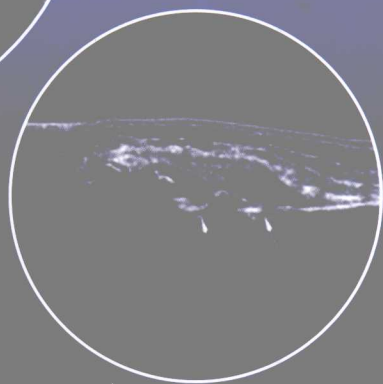


主编 郭瑞军

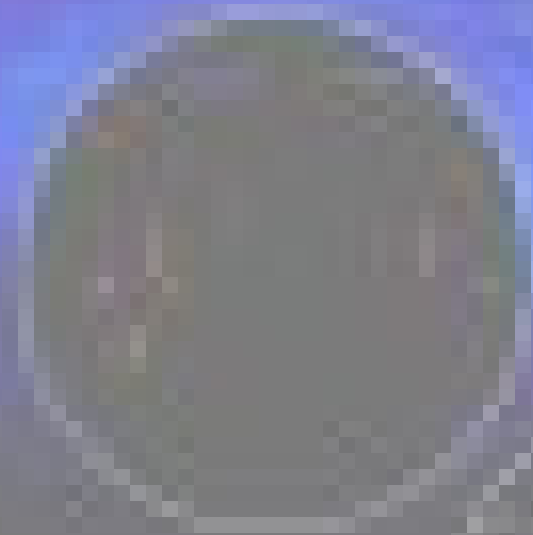
肌肉骨骼系统 超声学



人民卫生出版社

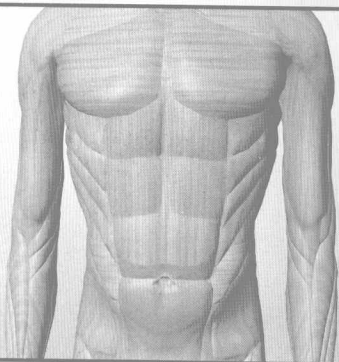
第 1 版 (2009 年)
第 2 版 (2015 年)

肌肉骨骼系统 超声学



人民卫生出版社

肌肉骨骼系统超声学



主 编 郭瑞军
副主编 王金锐
陈 涛

编 者 (以姓氏笔画为序)

- | | | |
|-----|----------|---------------------|
| 王月香 | 副主任医师 | 解放军总医院 |
| 王明花 | 主管护师 | 首都医科大学附属北京朝阳医院 |
| 王金锐 | 教授、主任医师 | 北京大学第三医院、内蒙古超声影像研究所 |
| 申素芳 | 教授、主任医师 | 河北省保定市第一中心医院 |
| 朱家安 | 副教授 | 上海交通大学附属第六人民医院 |
| 杜心如 | 教授 | 首都医科大学附属北京朝阳医院 |
| 李海东 | 主治医师 | 中国协和医科大学整形医院 |
| 苏海庆 | 副主任医师 | 广西壮族自治区民族医院 |
| 陈 涛 | 副主任医师 | 北京积水潭医院 |
| 陈定章 | 主任医师 | 第四军医大学西京医院 |
| 周君琳 | 教授、主任医师 | 首都医科大学附属北京朝阳医院 |
| 郑荣琴 | 教授、主任医师 | 中山大学附属第三医院 |
| 郭瑞军 | 教授、主任医师 | 首都医科大学附属北京朝阳医院 |
| 曹 文 | 住院医师 | 首都医科大学附属北京朝阳医院 |
| 常洪波 | 主任医师 | 山东省淄博市临淄区人民医院 |
| 康 斌 | 副教授、主任医师 | 北京大学深圳医院 |
| 梁晓宁 | 主治医师 | 首都医科大学附属北京朝阳医院 |
| 梁峭嵘 | 教授、主任医师 | 广州中医药大学附属佛山医院 |

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

肌肉骨骼系统超声学/郭瑞军主编. —北京: 人民
卫生出版社, 2008. 12

ISBN 978-7-117-11012-9

I. 肌… II. 郭… III. 肌肉骨骼系统-超声波诊断
IV. R680.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 190938 号

肌肉骨骼系统超声学

主 编: 郭瑞军

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 889×1194 1/16 印张: 22.75

字 数: 697 千字

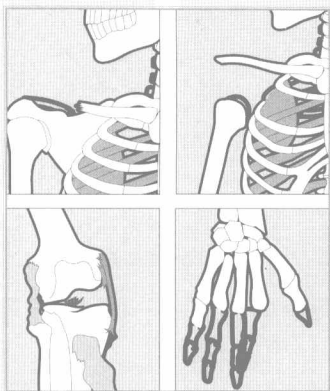
版 次: 2008 年 12 月第 1 版 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-11012-9/R·11013

定 价: 149.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)



序 言

我只做过几年的骨科医生,以后一直做手外科,对超声医学毫无知识。但近年来,超声影像学诊断在骨科方面的进展,引起了我很大的学习兴趣。

作为临床医生,诊治患者,希望有明确的诊断和疗效肯定的治疗方法。要做到这点,除凭医生的学识、技术与经验外,很大程度上需依靠相关专业的帮助和辅助治疗。超声医学就是其中重要专业之一。

现在很多尖端设备及技术,对伤、病都能作出明确诊断,引导手术做到精确操作,可是,很多都是侵入性的,对医生、患者来说,却是美中不足。因为,凡是侵入性的操作,都会给患者带来损害、痛苦,对医生都会存在施术风险。所以,无创的诊断与治疗,是现代医疗技术追求和发展的方向,超声医学就是其中重要的方向之一。

总体说来,超声医学的价值已无须赘说。但肌肉骨骼超声诊断近年的进展,还未普遍引起超声医学专家的兴趣,也还未被广大骨科医生认同。因此,肌肉骨骼系统超声诊断技术也就还有待于进一步开发,深入研究。

这部著作,讲述了超声原理;肌肉骨骼系统解剖与超声影像对照;四肢软组织与骨骼常见伤、病的超声表现;四肢超声检查规范及报告书写格式;还介绍了超声生物显微镜在皮肤的应用及超声引导外周神经阻滞麻醉等。书中附有大量案例及图像资料。

