

国家级继续医学教育项目
国家自然科学基金资助项目

推荐用书

骨肌疾病 体外冲击波疗法

主 编◎邢更彦



GUJI JIBING TIWAI
CHONGJIBO
LIAOFA

 人民军医出版社
PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

国家级继续医学教育项目
国家自然科学基金资助项目

推荐用书

骨肌疾病体外冲击波疗法

GUJI JIBING TIWAI CHONGJIBO LIAOFA

主 编 邢更彦

编 著 者 (以姓氏笔画为序)

王五洲 王旭明 邢更彦 李 冰

江 明 余 磊 张 化 张 驾

赵 喆 姜 川 翟 磊

学术秘书 翟 磊



人民军医出版社

People's Military Medical Press

北 京

图书在版编目(CIP)数据

骨肌疾病体外冲击波疗法/邢更彦主编. —北京:人民军医出版社,2007.8
ISBN 978-7-5091-1154-3、

I. 骨… II. 邢… III. 冲击波—应用—骨疾病—治疗 IV. R681.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 117708 号

策划编辑:张怡泓 文字编辑:罗子铭 责任审读:余满松

出版人:齐学进

出版发行:人民军医出版社

经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱

邮编:100036

质量反馈电话:(010)51927270;(010)51927283

邮购电话:(010)51927252

策划编辑电话:(010)51927300—8026

网址:www.pmp.com.cn

印刷:三河市春园印刷有限公司 装订:春园装订厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:12.25·彩页 1 面 字数:295 千字

版、印次:2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

印数:0001~3500

定价:65.00 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

内 容 提 要

本书分总论、各论两部分共 8 章。总论部分系统地介绍了体外冲击波的物理特性、生物学基础、临床应用概述等。各论部分详细地介绍了体外冲击波疗法治疗上肢和下肢软组织慢性损伤疾病、股骨头缺血性坏死、骨不连及骨折延迟愈合以及体外冲击波疗法联合自体骨髓间充质干细胞移植治疗骨不连及股骨头缺血坏死等方面的内容。本书是作者总结自己的临床经验和参考国内外有关文献编著而成，科学性、实用性强，是有关体外冲击波疗法治疗骨肌疾病较为系统、实用的参考书。可供临床骨科医生和有关科室医生阅读参考。



主编简介

邢更彦，武警总医院骨关节外科主任，医学博士，主任医师，硕士研究生导师，国际体外冲击波疗法联合会委员，享受政府特殊津贴。体外冲击波疗法研究获国家自然科学基金资助，获省部级以上科技进步二等奖5项，发表学术论文40余篇，编写专著3部。



从事骨科临床工作25年，有丰富的临床经验，师从著名骨科专家葛宝丰院士，善长四肢骨与关节及脊柱创伤、显微外科、骨病、骨肿瘤，尤其在严重创伤、血管神经伤救治、带血供的骨移植治疗股骨头无菌性坏死及骨不连、严重四肢骨与关节粉碎性骨折切开复位内固定、人工关节置换、脊柱滑移、脊柱转移瘤治疗等方面有丰富经验。在国内独创体外冲击波疗法治疗肩周炎、网球肘、足跟痛、陈旧性软组织损伤、骨折延迟愈合、骨不连及股骨头无菌性坏死等疾病，获得满意疗效。近年来，开展自体骨髓干细胞移植联合冲击波疗法治疗股骨头缺血坏死及骨不连，取得了满意的疗效。

前 言

体外冲击波疗法作为近年来骨科领域的崭新非侵入性治疗方法,可治疗骨折不连接、股骨头缺血性坏死、肩关节钙化性肌腱炎、网球肘、足底筋膜炎等顽固性骨肌病变,相对于传统的外科手术,该技术有许多优势,如:几乎不必住院、术后疼痛程度降低、并发症少、治疗周期短、治疗风险低、治愈概率高等,已成为一种全新的非手术治疗方法。美国食品药品监督管理局、欧洲各国食品药品监督管理局及中国国家药品监督管理局均相继核准该技术用于治疗骨肌系统疾病。从1994年起,全球超过20万人成功地接受体外冲击波疗法治疗,许多人因此免除了手术治疗。随着相关基础研究不断深入,为揭示体外冲击波疗法治疗骨肌系统疾病作用机制提供了许多重要依据。我们有理由相信体外冲击波疗法一定会成为治疗运动系统疾病的重要方法。

