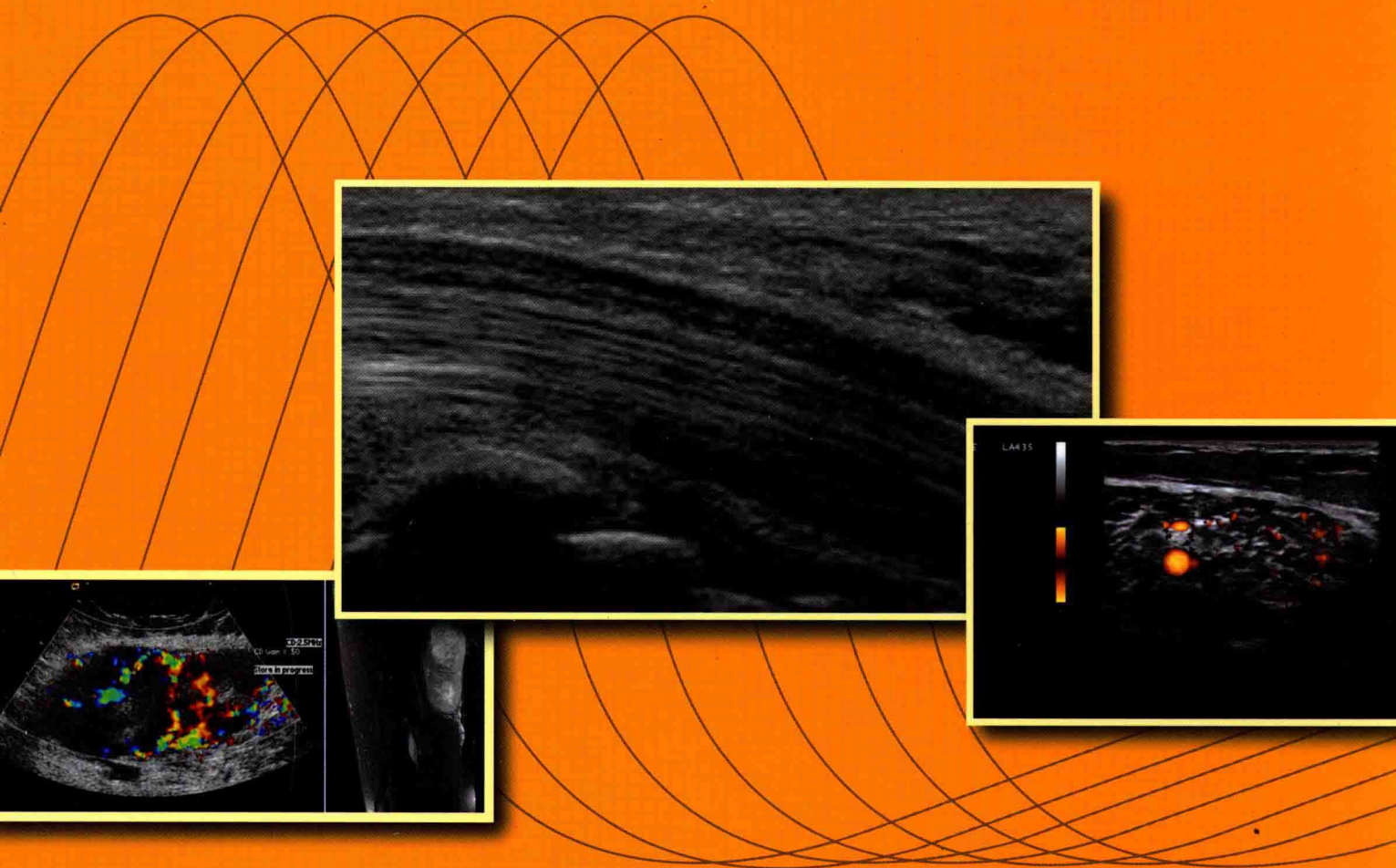


神经肌肉超声

NEUROMUSCULAR ULTRASOUND



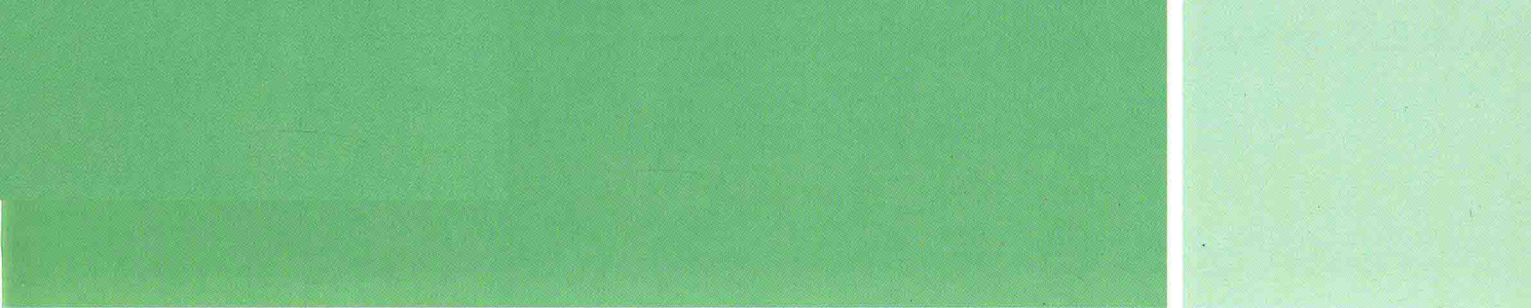
原著 Francis O.Walker Michael S.Cartwright

主译 吕国荣 李拾林

ELSEVIER



北京大学医学出版社



神经肌肉超声

Neuromuscular Ultrasound

SHENJING JIROU CHAOSHENG

图书在版编目 (CIP) 数据

神经肌肉超声 / (美) 沃克 (Walker, F. O.), (美) 卡特赖特 (Cartwright, M. S.) 原著; 吕国荣, 李拾林主译. —北京: 北京大学医学出版社, 2016.4

书名原文: Neuromuscular Ultrasound

ISBN 978-7-5659-1266-5

I . ①神… II . ①沃… ②卡… ③吕… ④李… III . ①神经肌肉疾病—超声波诊断 IV . ① R746.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 264258 号

北京市版权局著作权合同登记号: 图字: 01-2015-7081

ELSEVIER

Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

3 Killiney Road, #08-01 Winsland House I, Singapore 239519

Tel: (65) 6349-0200; Fax: (65) 6733-1817

Neuromuscular Ultrasound

Francis O. Walker, Michael S. Cartwright

Copyright ©2011 by Sauder, an imprint of Elsevier Inc.

ISBN-13: 9781437715279

This translation of Neuromuscular Ultrasound by Francis O. Walker and Michael S. Cartwright was undertaken by Peking University Medical Press and is published by arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

Neuromuscular Ultrasound by Francis O. Walker and Michael S. Cartwright 由北京大学医学出版社进行翻译, 并根据北京大学医学出版社与爱思唯尔 (新加坡) 私人有限公司的协议约定出版。

《神经肌肉超声》(吕国荣 李拾林 译)

ISBN: 9787565912665

Copyright © 2016 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. and Peking University Medical Press.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Details on how to seek permission, further information about the Publisher's permissions policies and our arrangements with organizations such as the Copyright Clearance Center and the Copyright Licensing Agency, can be found at our website: www.elsevier.com/permissions.

This book and the individual contributions contained in it are protected under copyright by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. and Peking University Medical Press (other than as may be noted herein).

Notice

This publication has been carefully reviewed and checked to ensure that the content is as accurate and current as possible at time of publication. We would recommend, however, that the reader verify any procedures, treatments, drug dosages or legal content described in this book. Neither the author, the contributors, nor the publisher assume any liability for injury and/or damage to persons or property arising from any error in or omission from this publication.

Published in China by Peking University Medical Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the contract.

