视系统性能水平的差异,对于常年工作的医护人员, X 线剂量问题仍然使人担忧。

虽然体外冲击波碎石术的工作原理并不复杂,但它是迄今为止,世界上最昂贵的医疗设备之一。这是为了确保有效碎石而对人体无害,不仅需要解决一系列的科学和医学问题,而且集合着当代许多先进技术,是一项综合性高科技医疗新技术。

### 第二节 体外冲击波碎石术的科学基础

体外冲击波碎石术的巨大成功,是建立在一系列科学理论基础上的,而它那令人惊异的神奇色彩,则是由于它十分巧妙地综合利用了许多经验和知识。

1. **冲击波可以携带巨大能量** 从流体动力学的理论知识可以知道,液体中形成的冲击波,不仅同样具有陡峭的压力前沿(冲击波厚度是 mm 的量级上升时间是  $10^{-8}$  s 的量级),而且可以具有  $10^2 \sim 10^3 \text{ kg/cm}^2$  的峰值压力。这意味着它可以携带巨大的能量。例如战争中,在飞机、舰艇附近爆炸的炮弹、鱼雷是凭借冲击波,破坏目标的核爆炸形成的,冲击波风能将建筑物扫为平地。

2. **人体组织与结石在性质上的差异** 前者近似为弹性体,能够承受比较高的拉伸内应力,而后者近似为脆性材料,拉伸强度极限差不多,为其挤压强度极限的十分之一,就是说结石承受很高的挤压力,而经不起拉伸力。

3. **材料破坏的两种机制** 结石的破碎可以有两种途径完成,一种是大能量冲击的迅速粉碎(冲击强度材料破损的极限强度),另一种则是小能量冲击的缓慢粉碎过程(冲击强度上材料极限强度)(图 2-1)。在医学上因为对象是人,自然采用后一种途径,让结石在不断小能量冲击下逐渐出现裂缝开裂,破碎直至粉碎。

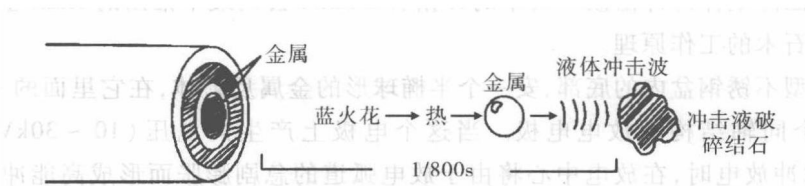


图 2-1 结石粉碎两种途径

4. **冲击波特性的科学选择** 冲击波的特性可以千差万别。在体外冲击波碎石术中最关键的问题是它必须有良好的反射聚焦特性,穿透特性以及冲击波适当的强度,当它在人体内传播时,既能粉碎结石、又不会对人体组织造成不可逆的损伤。

5. **水介质的采用** 国际上冲击波源占绝大多数的是液电冲击波源,这不仅需要水介质才能产生符合,体外冲击波碎石术要求的冲击波,而且水是冲击波进入人体所必需的中间耦合介质,这是因为人体密度接近于“1”,与水相近这样冲击波在人体与水的界面上也近似在一个均匀场中传播一样,冲击波可以最有效的进入人体。

6. **椭球反射体的巧妙使用** 为了降低进入人体时的能量面密度(单位面积的能量),选择椭球反射体成功地解决了这问题。这样放电产生的冲击波所携带的能量,进入人体时分布在反射体口径的面积内,到了人体内部聚焦增强,达到粉碎结石的目的。

7. **液电冲击波源的优越性** 体外冲击波碎石术,每治疗一个患者要产生几百、几千次不能损伤肌体的冲击波,这是由液电效应产生的,它具有一系列独特的优越性;使用最常用能源,冲击波特性好,重复性好,变化冲击能量方便等。

综合上述,冲击波源发生系统、结石定位的 X 线定位或 B 超显像系统,充分说明,体外冲击波碎石术是一项综合当代科学技术的先进医疗技术。

### 第三节 体外冲击波源及其特性

冲击波源是体外冲击波碎石术的核心技术,它决定着粉碎结石效果、治疗工作效率与对患者身体的影响。因为冲击波是在体外发生,然后通过人体去粉碎结石,这就对冲击波特性



提出比较高的要求:①冲击波必须携带足够的能量,当它通过人体作用到结石上时,它产生的内应力要超过结石的强度极限;②要求在合适的介质中传播,耦合进入人体时的衰减比较小;③冲击波应该具有良好的方向性——聚焦特性;④能够连续不断地产生特性稳定的冲击波压力脉冲;⑤必须对人体组织与脏器无影响,或影响很小。

为了达到上述要求,体外冲击波碎石术使用的冲击波,必须有陡峭的压力前沿,窄的脉冲宽度与相当高的强度(30~100MPa)。

在国际上,体外冲击波碎石术使用的冲击波源,主要有三种:液电冲击波源、压电晶体脉冲超声波源与电磁脉冲波源。其他如激光冲击波源和爆炸冲击波源,只是在反射体底部用激光聚焦,然后产生冲击波或者在焦点上的微炸药球连续爆炸产生冲击波。由于这两种冲击波源实际上并没有推广应用,故而不加以详细介绍。

### 一、液电冲击波源

液电冲击波源是在一个椭球反射体内电能通过液体中火花放电的方式转化为热、光、力、声等其他形式的能量。在体外冲击波碎石术中,只是利用它的力学效应——冲击波(图2-2)。

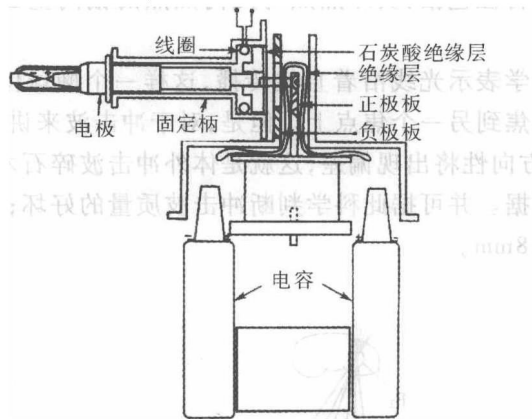


图 2-2 液电效应原理图

#### (一)液电冲击波的基本参数及其意义

冲击波是一种机械波,从流体动力学的理论叙述则是一种流体动力学参数跳跃变化的强间断面。它的特性主要有三个参数;冲击波的上升前沿( $dp/dt$ ),峰值压力  $P_m$  与脉冲宽度。在体外冲击波碎石术中上升前沿一般用时间表示( $10^{-8} \sim 10^{-7}s$  的量级);而脉冲宽度采用 1/2 峰值压力处的宽度 [ $(0.2 \sim 1) \times 10^{-6}s$  的量级]。

冲击波的上升前沿反映压力从零到峰值所需的时间,影响它在物质中传播时形成的压力梯度( $dp/dr$ ),决定着内应力的大小;前沿越陡,压力梯度越大,内应力就越高,物质就越容易破碎。冲击波的峰值压力决定着它的强度,携带能量的大小,直接影响结石破碎效果。冲击波的宽度决定着它所含的频率成分。因为一个脉冲波可以看做是许多频率成分的正弦波的组合,脉冲愈窄,则其频带愈宽,可以从几十赫到几兆赫,频率愈高,波长愈短,粉碎的颗粒也就愈细。所以,冲击波的三个基本参数直接影响碎石的效果(图2-3)。