我们于1993年首先在国内应用该技术治疗骨科疾病,坚持临床应用与基础理论研究密切结合,先后应用该疗法治疗骨折不连接、肌腱末端痛及股骨头缺血性坏死等疾病,证明疗效显著。期间尽管遇到了许多困难,仍不懈努力,发表相关学术论文40余篇,并获得国家自然科学基金、首都医学发展基金及武警部队科研基金的资助,获省部级奖6项,其中科技进步二等奖5项。2003年开办了“骨肌系统体外冲击波疗法网站(网址:www.eswtcn.com)”,2006年10月在北京成功举办了国家继续教育项目“首届全国骨肌系统体外冲击波疗法研讨会及学习班”。

本书是在“首届全国骨肌系统体外冲击波疗法学习班讲义”的基础上,增加了一些新内容,较全面介绍了骨肌系统疾病体外冲击波疗法。全书共分两篇、八章,分别就体外冲击波的物理学基础、生物学基础、体外冲击波疗法的临床应用原则以及该疗法治疗骨及软组织疾病等进行了论述,并配有较多的图片。本书图文并茂、通俗易懂,便于从事相关专业的读者学习掌握此项技术。参加编写的作者均为本学科的研究生和临床医师,他们以极大的热情投入本书资料收集和编写工作,研究生李志国、刘运晃、王明波等均给予了大力协助,人民军医出版社张怡泓主任给予了热情帮助,在此一并表示衷心的感谢!

由于时间仓促,水平及经验有限,难免认识肤浅,甚至错误,敬请各位前辈及同道批评指正。

邢更彦

2007年7月于武警总医院

目 录

绪 论	(1)
-----	-----

第一篇 总 论

第一章 体外冲击波的物理特性	(9)
第一节 体外冲击波的形成与波形	(9)
第二节 体外冲击波的物理机制	(18)
第三节 体外冲击波的作用原理	(29)
第四节 体外冲击波治疗机的类型	(31)
第五节 体外冲击波治疗机的定位系统	(38)
第六节 用于骨科与用于泌尿系的冲击波的差异	(42)
第二章 体外冲击波的生物学基础	(45)
第一节 体外冲击波研究的常用实验模型	(45)
第二节 体外冲击波的生物效应	(50)
第三节 体外冲击波对骨及相关组织的生物学效应	(53)
第四节 体外冲击波对相关细胞的代谢影响	(56)
第五节 体外冲击波生物学效应的分子机制研究	(62)
第三章 体外冲击波疗法的临床应用概述	(76)
第一节 体外冲击波疗法的适应证	(77)
第二节 体外冲击波疗法的禁忌证	(80)
第三节 体外冲击波疗法的定位方法	(81)
第四节 体外冲击波疗法的操作	(85)
第五节 体外冲击波疗法的护理要求	(87)

第二篇 各 论

第四章 上肢软组织慢性损伤疾病	(95)
第一节 肱二头肌长头肌腱鞘炎	(96)
第二节 肩钙化性肌腱炎	(103)

第三节	肩峰下滑囊炎·····	(112)
第四节	肱骨外上髁炎·····	(116)
第五节	肱骨内上髁炎·····	(122)
第五章	下肢软组织慢性损伤性疾病·····	(127)
第一节	胫骨结节骨软骨炎·····	(127)
第二节	跟痛症·····	(132)
第六章	股骨头缺血性坏死·····	(148)
第一节	应用解剖·····	(148)
第二节	病因及病理·····	(153)
第三节	临床表现与诊断·····	(154)
第四节	临床常用治疗方法·····	(156)
第五节	冲击波疗法·····	(158)
第七章	骨不连及骨折延迟愈合·····	(163)
第一节	骨不连及骨折延迟愈合的定义·····	(163)
第二节	病因病理·····	(163)
第三节	临床表现·····	(166)
第四节	诊断与鉴别诊断·····	(166)
第五节	临床常用治疗方法·····	(167)
第六节	冲击波疗法·····	(168)
第八章	体外冲击波疗法联合自体骨髓间充质干细胞移植治疗骨病·····	(176)
第一节	骨髓间充质干细胞特性及分离纯化·····	(176)
第二节	体外冲击波疗法联合骨髓间充质干细胞移植治疗骨不连·····	(178)
第三节	体外冲击波疗法联合骨髓间充质干细胞移植治疗早期股骨头坏死·····	(182)
第四节	体外冲击波疗法联合骨髓间充质干细胞移植治疗骨不连和早期股骨头坏死的可能机制——土壤种子学说·····	(184)
附录	1. 股骨头坏死分期对照表·····	(187)
	2. Harris 评分表·····	(188)