神经肌肉超声

主 译: 吕国荣 李拾林

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumppress.com.cn>

E-mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京强华印刷厂

经 销: 新华书店

责任编辑: 宋小妹 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 889 mm × 1194 mm 1/16 印张: 13.5 字数: 415 千字

版 次: 2016 年 4 月第 1 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1266-5

定 价: 150.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

注 意

本领域的医学知识和最佳临床实践不断进步。随着新的研究成果的问世、临床经验的积累，我们的认识不断拓展，研究方法、临床实践或药物治疗可能也要随之变化。

执业者和研究人员在评估和应用本书介绍的任何信息、方法、化合物或试验时必须结合自己的经验和知识。在使用这些信息或方法时，应该注意自己及其他人的安全。

关于本书提及的任何药物或医药产品，建议读者查阅相关的最新信息，或查阅由每个生产厂家提供的最新产品信息，以核实推荐的剂量和剂型、给药的方法和持续时间以及禁忌证。医生有责任根据他们的经验和对患者病情的了解做出诊断，确定每个患者的给药剂量和最佳治疗，并采取各种安全防护措施。

在最大法律范围内，由于产品责任、疏忽或应用本书中的方法、产品、说明或想法而引起的任何个人或财产损伤和（或）损失，不论是出版商还是作者、参与者或编辑均不承担任何责任。

神经肌肉超声

Neuromuscular Ultrasound

原 著 Francis O. Walker
Michael S. Cartwright

主 译 吕国荣 李拾林

副主译 王凌星 苏淇琛

译 者 (按姓名汉语拼音排序)

陈少华 (福建医科大学附属第二医院)

李拾林 (福建医科大学附属第二医院)

林惠通 (福建医科大学附属第二医院)

柳舜兰 (福建医科大学附属第二医院)

吕国荣 (福建省泉州医学高等专科学校)

苏淇琛 (福建医科大学附属第二医院)

苏珊珊 (福建医科大学附属第二医院)

王凌星 (福建医科大学附属第二医院)

北京大学医学出版社

原著者名单

Roy Beekman, MD, PhD

Department of Neurology
Atrium Medical Center,
Heerlen, The Netherlands

Andrea J. Boon, MBChB

Assistant Professor
Department of Physical Medicine and Rehabilitation
Department of Neurology
Mayo Clinic College of Medicine
Rochester, Minnesota

Michael S. Cartwright, MD

Assistant Professor
Department of Neurology
Wake Forest University School of Medicine
Winston-Salem, North Carolina

C. Michael Harper, MD

Professor of Neurology
Vice Chair
Department of Neurology
Mayo Clinic College of Medicine
Rochester, Minnesota

Lisa D. Hobson-Webb, MD

Assistant Professor
Department of Medicine
Division of Neurology
Duke University Medical Center
Durham, North Carolina

Christopher Harker Hunt, MD

Assistant Professor of Radiology
Department of Radiology
Mayo Clinic College of Medicine
Rochester, Minnesota

Sigrid Pillen, MD, PhD

Department of Neurology and Clinical Neurophysiology
Department of Pediatrics
Radboud University Nijmegen Medical Center
Nijmegen, The Netherlands

Steven J. Shook, MD

Staff
Neuromuscular Center, Neurological Institute
Cleveland Clinic
Cleveland, Ohio

Nens van Alfen, MD, PhD

Neurologist/Clinical Neurophysiologist
Department of Neurology & Clinical Neurophysiology
Radboud University Nijmegen Medical Center
Nijmegen, The Netherlands

Leo H. Visser, MD, PhD

Department of Neurology
St. Elisabeth Hospital
Tilburg, The Netherlands

Francis O. Walker, MD

Professor
Department of Neurology
Wake Forest University School of Medicine
Winston-Salem, North Carolina

Robert S. Weller, MD

Professor
Department of Anesthesiology
Wake Forest University School of Medicine
Winston-Salem, North Carolina

Craig Mitchell Zaidman, MD

Assistant Professor
Department of Neurology
Division of Child Neurology
Washington University
St. Louis Children's Hospital
Barnes Jewish Hospital
St. Louis, Missouri

Machiel J. Zwarts, MD, PhD

Professor
Clinical Neurophysiology
Radboud University Nijmegen Medical Center
Nijmegen, The Netherlands
Professor
Epilepsy Centre Kempenhaeghe
Heeze, The Netherlands