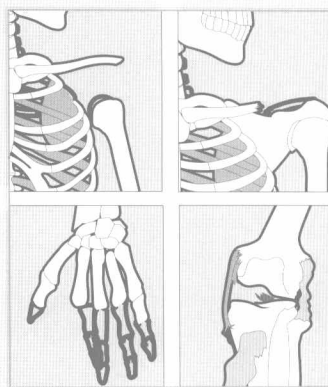
此著作,既有益于超声学医师对肌肉骨骼超声学的深入研究,又有助于骨科医生了解肌肉骨骼超声学的诊断及辅助治疗价值。

此书的问世,对肌肉骨骼超声影像学的进一步发展,对提高骨科伤、病的诊疗水平,定会起到极大的促进作用。

王树豪

2008年10月

序 言

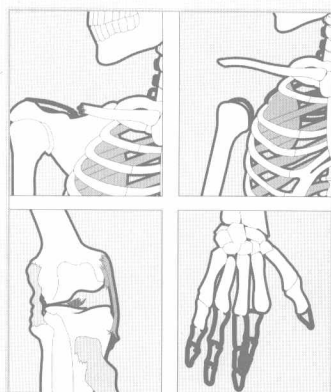


近代医学的重要标志是医学影像学的迅猛发展,超声医学是现代影像学的重要组成部分。超声医学在心血管、腹部、妇产等疾病的诊断和鉴别诊断中发挥着越来越重要的作用,有时甚至必不可少。但长期以来,超声在肌肉骨骼系统的应用却未受到高度重视。其实超声的无创性,决定了超声可反复使用,尤其对不适于X线、CT、MRI等检查者更为适用;超声的实时性,使得超声能够观察肌肉、肌腱、外周神经、关节等的运动情况,这些信息对临床医生非常重要,而其他影像学检查常难于了解;超声的便携性,使得超声可应用于急诊、床旁、手术室以及运动场馆,这就进一步拓宽了超声的应用范围。因此,超声检查在肌肉骨骼疾病的诊疗中具有重要价值。

首都医科大学附属北京朝阳医院超声医学科集心血管、腹部、妇产、浅表器官超声检查及介入超声为一体,在肺栓塞、下肢深静脉血栓、右心形态与功能检查、胎儿心脏超声等方面做了大量工作。在郭瑞军主任加盟后,肌肉骨骼系统超声、介入性超声等正在成为又一特色和学科发展的重要方向。他们所开展的超声生物显微镜在皮肤疾病的应用、超声引导外周神经阻滞麻醉、术中超声尤其是腹腔镜超声的应用等技术与研究处在国内领先水平。2008年北京奥运会、残奥会期间,我院超声医学科派驻奥运综合诊所医生共接诊急慢性运动损伤的运动员、教练员等超声检查逾250人次,为奥运会、残奥会的医疗保障作出了应有贡献。

此书的出版对于肌肉骨骼系统超声在我国的进一步推广应用具有重要价值。希望本书的作者们能够在这一领域不断探索,发挥超声医学的优势,造福于患者。

2008年10月



前 言

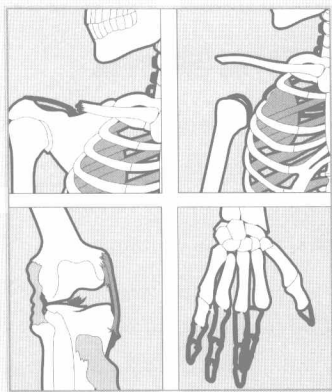
肌肉骨骼系统疾病,尤其是骨关节疾病一直是首选传统影像学检查,包括 X 线、CT、MRI。但是对于软组织损伤,X 线检查无能为力;传统的 CT 检查主要显示病变的横断面,有时不能提供病变的详细信息;MRI 多用于关节及软组织肿瘤,在发现病变、显示病变特征及病变分级方面具有不可比拟的优越性,但由于设备尚未普及、检查时间较长以及某些禁忌证存在,MRI 还不能作为一项常规检查。超声具有高分辨力、无创、价廉及短期内可重复检查的特点,并且实时超声能够观察肌肉、肌腱的运动情况,能提供其他影像学检查所无法得到的重要信息。但长期以来,肌肉骨骼系统超声检查的重要性未受到重视。在我国超声的拥有量远远大于 MRI 及 CT,因此发挥超声这种常规设备在肌肉骨骼系统的作用有良好的社会效益和经济效益。

20 世纪 80 年代,肌肉骨骼系统超声开始起步,尤其是 1996 年亚特兰大奥运会及悉尼奥运会的召开,对于急慢性运动损伤,超声在欧美成为首选的影像学检查方法。在我国尽管肌肉骨骼系统超声有了一定发展,但仅限于大型医院或者专科医院。2006 年 7 月由美国托马斯杰弗逊大学医学院、北京大学第三医院、首都医科大学附属北京朝阳医院在北京联合举办首届国际肌肉骨骼及介入超声研讨会;2007 年 7 月中国超声医学工程学会肌肉骨骼系统超声专业委员会在北京成立,超声在肌肉骨骼系统的应用进一步普及,价值日益受到人们的重视。由于超声医师对肌肉骨骼系统解剖以及常见疾病比较生疏,临床医师对超声在腹部、心脏、血管、妇产科等方面的应用比较熟悉,对超声在肌肉骨骼系统的应用知之甚少,每次讲课及办学习班,特别需要相关的教材,《肌肉骨骼系统超声医学》应运而生。

本书包括总论及各论两大部分,第一至五章为总论,介绍了肌肉骨骼系统常用大体及超声解剖、正常超声声像图及常见疾病的异常表现。其余章节为各论,包括手腕、肘、肩、髋、膝、足踝、骨骼、外周神经、皮肤等详细解剖、正常声像图、常见异常表现,还包括肌肉骨骼介入性超声、超声生物显微镜在皮肤的应用以及肌肉骨骼系统超声检查规范及报告参考模式。书中尽量采用图文并茂、解剖与声像图结合、通俗易懂的形式,两位骨科医师的加盟,使读者可以深入了解不熟悉的四肢解剖、外周神经卡压综合征。