绪 论

冲击波是一种机械波,具有声学、光学和力学的某些性质。广义上的冲击波在生活中随处可见,如震动、雷电、爆炸和超音速航空器等均能产生冲击波,都具有压力瞬间增高和高速传导的特性,只是在能量、频率和产生方式等方面有所差别。20世纪80年代初德国医生首先利用高能冲击波击碎泌尿系统结石,使患者免除手术。1988年,Graff等人在动物实验过程中无意中发现了体外冲击波(extracorporeal shock wave,ESW)的成骨作用。此后很多人开始研究震波对骨折愈合的促进作用。90年代开始,世界各地一些骨科医学中心开始利用体外冲击波治疗骨不连、骨折延迟愈合及慢性软组织损伤性疾病,取得了明显的疗效。由此逐渐演变产生了治疗骨肌系统疾病的体外冲击波疗法(extracorporeal shock wave therapy,ESWT)。

ESWT作为近年来骨科领域的崭新非侵入性治疗方法,可促进骨折愈合、治疗股骨头缺血性坏死及肩关节钙化性肌腱炎、网球肘及足底筋膜炎等顽固性骨肌病变,它作用于人体通过力化学信号转导产生生物学效应,达到组织细胞再生以及修复的功能。相对于传统的外科手术,该项技术有许多优势,如几乎不必住院、术后疼痛程度大为降低、并发症少、治疗周期短、治疗风险低于外科手术,治愈概率高,已成为一种全新的非手术治疗方法。

ESW是利用声波经由反射器反射后集中成高能量的冲击波。冲击波的能量是超音波的1000倍左右,它作用于人体造成物理冲击,刺激生长激素释放,导致微血管新生,

达到组织再生以及修复的目的。根据冲击波波源产生的不同形式,现阶段骨肌系统体外冲击波治疗机分为4种:液电式、电磁波式、压电式及气压弹道式(放射式),前3种治疗机属传统的体外冲击波治疗机,均通过反射体将能量聚焦于治疗部位进行治疗。而气压弹道式(放射式)冲击波治疗机不同于前3种治疗机,不需要聚焦能量,通过可自由移动的冲击波治疗探头,由气压弹道产生的冲击波以放射状扩散的方式传送至治疗部位。相对于传统的体外冲击波疗法,放射式冲击波疗法还具有易于操作、安全、治疗费用低等特点,更适合于治疗软组织慢性损伤性疾病,国外多中心研究显示该类体外冲击波疗法治疗肩部钙化性肌腱炎、网球肘、足底筋膜炎及慢性跟腱炎疗效满意,而传统的体外冲击波治疗机更适宜于治疗骨组织疾病。体外冲击波疗法是利用液电能量转换及传递原理,造成不同密度组织之间产生能量梯度差及扭拉力,产生裂解硬化骨、松解粘连、刺激微血管再生、促进骨生成等作用,达到治疗疾病的目的。

20世纪90年代后期,世界各地的临床及基础研究不断深入。1997年12月欧洲骨肌系统冲击波疗法联合会(The European Society for Musculoskeletal Shockwave Therapy,ESMST)在奥地利维也纳成立。1998年在土耳其的伊兹密尔举行了第1届国际骨肌系统冲击波疗法会议,1999年在英国伦敦年会上ESMST更名为ISMST(International Society for Musculoskeletal Shockwave Therapy),至此“国际骨肌系统