本书编写过程中,得到了首都医科大学附属北京朝阳医院领导的大力支持,和超声医学科全体人员的热情帮助。书稿完成后,承蒙北京积水潭医院王澍寰院士、首都医科大学北京朝阳医院院长王辰教授作序,人民卫生出版社精心制作,再次一并感谢。感谢 Aloka 公司的协助,感谢我的家人的大力支持和无私奉献。本书作者集中了国内肌肉骨骼系统超声的专家,在 2008 北京奥运会、残奥会上肌肉骨骼系统超声发挥了重要作用,两个奥运会的召开必将推动肌肉骨骼系统超声在我国的发展,相信本书的出版对超声医师、临床医师有一定帮助。由于编写时间短促,错误和疏漏之处在所难免,恳请同道们批评指正。

郭瑞军
2008 年中秋于北京



目 录

第一章 超声基础及常见伪像	
第一节	声波基本概念..... 1
第二节	超声波的基本物理特性..... 2
一、	超声波的方向性..... 2
二、	超声波的传播特性..... 2
第三节	超声波的发射与接收..... 3
一、	压电效应..... 3
二、	脉冲波..... 3
第四节	超声探头..... 4
一、	机械扫描探头和聚焦..... 4
二、	电子扫描探头和电子聚焦..... 4
三、	相控阵探头..... 5
四、	环阵探头..... 5
五、	超声探头的分辨率..... 5
第五节	超声成像模式..... 6
一、	A型成像法..... 6
二、	B型成像法..... 6
三、	M型成像法..... 6
四、	D型成像法..... 6
第六节	多普勒效应及其成像技术..... 7
一、	多普勒信号的解调..... 7
二、	多普勒信号的频率分析..... 7
三、	血管中的流速冲面..... 7
四、	连续波多普勒和脉冲多普勒..... 7
五、	彩色多普勒成像..... 8
第七节	超声波的生物效应和安全性..... 8
一、	超声波的热效应..... 8
二、	超声波的机械效应、空化效应..... 9
三、	超声诊断安全阈值..... 9
第八节	临床超声显像概述..... 10

第九节	超声伪像..... 11
一、	伪像产生的原因..... 11
二、	灰阶声像图伪像..... 11
三、	彩色多普勒超声伪像..... 13

第二章 四肢超声解剖

第一节	四肢超声相关的解剖学基本 概念..... 16
一、	方位术语..... 16
二、	骨..... 16
三、	骨连结..... 17
四、	骨骼肌..... 17
五、	肌肉的辅助结构..... 17
第二节	上肢的几个重要区域..... 18
一、	腋窝..... 18
二、	臂部软组织..... 19
三、	前臂软组织解剖..... 22
四、	腕部..... 26
第三节	下肢几个重要区域..... 28
一、	臀部..... 28
二、	股部软组织..... 29
三、	大腿分区解剖..... 33
四、	腘窝..... 40
五、	小腿部..... 40
六、	踝部..... 41

第三章 肌肉骨骼系统超声检查基础及正常声像图

第一节	超声检查基础..... 43
一、	仪器与方法..... 43
二、	超声检查技术..... 43

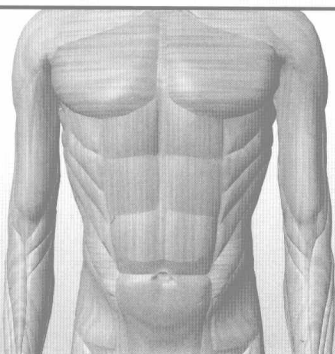
第二节 关节超声检查手法及声像图.....	44	第五章 软组织肿瘤与骨肿瘤	
一、肘腕部超声检查手法及正常		第一节 软组织肿瘤.....	84
声像图.....	44	一、脂肪瘤.....	84
二、肩部超声检查手法及正常声像图.....	51	二、脂肪肉瘤.....	85
三、髋部超声检查手法及正常声像图.....	53	三、纤维肉瘤.....	86
四、膝关节超声检查手法及声像图.....	54	四、滑膜肉瘤.....	86
五、足踝部超声检查手法及正常		五、横纹肌肉瘤.....	87
声像图.....	60	六、韧带样纤维瘤.....	87
六、外周神经超声检查手法及正常		七、恶性纤维组织细胞瘤.....	88
声像图.....	63	八、囊状淋巴管瘤.....	88
第三节 肌肉、肌腱、外周神经正常声像图		九、血管瘤.....	88
表现.....	63	十、神经鞘瘤.....	89
一、肌肉的正常声像图表现.....	63	十一、神经纤维瘤.....	90
二、肌腱的正常声像图表现.....	63	十二、血管球瘤.....	91
三、外周神经的正常超声表现.....	64	十三、软组织转移瘤.....	91
四、骨的正常超声表现.....	64	第二节 骨肿瘤和瘤样变.....	92
第四章 骨骼肌、骨骼和关节疾病总论		一、骨软骨瘤.....	92
第一节 常见软组织损伤.....	66	二、骨巨细胞瘤.....	92
一、肌肉损伤与血肿.....	66	三、软骨瘤.....	93
二、肌腱、韧带损伤.....	69	四、骨肉瘤.....	93
三、肌炎.....	72	五、软骨肉瘤.....	95
四、肌疝.....	73	六、纤维肉瘤.....	96
五、局限性骨化性肌炎.....	73	七、骶尾部脊索瘤.....	96
六、肌腱病.....	74	八、转移性骨肿瘤.....	96
七、结核性肌炎.....	75	九、孤立性骨囊肿.....	97
第二节 常见关节损伤.....	76	十、动脉瘤样骨囊肿.....	97
一、膝半月板囊肿.....	76	十一、骨纤维异样增殖症.....	98
二、膝关节半月板损伤.....	76	十二、组织细胞增殖症.....	99
三、盘状半月板.....	77		
四、胫骨结节骨软骨病.....	78	第六章 周围神经超声显像	
第三节 其他.....	79	第一节 临床适应证.....	100
一、肋软骨炎.....	79	第二节 检查技术.....	100
二、臀肌挛缩症.....	79	第三节 周围神经解剖及正常声像图.....	100
三、先天性肌性斜颈.....	79	第四节 常见周围神经病变的声像图特点及	
四、横纹肌溶解症.....	80	鉴别诊断.....	104
五、腕管综合征.....	80	一、常见周围神经损伤.....	105
六、梨状肌综合征.....	80	二、常见周围神经肿瘤.....	109
七、髌骨先天性畸形.....	81	三、周围神经卡压的动物实验研究.....	112
八、骨棘球蚴病.....	81	第五节 超声引导外周神经阻滞麻醉.....	115
第四节 应用超声检查肌腱疾病与损伤.....	81		
一、检查方法.....	81	第七章 周围神经卡压综合征	
二、肌腱的超声图像.....	81	第一节 概论.....	117
三、临床应用.....	82	一、神经卡压的病理生理.....	117