冲击波疗法联合会”正式成立。ISMST 每年举办一次国际骨肌系统冲击波疗法年会,已举行 10 届年会。

ESWT 在欧洲,尤其是德国、瑞士、奥地利及英国已核准该技术应用于临床,中国国家食品药品监督管理局(SDA)于 2000 年 8 月批准国产 ESWT 治疗机用于临床治疗骨科疾病[注册号:国药管械(试)字 2000 第 302156 号],美国食品药品监督管理局(FDA)已于 2000 年 10 月及 2002 年核准通过 ESWT 用于足底筋膜炎及网球肘的临床治疗,韩国 KFDA 也在 2002 年核准。

(一)ESWT 的适应证和禁忌证

1. ESWT 适应证 骨组织疾病:①骨折延迟愈合;②骨折不连接;③成人股骨头缺血性坏死。软组织慢性损伤性疾病:①肩峰下滑囊炎;②肱二头肌长头腱炎;③钙化性冈上肌腱炎;④肱骨内上髁炎;⑤网球肘;⑥弹响髌;⑦跳跃膝即胫骨结节骨骺骨软骨炎;⑧跟痛症。

2. ESWT 禁忌证 全身性因素:①严重心脏病、心律失常及高血压;②安装有心脏起搏器患者;③未治愈的出血性疾病凝血功能障碍患者;④使用抗免疫药剂;⑤各类肿瘤患者;⑥血栓形成患者;⑦孕妇。局部因素:①局部感染及皮肤破溃患者;②肌腱及筋膜急性损伤;③关节液渗漏的患者;④冲击波焦点位于脑及脊髓组织者;⑤冲击波焦点位于大血管及重要神经干者;⑥冲击波焦点位于肺组织者;⑦萎缩及感染性骨不连;⑧大段缺损性骨不连。

(二)ESWT 的治疗方法

1. 麻醉与止痛 对于主诉疼痛者,应该予以充分止痛。国外统计的资料表明,由于 ESWT 不同于体外冲击波碎石术,所用能量高出后者 1/3 至 1 倍,多数患者无法耐受由此引起的疼痛。ESWT 65%~95% 的患者选用局部浸润麻醉、硬膜外麻醉、臂丛麻醉及全身麻醉。然而,根据笔者的经验,在接受治疗

(能流密度为 $0.12\sim 0.20\text{mJ}/\text{mm}^2$)的患者中多数有疼痛感,但是,除 20% 的患者行局部浸润麻醉外,其他患者均不需麻醉,而治疗效果同样令人满意。

2. ESWT 的定位 从 ESWT 的最新研究进展显示准确定位是提高疗效的重要因素之一。有学者比较研究了 X 线钙化点准确定位方法与体表冈上肌腱定位法治疗肩部钙化性肌腱炎的疗效,证实前者疗效明显优于后者。认为治疗肩部钙化性肌腱炎应使用 X 线钙化点定位,以提高治愈率。现阶段有以下三种定位方法:

(1)体表解剖标志结合痛点定位:以体表解剖标志作为定位依据,并以触痛点为冲击点,同时根据血管、神经的解剖走行,避开重要的血管、神经。如肩峰下滑囊炎以肩峰为标志,在肩峰下滑囊的体表定位区内寻找触痛点,并以触痛点为冲击波治疗点。

(2)X 线定位:用于骨组织及钙化组织的定位。骨本身密度很高,与周围软组织有良好的自然对比度,所以 X 线检查是临床骨科最重要的检查方法之一:①C 形臂单 X 线管电视透视旋转式定位系统;②C 形臂双 X 线管定位系统。必要时可辅以摄片定位。

(3)B 超定位:B 超能清晰地显示骨骼周围软组织病变,如肌肉、肌腱、关节囊、韧带、滑囊、血管等。B 超检查无创、无放射线损害,操作简便、迅速、价格低,是非常重要的检查手段。通过临床实践证明,在 B 超定位下,冲击波治疗肩峰下滑囊、肱二头肌长头肌腱炎、足底筋膜炎、髌前滑囊炎可提高疗效。