二、周围神经卡压的致病因素	118	四、诊断	128
三、诊断和治疗	118	五、治疗	129
第二节 臂丛神经血管卡压征(胸廓出口综合征)	119	第十节 腓总神经卡压综合征	129
一、解剖	119	一、解剖	129
二、病因与发病机制	119	二、卡压部位与病因	129
三、临床表现	120	三、临床表现	129
四、诊断和鉴别诊断	121	四、治疗	130
五、治疗	122	第十一节 跗管综合征	130
第三节 肘管综合征	122	一、解剖	130
一、解剖	122	二、卡压部位和病因	130
二、病因与发病机制	123	三、临床表现	130
三、临床表现	123	四、诊断	131
四、诊断	123	五、治疗	131
五、治疗	123	第八章 超声在骨骼系统常见疾病中的应用	
第四节 腕尺管综合征	123	第一节 骨折概述	132
一、解剖和病因	123	第二节 骨折的影像诊断	132
二、临床表现和诊断	123	一、X线摄影	132
三、治疗	123	二、灰阶超声	132
第五节 旋前圆肌综合征	124	三、X线摄影与超声	132
一、解剖	124	第三节 灰阶超声及彩色多普勒超声在骨折中的应用	133
二、病因	124	一、超声检查技术	133
三、临床表现和诊断	125	二、骨与软骨超声解剖	133
四、治疗	125	三、正常声像图	134
第六节 骨间前神经受压综合征	125	四、骨折超声表现	135
一、解剖	125	五、软骨骨折的声像图表现	140
二、病因	125	六、骨折愈合过程的监测和评价	143
三、临床表现和诊断	125	第四节 超声在骨折中的应用价值	146
四、治疗	125	第五节 骨骼系统其他疾病超声诊断	147
第七节 腕管综合征	126	一、检查技术及正常声像图	147
一、解剖	126	二、常见疾病超声表现	147
二、病因	126	第九章 骨筋膜室综合征	
三、临床表现和诊断	126	第一节 骨筋膜室综合征的概念	157
四、治疗	127	第二节 超声在骨筋膜室综合征的应用	157
第八节 桡管综合征	127	一、检查技术	157
一、解剖	127	二、超声解剖及正常声像图	158
二、病因	127	三、超声表现及鉴别诊断	159
三、临床症状和体征	127	第十章 肌肉及相关软组织超声检查	
四、诊断	127	第一节 正常肌肉解剖及声像图	162
五、治疗	127	第二节 超声检查技术	165
第九节 骨间背侧神经嵌压综合征	128	第三节 超声检查适应证	166
一、解剖	128		
二、病因	128		
三、临床表现	128		

第四节 常见肌肉疾病超声表现..... 166	七、肱桡关节脱位(桡骨头脱位)..... 219
一、肌肉损伤..... 166	第五节 正常肘关节骨骺超声检查..... 221
二、弥漫性肌肉病变..... 179	一、骨骺超声检查的发展历程..... 221
三、肌肉的肿瘤及肿瘤样病变..... 179	二、检查体位及方法..... 221
四、异物..... 183	三、扫查切面..... 221
第十一章 肩关节超声显像	第六节 肱骨远端骨骺损伤..... 232
第一节 肩袖超声显像..... 185	一、骨骺损伤的类型..... 232
一、肩袖的超声应用解剖..... 185	二、肱骨远端骨骺损伤声像图特征..... 232
二、肩袖超声动态探测方法学..... 185	三、不同类型肱骨远端骨骺损伤..... 233
第二节 肩袖撕裂的超声诊断..... 188	第十三章 手腕部超声显像
一、肩袖撕裂的超声声像图..... 189	第一节 手腕部正常超声表现..... 249
二、肩袖撕裂的部位..... 190	一、检查技术..... 249
三、肌腱撕裂的伴随征象..... 190	二、声像图解剖..... 249
第三节 肩袖炎症性病变的超声显像..... 190	第二节 手腕部常见疾病超声诊断..... 251
一、部位..... 190	一、化脓性腱鞘炎..... 251
二、声像图表现..... 190	二、类风湿关节炎..... 252
第四节 超声引导下钙化性肩袖炎的治疗..... 191	三、手腕部创伤..... 253
第五节 肩关节其他病变的超声显像..... 192	四、手腕部肿瘤及肿瘤样病变..... 255
一、肱二头肌长头腱病变..... 192	第十四章 髋关节疾病的超声诊断
二、其他常见疾病超声显像..... 193	第一节 髋关节解剖概要..... 264
第十二章 肘关节超声检查	一、成人髋关节解剖..... 264
第一节 肘部超声解剖..... 195	二、儿童和成人髋关节前侧矢状面超声解剖及检查方法..... 265
一、肘关节..... 195	三、髋关节积液..... 269
二、肘部软组织..... 197	四、髋关节暂时性滑膜炎..... 271
第二节 超声检查方法..... 199	五、髋关节化脓性关节炎..... 273
一、仪器..... 199	第二节 发育性髋关节发育不良和脱位的超声诊断..... 277
二、适应证..... 199	一、前言..... 277
三、检查体位及方法..... 199	二、髋关节的生长发育和解剖..... 277
四、扫查切面..... 200	三、发育性髋关节发育不良的病理生理..... 278
五、检查内容..... 201	四、临床表现..... 279
第三节 肘部正常声像图表现..... 201	五、X线表现..... 279
一、肘前区扫查声像图..... 201	六、发育性髋关节发育不良的筛查..... 280
二、肘外侧区纵切面扫查声像图..... 205	七、髋关节超声解剖及检查方法..... 281
三、肘内侧区纵切面扫查声像图..... 207	八、诊断..... 293
四、肘后区扫查声像图..... 208	九、超声检查的临床价值..... 293
第四节 肘部病变..... 210	第十五章 膝部超声
一、鹰嘴滑囊炎..... 210	第一节 膝部超声及常见疾病超声表现..... 296
二、猫抓病性肘浅淋巴结炎..... 212	第二节 超声在风湿性骨关节疾病中的应用..... 296
三、肱骨内、外上髁炎..... 214	一、检查技术..... 297
四、肘关节积液..... 216	
五、韧带损伤..... 218	
六、肱三头肌腱损伤..... 218	

二、超声解剖及正常声像图	297	三、结果	324
三、常见疾病超声表现及鉴别诊断	299	四、结论	325
第十六章 踝关节侧副韧带和肌腱的超声检查		第十八章 肌肉骨骼系统介入性超声	
第一节 踝关节侧副韧带的超声检查	305	第一节 四肢肌肉骨关节介入性超声的基本原则	328
一、踝关节侧副韧带解剖	305	一、介入操作术前基本原则	328
二、检查技术	305	二、介入操作术中基本原则	328
三、正常踝关节侧副韧带超声声像图	307	三、介入操作术后基本原则	329
四、踝关节侧副韧带损伤的超声表现	308	第二节 四肢肌肉骨关节介入性超声的基本操作	329
第二节 踝关节周围肌腱的超声检查	310	一、四肢软组织病变的穿刺抽吸	329
一、踝关节周围肌腱解剖	310	二、关节腔积液的抽吸	330
二、检查技术	310	三、关节和软组织的穿刺注药	331
三、正常踝关节周围肌腱超声声像图	310	四、超声引导滑膜活检	333
四、踝关节周围肌腱损伤超声表现	312	五、穿刺活检	334
五、跟腱损伤的超声表现	313	六、超声引导肩袖钙化性肌腱炎针刺治疗	337
第十七章 超声生物显微镜在皮肤的应用		第三节 超声引导外周神经阻滞麻醉	339
第一节 常规超声在皮肤的应用	316	一、正常周围神经检查方法及超声表现	339
第二节 正常人体皮肤 50MHz 超声生物显微镜声像图研究	318	二、超声引导下臂丛神经阻滞麻醉	339
一、使用仪器	318	三、腰丛神经超声引导下阻滞麻醉	342
二、方法	318	四、坐骨神经阻滞	344
三、结果	318	第十九章 肌肉骨骼超声检查及报告规范	
四、结论	320	第一节 肌肉骨骼超声检查规范	346
第三节 兔耳增生性瘢痕模型的超声生物显微镜观察	320	一、腕部和手部	346
一、材料和方法	320	二、肘部	347
二、结果	322	三、髌部	347
三、结论	322	四、膝部	347
第四节 不同高频超声与病理切片瘢痕对比定位研究	323	五、踝和足部	348
一、研究对象	323	六、肩部	348
二、仪器	323	第二节 关于超声报告的书写	349

第一章



超声基础及常见伪像

高频线阵实时探头的使用,以及改善图像分辨率相关技术的发展,大大提高了超声成像评价肌肉骨骼系统的能力。这些技术包括超高近场分辨率、电子聚焦和宽带高频探头(5~15MHz),在扫查肌腱和肌肉时这些技术显得尤为重要,因为肌肉和肌腱通常位置比较表浅且内部结构具有独特的声学特征。与过去的超声成像技术相比,实时超声成像增加了扫查的灵活性,便于多断面成像。而且,彩色多普勒血流灵敏度的提高,使得各种炎症、肿瘤及外伤等导致的血流变化得以显示。与CT、MRI相比,尽管超声诊断对骨关节和软组织成像在某种程度上存在不足,但由于其安全、舒适、经济、省时等优点,且能够提供相当丰富的诊断信息,以及动态诱发动作检查和实时监视软组织介入成为可能,使得超声具备了不同于其他影像学检查的一些优点。

第一节 声波基本概念

声波是一种机械波。声波产生的条件,一是需要声源(声波),二是需有能够传播这种机械振动的介质。波动(简称波)是振动在介质中传播的过程。机械振动在介质中传播形成机械波,例如水波、声波。波动只是振动状态的传播,介质的质点并不随波前进。如果各质点振动方向和波的传播方向相垂直,则这种波称为横波。纵波是指质点振动方向和波的传播方向平行的一种波,介质中各个质点沿着波的传播方向振动,形成疏密相同的质点分布波形。声波是一种纵波。波从波源出发,在介质中向各个方向传播,在某一时刻,由波动到达的各质点所连成的面称波前或波阵面,波前上各点具有相同的振动相位。波前的形状决定了波的类型,波前为平面的称

为平面波;波前是球面的称为球面波。

声波在介质中传播的速度称为声速,一般用 C 表示。声速的大小取决于介质的密度和弹性。人体软组织的平均声速约为1540m/s,和水的声速相近。在超声诊断的频率范围内,软组织的声速基本上不随超声波的频率变化。不同的软组织声速有所不同,但差别不大。软组织的声速与其成分(如多种蛋白质、脂肪和水的含量)有密切的关系。一般来说,声速随组织中蛋白质含量的增加而增加;随水分和脂肪含量的增加而减低。波动传播时,同一方向上两个相邻的相位相差为 2π 的质点之间的距离,即一个完整波的长度,称为波长,用 λ 表示。波动传过一个波长距离所需要的时间,称为波的周期,用 T 表示。单位时间内通过某点的完整波的数目称为频率,用 f 表示,单位为赫兹(Hz)。各波动参数存在以下关系:

$$C = f \cdot \lambda, T = 1/f$$

已知软组织中的声速约为1540m/s,因此在软组织中1MHz的超声波长约为1.5mm,常用的3MHz的超声波的波长约为0.5mm,7MHz的超声波的波长约为0.2mm。

声波按频率划分,可分为次声波、声波和超声波三大类。超过20kHz的声波是超声波。

声阻抗(acoustic impedance)定义为介质中波阵面一定面积上的声压与通过该面积速度的复数比值。声特性阻抗(acoustic characteristic impedance, Z)定义为平面自由行波在介质中某点的声压与质点速度的比值,其值等于介质的密度与介质的声速乘积,即

$$Z = \rho \cdot C$$

声特性阻抗反映了介质的一种声学特性,其单位为瑞利(Rayl)或 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。不同软组织的声特