3. ESWT 的治疗能量及频次

(1)冲击波能量的选择:现有的研究结果仍不能准确确定各种骨肌系统疾病的最佳治疗能量,但是,能流密度应在 $0.08\sim 0.28\text{mJ}/\text{mm}^2$ 。①肌筋膜炎及滑囊炎的治疗能量的选择:能流密度 $0.08\sim 0.18\text{mJ}/\text{mm}^2$,一般在 $6\sim 12\text{kV}$,对不同的疾患灵活掌握治疗能量;②骨折不连接、骨折延迟愈合及股骨头缺血

性的治疗能量的选择:选择能流密度 $0.18\sim 0.28\text{mJ}/\text{mm}^2$,一般在 $12\sim 26\text{kV}$,不同的治疗部位灵活掌握治疗能量。需要指出的是不同的冲击波治疗机治疗同一种疾病,所需的能流密度可能相差较大,因此,具体治疗能量应根据冲击波治疗机厂家提供的治疗参数制定。

(2)冲击频次的选择:①ESWT 治疗软组织病损:每次治疗 $800\sim 1\,500$ 频次,每次治疗间隔 $3\sim 5\text{d}$,并根据病情灵活掌握;②ESWT 治疗骨组织病损:有两种方法,一种是足量 1 次,一般冲击 $4\,000\sim 6\,000$ 频次;另一种适量多次,每次治疗 $1\,000\sim 2\,000$ 频次,治疗 3 次以上,每次治疗间隔 $3\sim 5\text{d}$ 。欧美国家由于受到医疗保险制的限制,如果患者治疗次数多时间长,保险公司赔付率将非常高,因此,要求医生必须短时间内 1 次治疗,这样就决定了欧美国家冲击波疗法多采取 1 次足量法。而为防止产生并发症,我们采取适量多次法,疗效同样令人满意。两种治疗方法哪一种方法疗效好,目前仍无定论。

(三)冲击波疗法机制研究及进展

1. 基础研究部分 我们通过对骨髓间充质干细胞(human mesenchymal stem cells, hMSCs)进行分离纯化与培养,并对其进行体外冲击波(ESW)干预,综合应用四甲偶氮唑盐法(MTT)、免疫细胞化学染色、酶细胞化学法、 $\text{H}^3\text{-TdR}$ 标记放射性自显影、流式细胞计等技术以及倒置相差显微镜和透射电镜,重点观测了 ESW 干预对骨膜成骨细胞有丝分裂活动及 hMSCs 增殖与分化情况、成骨活性因子、MAPK 信号通路的影响。结果发现, 5kV , 100 次的体外冲击波可以明显提高骨膜成骨细胞的 $\text{H}^3\text{-TdR}$ 标记率和促进 hMSCs 的生长,使 hMSCs 贴壁率升高,倍增时间缩短,增殖分裂加快,骨钙素、I 型胶原、ALP 升高总体水平高于对照组;同时促进 IGF-I、 $\text{TGF-}\beta_1$ 等成骨活性因子生成,经 Ras 有丝分裂激活蛋白激酶(MAPK)抑

制剂 PD98095 阻断 Ras/MAPK 通路后, pERK 表达显著减弱, $\text{TGF-}\beta$ 仍阳性,提示 ESW 对骨的生物学作用是通过 MAPK 通路实现, $\text{TGF-}\beta_1$ 在 hMSCs 增殖晚期参与了 ESW 对 pERK 的激活。同时将本研究成果用于临床,开展 ESWT 联合 hMSCs 移植治疗 ANFH 及骨不连,取得了满意的疗效。

2. 近来的研究发现 ESWT 还可以增强一些骨生长调节因子的表达,促进骨母细胞向成骨的分化及成骨细胞的增殖。Wang FS、Chen YJ 等还通过细胞体外培养研究了 ESWT 对骨细胞信号转导的影响。Wang FS 等以中等能量($0.16\text{ mJ}/\text{mm}^2$)冲击波影响骨髓间质干细胞,5min 后骨髓间质干细胞细胞膜出现超极化;30min 后细胞 Ras 系统被激活,说明 ESWT 有可能通过促进一些与 G 蛋白通道的开放有关的生长因子的分泌,调节 Ras 蛋白介导的信号转导通路。