性阻抗值差别不大,但软组织与空气及骨之间的声特性阻抗值差别很大。

第二节 超声波的基本物理特性

有关机械纵波的一些基本关系对超声波都适用。随着频率的升高,超声波具有一些特殊性质。

一、超声波的方向性

对机械波来说,频率越低,其波长越长,波动的特性越显著,但方向性越差;频率越高,波长越短,波传播的方向性越显著。超声波有很好的指向性,可在较小的目标上产生有规律的反射信号,这就是利用超声波回声探测的基础。高频超声波在界面进行反射和折射时,其规律与光波相似。

二、超声波的传播特性

超声波在弹性介质中传播时与光波类似,也有波的叠加、干涉、反射、折射、透射、散射、衍射以及吸收和衰减等特性。

(一) 反射与折射

高频率的超声波是一种平面波,在均匀介质中传播时,沿传播方向作直线传播。当超声波从一种介质传播到另一种介质时,由于两种介质声特性阻抗的不同,在两种介质之间形成一个声学界面。如果该界面尺寸大于超声波波长,则一部分超声波能量从该声学界面处反射,回到原介质,形成反射波;另一部分超声波能量进入到另一介质,形成折射波。当超声波垂直投射到声学界面时,若声学界面两侧介质的声特性阻抗分别为 Z_1 和 Z_2 ,入射声波(声强为 I)投射到达界面,则有声强 I_1 反射声波返回到前一介质,反向传播。有声强为 I_2 的折射声波进入第二种介质中沿同方向继续传播,则声强反射系数(IRC):

$$IRC = \frac{I_1}{I} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

声强折射系数(ITC)

$$ITC = \frac{I_2}{I} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

由上述关系式可知,两种介质的声特性阻抗差别越大,反射就越强。根据能量守恒定律,反射波能量与折射波能量之和应等于入射波能量,因此,反射越强,进入到第二种介质的声波能量就越弱。利用反射产生的超声波回波信息可用来做诊断。回波的

强弱,反映了界面两边介质声特性阻抗差异的程度。实际上,超声波投射到声学界面时,并不一定是垂直入射,声波的反射和折射还与投射角度有关,在此不再赘述。

(二) 衍射与散射

声波传播时遇到的障碍物的尺寸与声波接近($1 \sim 2\lambda$)时,声波可绕过这一障碍物界面边缘向前传播,偏离原来方向,这一现象称为衍射或绕射。距障碍物越近,衍射现象越明显,声波远离障碍物后仍按直线传播。声波传播遇到线度小于波长的粒子,微粒吸收声波能量后,向四周辐射声波,这种现象称为散射,这些粒子称为散射体。在散射波中,与声波前进方向相反的声波称为背向散射(back scatter)。散射截面是反应散射强度的重要参数。散射截面大,实际上就表明单位声强产生的散射功率大。

(三) 惠更斯(Huygens)原理

波动的传播是由于介质中质点之间的相互作用力(弹性力),连续分布的介质中任何一点的振动源引起相邻各点的振动,因此在波动传播到的任何一点都可看作是新的波源。惠更斯于1690年提出了有关波动的著名原理:介质中波动传到的各点都可看作是一个新的波源——子波源,在其后的任意时刻,这些子波的包络就是新的波前(波阵面)。应用惠更斯原理,在某一时刻波前的位置,作波前(波阵面)的法线方向就是波的传播方向。因此,控制振动源相互间的振动时间超前或落后,就可以使波束向左或向右偏转;而控制超前或落后时间的值就可以控制波束偏转的角度,这就是下面要提到的相控阵探头扫描和电子聚焦的原理。

(四) 波的干涉现象

声波在介质中传播时,当两列(或更多列)声波在空间某点相遇,将彼此叠加,该处质点的振动将是各个波所引起的分振动的合成,在任一时刻质点的位移是各个波在该点所引起的分位移矢量和。换言之,每个波都独立地保持自己原有的特性对该点的振动给出自己的一份贡献,就像没遇到其他波一样。这种波动传播的独立性,称为波的叠加原理。一般地说,振幅、频率、相位等都不相同的几列波在某点的叠加是很复杂的,而波的干涉是其中最简单也是最简单的一种。当频率相同、振动方向相同、相位相同或相位差恒定的两个波源发出的两列波同时作用于介质的某点时,产生波的叠加。由于传播途径不同,使某些地方振动始终加强,而在另一地方始终减弱以至抵消,这种现象称波的干涉现象。产生干涉

现象的波称为相干波,相应的波源称相干波源。两列相干波到达某点所经过的路程差,称为波程差。两个相干波源为同相位时,在两个波叠加的区域内,波程差等于零或等于波长的整数倍的各点,振幅最大;在波程差等于半波长的奇数倍的各点,振幅最小。

(五) 声衰减

声衰减的原因主要有三方面:介质对声波的吸收是声衰减的原因之一。声波在介质中传播部分机械能量不可逆地转化为其他形式的能量,使声波具有的能量减少。声衰减的第二个原因是声波的散射,声波在介质中传播时,介质中存在着散射体,使主传播方向的能量减少。声散射引起的衰减决定于介质的性质和散射目标的情况(大小、形状、分布等),也与超声频率有关。研究表明,声束扩散是声衰减的第三个原因,随着传播距离的增加,声波向传播轴线周围横向扩散,因此引起单位面积上声波能量减少,聚焦在一定范围内能克服这种衰减。

为了得到高分辨率的图像,应该尽量选用高的频率,但是频率高的超声波比频率低的超声波衰减大,因此可探测的距离小。所以我们在探测距离和空间分辨率之间选择,针对不同的场合选取合适的频率。例如腹部检查,只能选用较低的频率;而在检查浅表器官时,可选用较高的频率,以得到比较高的分辨率。

第三节 超声波的发射与接收

在医学中应用超声波进行疾病的诊断和治疗,一个重要的技术是超声波的发射与接收。虽然目前已有多种方法可以产生超声波,例如机械法、电声转换法、激光法等,但在医学中最常用的是电声转换法中的压电式换能法。通过压电换能器,将高频电磁振动的能量转换为机械振动(超声)的能量发射超声波,同时也可以把超声振动的能量转换为电磁能量,通过信号处理,完成超声波的接收。

一、压电效应

(一) 正压电效应

某些各向异性的材料,在外部压力的作用下引起材料内部原来的正负电荷中心发生相对偏移,在材料表面上出现符号相反的表面电荷。这样,由机械力的作用产生了电场。这种将机械能转变为电能的效应称为正压电效应。超声接收换能器用的就是

正压电效应,将来自人体的回声信号转化为电压。

(二) 逆压电效应

在压电材料表面沿着电轴方向加上电压,由于电场作用,引起材料内部正负电荷中心位移,这一极化位移使材料内部产生应力,从而导致宏观上的几何形变,这种将电能转变为机械能的效应叫逆压电效应,将电压转变为声压,并向人体发射。压电效应是可逆的,压电材料既具有正压电效应,又具有逆压电效应。医学超声设备中,常采用同一压电换能器作为发射和接收探头,但发射与接收必须分时工作。

二、脉冲波

前面的讨论大多是针对某一频率的连续波进行。声学理论中的大部分内容也是讨论连续波的,但是在超声诊断设备中除了连续多普勒模式使用连续波外,其他均使用脉冲波。连续波也称为简谐波,简谐波是在整个时间范围内频率和幅度固定的波,现实中并不存在这种理想的信号。间隔性发出的短促波称脉冲波。所谓脉冲波就是持续时间很有限的信号,即在一个有限的范围 $t_1 \sim t_2$ 有信号,之外信号为零(或非常小)。 $t_1 \sim t_2$ 是信号长度,也称脉冲宽度,简称脉宽。数学中的傅立叶变换理论指出,任何一个信号均可看作是由许多不同频率、幅度和初始相位的简谐信号叠加而成;或者说,运用傅立叶变换可以把复杂的信号分解成许多简谐信号的和。在一般情况下,这些简谐信号的数目无穷多,频率呈连续变化,因此它们的相加在数学上要用积分表示。把信号分解成简谐信号的叠加后,凡可以分析信号是由哪些频率的简谐信号组成、各种频率的简谐信号在整个信号中所占的比重,就是各种简谐信号在频带内的分布情况,也就是信号的频谱。这种分析方法就是频谱分析。

以下简单介绍几个用来描述脉冲波基本特征的常用参数:

脉冲重复频率(pulse repetition frequency, PRF): 单位时间内脉冲波的数目。单位: Hz 或 kHz。

脉冲重复周期(pulse repetition period, PRP): 一个脉冲开始发射到下一个脉冲开始发射所需的时间。单位: 秒或毫秒。

脉冲重复间期(pulse repetition interphase): 一个脉冲发射结束到下一个脉冲开始发射所需时间。单位: 秒或毫秒。

空间脉冲长度(spatial pulse length, SPL): 每个脉冲的总波长。SPL= 脉冲的总波长 = 脉宽 × 声速。

超声诊断中的脉冲常常是由一定频率范围内的简谐信号叠加而成,即幅度谱和频率谱在一段频率范围。这个频率范围为信号的频带,称为带宽。频带的中心称为中心频率。

根据频谱分析的概念,脉冲波的性质由组成它的简谐信号的性质决定。窄带信号的性质非常接近于中心频率的简谐信号的性质。窄带信号的脉宽与带宽成反比,它们的乘积为常数。对于一般的信号,脉冲越短带宽越宽。脉冲短有利于提高图像的纵向分辨率。因此为了提高纵向分辨率,应该尽量采用高的中心频率和宽的相对带宽。脉冲波介质对于不同频率的超声波有不同的衰减作用,高频的超声波比低频的衰减得快,因此脉冲的中心频率会降低,带宽也会减小。

第四节 超声探头

在各种超声诊断仪器中,发出和接收超声波的器件是超声探头。大多数超声诊断仪器中的探头既作发射,又作接收(既向人体内发射超声波,又接收体内反射和散射回来的声波)。发射时探头把电能转换成声能,接收时又把声能转换为电能,因此探头又称为超声换能器。探头的核心是以压电材料制成的压电晶片。压电材料具有压电效应,当它受到外力作用发生形变时,其表面会产生电压和自由电荷。对它施加电场时,会产生应力,发生形变。超声诊断常用的压电材料是压电陶瓷。压电片的两个表面镀有电极,引出导线,与仪器中的发射和接收电路连接。当发射电路发出电信号激励压电片时,压电片发生振动,同时向介质发出超声波。由介质传播回来的超声波带动压电片振动,在电极上产生电信号,进入接收电路放大处理。

压电陶瓷的声速和密度都比较高,它的声阻抗率比软组织大几十倍。因此软组织和压电片之间的界面上声反射系数特别大。如果让压电片和软组织直接接触,软组织中传来的导波能量大部分会反射回去,只有一小部分进入压电片转换为电能。同样,压电片内的振动能量在两个表面之间来回反射,维持较长的时间,使进入软组织中的声脉冲幅度小,时间拖得很长,这种现象称为压电陶瓷和软组织的声学不匹配,不利于提高仪器的性能。为了改善压电片和软组织间的匹配性,在压电片的前表面贴一层或多层匹配层。单层匹配层的声阻抗率应该介于压电片和软组织之间,多层匹配层的声阻抗率从略低

于压电片的声阻抗率逐层过渡到略高于软组织的声阻抗率。为了能灵活地改变匹配层的声参数,匹配层常用环氧树脂类材料加其他材料配制,也可选用塑料和金属材料。匹配层的形状和压电片相同,厚度大约是超声波波长的 $1/4$ 。

当用电脉冲激励压电片,或声波从介质传入使其振动时,它的振动时间常比激励的电脉冲或传入的脉冲长,这是由于压电片的余振引起。这种现象会使发射的声脉冲和接收的电信号拉长,降低纵向分辨力。为了减少这种效应,压电片的背面附有背衬,背衬通常用环氧树脂和金属粉末配置而成,它的声阻抗率与压电片接近。当压电片受电信号或超声波激励振动时,相当一部分能量传入背衬而被散射吸收,不再返回压电片,这样能缩短压电片的余振,增加探头的带宽。背衬的形状也与压电片一样,厚度比较大,为十几至几十毫米。