3. 临床研究部分 ①ESWT 治疗软组织病损:在软组织的筋膜肌腱病变包括肩关节钙化性肌腱炎、网球肘以及足底筋膜炎等骨科疾病,治愈率在 $80\%\sim 90\%$,复发率为 $5\%\sim 7\%$;邢更彦、Rompe JD 分别报道应用体外冲击波疗法治疗网球肘、肩部软组织慢性损伤性疾病、跟痛症,疗效满意。②ESWT 治疗骨组织病损:Haupt G 及邢更彦分别应用 ESWT 治疗骨不连及骨折延迟愈合均获得了满意疗效。Beutler S 应用 ESWT 治疗长病史的骨不连病人 27 例,通过前瞻性非随机化研究证实,经 2 个疗程 ESWT 治疗 6 个月后,X 线摄片显示所有病例均有新骨形成,11 例骨不连完全愈合。另有学者应用 ESWT 治疗长期骨不连病例,4 个月后 4/6 病例完全愈合。台湾省高雄长庚医院进行 ESWT 治疗骨不连的临床试验中证实,骨不连的治愈率高达 80% 。另外,ESWT 治疗成人股骨头缺血性坏死也是这一领域的研究方向,Ludwig J、邢更彦等分别报道应用体外冲击波疗法治疗成人股骨头缺血性坏死,并取

得满意疗效。最近台湾省学者王清贞等报道 ESWT 治疗股骨头缺血性坏死取得满意疗效,引起骨科同行的广泛关注。③ESWT 联合 MSCs 移植治疗骨不连及 ANFH:体外冲击波联合骨髓间充质干细胞移植疗法,提高了骨不连的临床治愈率,缩短了骨修复愈合的时间,与单纯 ESWT 治疗比较,有显著性差异;同时对 ANFH 各期病例均有显著疗效,联合治疗后的 ARCO-Ⅱ期、Ⅲ期患者股骨头坏死改善程度较单纯 ESWT 治疗组高,差异明显,联合治疗前后 Harris 评分变化显著,3个月时 Harris 评分即明显升高,说明自体干细胞移植后股骨头坏死的修复较早、较快;与单纯 ESWT 组病例的疗效比较,差异显著($P < 0.01$),提示联合治疗疗效优于单纯 ESWT。在治疗过程中,ESWT 未有任何显著或严重的并发症发生,也未见严重的后遗症之报告,患者偶尔有轻微皮下红肿、皮下出血、局部疼痛,这些症状大多在数天内消失,充分证明体外冲击波治疗的安全性与有效性。

尽管如此,有关骨肌系统 ESWT 的临床及基础研究仍需进一步进行,ESWT 的临床适应证、治疗方法及疗效等均需深入探讨;另外,ESW 如何影响骨组织结构与代谢、诱导骨生成以及何种能量方式及强度的冲击波既具有明显的物理效应,又有显著诱导骨生成效应,ESWT 是如何在骨组织内传导并被成骨细胞感知,激活成骨活性蛋白的表达,进而诱导成骨,最佳成骨声波总量等,目前均不清楚,有待进一步研究。

(邢更彦)