为了达到成像的目的,仪器产生的声束必须在人体内部扫描,而实现声速扫描的技术有两种,即机械扫描和电子扫描。

一、机械扫描探头和聚焦

机械扫描通常使用一个或几个聚焦单探头,用机械方法如发动机带动,使其摆动或旋转,探头发出的声束在成像区域扫描。仪器工作时,一方面记录探头的方向,同时接收回波,两者结合,得到各个位置的回波,处理后成像。为了使探头运动时能保持和人体的耦合,常把探头装在一个充满液体的小盒子里,探头发出的扫描声束经过液体透过静止的盒壁与人体耦合。机械扫描的聚焦探头有许多优点,其电路部分比较简单,它的横向分辨力在顺着扫描的方向和垂直于扫描的方向(有时称为侧向)是一样的。同时,也有一些缺点,首先,机械运动部分影响了使用寿命;其次,机械驱动的方式不如电子扫描灵活,扫描速度也不能太快,特别是不能满足彩色多普勒血流图的扫描。

二、电子扫描探头和电子聚焦

电子聚焦和扫描用于阵列探头,下面以常用的线阵探头为例说明它的结构和工作原理。

在线阵探头里,有许多压电单元等间隔地排列成一条直线。每个单元和单探头相似,也由压电片、引线、匹配层和背衬组成,但它的压电片尺寸很小,只有零点几毫米。阵列探头的每次发射或接收是由全部或部分单元共同完成的。在发射时,如果参加

工作的各个单元在不同的时间发出声脉冲,叠加以后就有可能得到聚焦的总声场,因此超声波从各单元到焦点的传播时间不同。按照各单元的传播时间决定每个单元的发射,使各单元发出的声脉冲同时到达聚焦点。为了实现电子聚焦和扫描,激发时要在不同的时刻激励各个单元,接收时要对各个单元的信号作不同的延迟。在超声诊断仪里有许多相对独立的发射和接收电路,称为通道。通过电子开关的选择,在每次发射和接收时各个通道分别和一个或两个单元连接。每次工作时只有少数单元(8~16个)参加,例如第一次工作时由第1个到第8个单元参加,第二次工作由第2个到第9个单元参加。每次形成的声束均与线阵垂直。这样通过单元的切换使声束在空间平行地扫描,每次发射声束在空间平移了一个单元间隔的距离。

高频线阵探头是用于检查肌肉骨骼系统的最佳选择。7~10MHz探头比低频探头更加适用于肌肉骨骼检查。较低频探头(3.5~5MHz)穿透力较好,适用于检查较深部结构。与机械扇扫探头相比,线阵探头具有良好的近场分辨率。此外,线阵探头近场视野相对较宽,有助于评价表浅部位异常;同时,绝大部分的平行肌腱和肌肉纤维符合发生几何镜面反射的条件,这样能更好地描绘病变结构并避免伪像。

高频线阵探头扫描肢体时的一个不足之处是其视野较窄,一般为4~6cm宽。目前采用的大部分仪器具备的分屏拼图技术,可获得12cm宽的视野。高端超声诊断仪均有拓宽视野超声成像技术(有时称为全景超声或宽景超声),采用这种技术可以获得包括远离病变的关节、肌肉和血管的全景图。

三、相控阵探头

另一种常用的阵列探头是相控阵探头,它的前表面比较小(20~30mm),适于通过小的声窗做检查。相控阵探头每次发射时所有的单元都参加,通过改变每个单元激发时间和接收延迟改变声束的方向,使声束在空间扫描出一个扇形。由于时间的变化相当于波形的相位变化,因此这种方式可以看成是由信号的相位控制声束的方向,也就是这种探头名称的由来。还有一种形状介于线阵和相控阵之间的凸阵探头,它的单元排成一段圆弧,尺度介于线阵和相控阵之间,扫描方式与线阵接近,但每次工作时声束的方向略有变化。它的扫描区域是介于扇形和矩形之间的一个图形。凸阵探头多用于腹部,因使用方便而广受欢迎。

四、环阵探头

电子聚焦技术与机械扫描探头结合,出现了环阵探头。这种探头仍然采用机械扫描的方式,但是它的压电片不是单个的圆片,而由几个同心圆环组成。在各个圆环上加上不同的脉冲,就可以在不同的深度聚焦。环阵探头可以在横向和侧向达到同样的聚焦效果。

为了适应不同的需要,超声探头的种类非常多,内镜探头是插入体腔内使用的超声探头。内镜探头种类很多,按引入体腔的途径,主要分为经食管、经直肠、经阴道以及经尿道探头,还有更为精细的血管腔内探头。它们更接近检查的器官,避开了皮肤、皮下脂肪等传播组织,因此检查深度比较浅,可选用更高的频率,以得到更精细的图像。但是它们的体积必须很小,因此技术工艺要求很高。内镜探头也分机械扫描和电子扫描两种,其基本组成部分和工作原理与上面介绍的体外探头相同。

面阵探头是一种新型三维成像探头。上述线阵探头的单元排成一段直线,而面阵探头的单元排成一个平面,因此它可以在三维空间内扫描,形成三维图像。

五、超声探头的分辨率

空间分辨率是超声探头的一个重要指标。假设人体内有两个小目标,如果它们之间距离较大,超声仪器就能区分它们。如果它们之间的距离很小,仪器就可能把它们当作一个目标。仪器能够区分的最小距离称为空间分辨率,简称为分辨率。分辨率和方向有关。沿声束方向的分辨率称为轴向分辨率(也称纵向分辨率),沿扫描平面与声束垂直方向的分辨率称为侧向分辨率(也称横向分辨率)。垂直于扫描平面且与声束方向垂直的分辨率称为切面分辨率(也称厚度分辨率)。

超声仪器通过脉冲波的到达时间来确定目标距离。如果在声束方向有两个距离不同的目标,它们之间的距离为 d ,当仪器发射的脉冲被它们反射回来,会产生两个回波脉冲,它们的到达时间相当于 $2d/c$,这里 c 是介质的声速。如果这个时间差小于探头的脉冲宽度(ΔT),两个回波脉冲就会互相重叠,仪器不能分辨。因此仪器的纵向分辨率为 $d=c \cdot \Delta T/2=SPL/2$,由于脉宽和带宽(B_r)成反比,即 $\Delta T=1/B_r$,因此纵向分辨率和带宽成反比。由此可见,要提高纵向分辨率,就需要缩短探头的脉宽,或增加