参考文献

- Graff J, Richter KD, Pastor J. Effect of high energy shock waves on bony tissue. *Urol Res*, 1988;16:252-258
- 邢更彦,井茹芳. 体外冲击波治疗网球肘、肩周炎及跟痛症的研究. *中国临床康复杂志*, 2001; 5(11):30-31
- Ludwig J, Lauber S, Lauber HJ, *et al.* High energy shock wave treatment of femoral head necrosis in adults. *Clin Orthop*, 2001; 387(6): 119-126
- Schaden W, Fischer A, Sailler A. Extracorporeal shock wave therapy of nonunion or delayed osseous union. *Clin Orthop*, 2001; 387(6): 90-94
- Wang CJ, Chen HS, Chen CE, *et al.* Treatment of nonunions of long bone fractures with shock waves. *Clin Orthop*, 2001; 387(6): 95-101
- Rompe JD, Rosendahl T, Schollner C, *et al.* High-energy extracorporeal shock wave treatment of nonunions. *Clin Orthop*, 2001; 387(6): 102-111
- 邢更彦,井茹芳,杨传铎. 体外冲击波治疗跟痛症及网球肘肩周炎的临床研究. *中华物理医学与康复杂志*, 2001; 18(6): 325-326
- Ogden JA, Alvarez RG, Levitt R, *et al.* Shock wave therapy in musculoskeletal disorders (review). *Clin Orthop*, 2001; 387: 22-40
- Pan PJ, Chou CL, Chiou HJ, *et al.* Extracorporeal shock wave therapy for chronic calcific tendinitis of the shoulders; a functional and sonographic study. *Arch Phys Med Rehabil*, 2003; 84(7): 988-993
- 邢更彦,白晓东,杜明奎等. 体外冲击波治疗成人股骨头缺血性坏死的疗效观察. *中华物理医学与康复杂志*, 2003; 25: 472-474
- Theodore GH, Buch M, Amendola A, *et al.* Extracorporeal shock wave therapy for the treatment of plantar fasciitis. *Foot Ankle Int*, 2004; 25(5): 290-297
- Melegati G, Tornese D, Bandi M, Rubini M. Comparison of two ultrasonographic localization techniques for the treatment of lateral epicondylitis with extracorporeal shock wave therapy: a randomized study. *Clin Rehabil*, 2004 Jun; 18(4): 366-370
- Orhan Z, Ozturan K, Guven A, Cam K. The effect of extracorporeal shock waves on a rat

- model of injury to tendo Achillis. A histological and biomechanical study. *J Bone Joint Surg Br*, 2004 May;86(4):613-618
- 14 Haake M, Deike B, Thon A, Schmitt J. Exact focusing of extracorporeal shock wave therapy for calcifying tendinopathy. *Clin Orthop*, 2002 Apr;(397):323-331
- 15 Harniman E, Carette S, Kennedy C, Beaton D. Extracorporeal shock wave therapy for calcific and noncalcific tendonitis of the rotator cuff; a systematic review. *J Hand Ther*, 2004 Apr-Jun; 17(2):132-151
- 16 Martini L, Fini M, Giavaresi G, Torricelli P, de Pretto M, Rimondini L, Giardino R. Primary osteoblasts response to shock wave therapy using different parameters. *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*, 2003 Nov; 31(4): 449-466
- 17 Huang HY, Wang CJ, A Preliminary Comparative Histomorphological and Immunohistochemical Analysis of Avascular Necrosis of the Femoral Head in Patients Before and After High-Energy Shockwave Therapy. The 7th International Congress of the ISMST, 2004. 4. Kaohsiung
- 18 邢更彦,姚建祥,刘玉祥等. 体外冲击波技术治疗肱骨外上髁炎. *中华理疗杂志*, 1995;18(4): 235-236
- 19 Rompe JD, Hopf C, Kullmer K, *et al.* Low-energy extracorporeal shock wave therapy for persistent tennis elbow. *International Orthopaedics*, 1996;20:23-274
- 20 Haupt G. Use of extracorporeal shock waves in the treatment of pseudarthrosis, tendinopathy and other orthopaedic diseases. *J Urology*, 1997;158:4-11
- 21 Spindler A, Berman A, Lucero E, *et al.* Extracorporeal shock wave treatment for chronic calcific tendinitis of the shoulder. *J Rheumatol*, 1998; 25:1161-1163
- 22 邢更彦,井茹芳,刘树茂等. 体外冲击波对骨膜组织骨不连及骨折延迟愈合的影响. *中华理疗杂志*, 1998;21:331-333
- 23 Beutler S, Regel G, Pape HC, *et al.* Extracorporeal shock wave therapy for delayed union of long bone fracture-preliminary results of a prospective cohort study. *Unfallchirurg*, 1999; 102(11):839-847
- 24 Ikeda K, Tomita K, Takayama K. Application of extracorporeal shock wave on bone; preliminary report. *J Trauma*, 1999;47(5): 946-950
- 25 Uslu MM, Bozdogan O, Guney S, *et al.* The effect of extracorporeal shock wave treatment (ESWT) on bone defects. An experimental study. *Bull Hosp Jt Dis*, 1999;58(2): 114-118
- 26 Orhan Z, Ozturan K, Guven A, Cam K. The effect of extracorporeal shock waves on a rat model of injury to tendo Achillis. A histological and biomechanical study. *J Bone Joint Surg Br*, 2004;86(4): 613-618
- 27 Haake M, Deike B, Thon A, Schmitt J. Exact focusing of extracorporeal shock wave therapy for calcifying tendinopathy. *Clin Orthop*, 2002; (397): 323-331
- 28 Haake M, Wessel C, Wilke A. Effects of extracorporeal shock waves (ESW) on human bone marrow cell Cultures. *Biomed Tech (Ber)*, 1999;44(10): 278-282
- 29 Harniman E, Carette S, Kennedy C, *et al.* Extracorporeal shock wave therapy for calcific and noncalcific tendonitis of the rotator cuff; a systematic review. *J Hand Ther*, 2004;17(2):132-151
- 30 Matrini L, Fini M, Giavaresi G, *et al.* Primary osteoblasts response to shock wave therapy using different parameters. *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*, 2003;31(4):449-466

第一篇 总论

第一章 体外冲击波的物理特性

体外冲击波碎石机的发明源自一个意外现象的启示。冲击波是在某一介质中水、空气等由于能量的突然释放而产生的高能量压力波。20世纪60年代初西德道尼尔航空公司的科技人员就发现当飞机高速穿过雨云可产生一种冲击波,能使飞机内部的器件受损而飞机的外壳却完好无损,这一现象引起了物理学家的重视,于是在1963年该公司成立了冲击波研究室。1966年该研究室的一位工程师偶然接触到正在工作的冲击波靶子后,他的身体产生了如同电击一样的感觉,这位博学的工程师立即意识到这是冲击波进入人体后产生的效应。1969年由西德国防部资助该公司开始了“冲击波与动物组织间的相互关系”这一课题的研究。他们发现当冲击波经过两种介质的界面时会发生反射和折射,其程度取决与界面上两种介质的声阻抗差。由于绝大部分机体组织和水的声阻抗接近,所以冲击波在水中传播和通过机体过程中没有明显的能量损失,也不会造成伤害。只有肺组织由于空气与组织邻界面上的高抗

差,而对冲击波特别敏感。在研究过程中,研究人员发现了一个重要的现象,即在机体内测量的金属探针容易被冲击波击碎。这一消息传到慕尼黑大学外科研究所的爱森波格(Eisenberger)教授耳中。当时他正在研究尿路结石的治疗问题,这个现象立即引起了他的思考:能否将这种冲击波用来粉碎体内的尿路结石呢?这一设想使他开始了冲击波碎石的研究。此后德国多尼尔公司便研制成功了世界上首台体外冲击波碎石机。

1986年Haupt在冲击波治疗输尿管下段结石研究中发现冲击波可诱导成骨细胞活化,促进成骨。此后,世界各地一些骨科医学中心开始利用适当能量的体外冲击波治疗骨不连、骨折延迟愈合及慢性软组织损伤性疾病,取得了明显的疗效。1995年前后国内外陆续开发研制出骨科专用冲击波治疗机。由此,逐渐演变产生了治疗骨肌系统疾病的体外冲击波疗法(extracorporeal shock wave therapy,ESWT)。

第一节 体外冲击波的形成与波形

一、体外冲击波的形成

ESWT是物理学和医学相结合的新技术,是定位于保守治疗失败和开放式手术之间的一种全新疗法。它具有以下优点:①损伤轻微,可替代某些外科手术疗法;②一般采用简单麻醉或不必麻醉;③治疗时间短,风险小,可在门诊进行治疗;④无需特殊术后处

理,且术后恢复较快;⑤治疗费用远低于开放式手术。因此,理解和掌握有关冲击波的物理知识,对于指导ESWT的临床应用以及正确掌握冲击波治疗机的使用和维护均有重要意义。

冲击波是一种特殊形式的声波,属于量子物理的研究范畴。为了便于理解,通常参照声学的物理知识来讲解和对比冲击波的形