译者前言

肌肉骨骼超声是超声医学的重要组成部分。神经肌肉超声是肌肉骨骼超声的一个重要分支。超声医学发展日新月异，介入性超声、三维超声、超声弹性成像、声学造影等新技术已经融入了超声医学各个领域并推动着超声影像诊断和治疗水平的提升。由 Francis O. Walker 教授和 Michael S. Cartwright 助理教授主编的神经肌肉超声 (*Neuromuscular Ultrasound*) 内容丰富，涵盖超声诊断基础理论、周围神经及四肢肌肉的超声检查方法、常见疾病的超声表现、介入超声在神经肌肉疾病诊断中的经验、超声与其他检查技术的联合应用等方面，观点新颖，技术先进，重点突出，简明扼要，还十分重视超声新技术在神经病学各个不同领域的应用，反映了当

代神经肌肉超声的先进水平和最新成就，同时就目前该领域尚不完善或空白方面进行了详细分析，为进一步研究指明了方向。我国尚缺少有关神经肌肉的超声诊断专著，因此，我们组织了福建医科大学附属第二医院和泉州医学高等专科学校的专家翻译 *Neuromuscular Ultrasound* 一书。读者可登录 www.expertconsult.com 搜索本书英文版书名，观看相关视频（购买本书英文版方可获得相关激活码）。希望本书的出版能促进我国神经肌肉超声的发展。

由于我们在神经肌肉超声方面的诊断水平和经验有限，而且这是一个全新的超声领域，因此，本书翻译难免有疏漏、错误之处，诚恳地希望超声医学界专家和同道不吝指正。

吕国荣

2016 年 1 月于泉州

原著前言

“所有人类科学只是观察能力的提高，所有人类艺术是动手能力的增加。视野和操作以无数间接和转化的方式，成为所有知识进步中的两个协同因素。”

John Fiske, 1899^[1]

医学既是艺术，也是科学，这一点在电诊断医学实践和神经肌肉超声体现得最清楚。这两种技术都是以感知信息（科学）和运动技能（艺术）为基础进行推理研究，都有助于探索个体患者的病理改变以及影响广泛人群的神经肌肉疾病的机制。Fiske 在其早期的著作中详细解释了艺术和科学的协同效应^[2]：

“科学不只是普通感觉借助推理进行的延伸，艺术也不只是肌肉系统以运动方式表现心理状态的扩展。因此，认识规律的每一次进步都有助于人类的操作，每一次成功操作的结果都有助于发现其他规律……现在，几乎没有一项科学观察不涉及艺术工具的使用，而且几乎没有一个艺术过程与科学预测无关。”

这种描述很恰当，因为肌电图（EMG）和超声检查作为 20 世纪的发明，是可以亲手操作的技术（艺术），也就更好地理解科学（艺术）。当然，人们对这些技术（艺术）中的科学理解越透彻，就越能激发人们对它们进行探索。国际上对于实际进步技术的描述与提出的研究假说是存在差异的，但也有些人认为这是发明创造的重要前提。这种想法无法解释大部分创新，特别是现在常规可用且具有技术进步特征的发明中隐含的实时推理和运动技巧。事实上，正是物理研究如超声检查和 EMG 的实时性才使它们对操作者更具有吸引力。这些技术通过整合问诊、体格检查、电诊断和实时超声的综合结果，促进问题的解决。整合的过程，或更常见的是整合失败，会激发好奇心并促进该领域的发现。

本书是为那些想借助超声检查进一步发展神经肌肉科学和艺术的人而写的。与临床医学的很多情况类似，我们对这一领域的兴趣来自热心导师

William McKinney 博士的帮助。他是美国超声医学会前主席，也是颈动脉超声检查的先行者。他在 25 年前就鼓励 Francis O. Walker 继续进行 Heckmatt 等^[3]关于使用超声检查评价肌萎缩的研究。超声技术的偶然使用证实了它对检测慢性肌肉疾病具有敏感性。若单独使用，其在临床护理中的作用微乎其微，所以该技术主要限于研究时使用^[4]。然而，在接下来的 15 年内，随着可用分辨力的明显提高，超声技术被用于研究神经并用来常规评价卡压性神经病变。大约 10 年前，Michael S. Cartwright 开始使用超声检查进行神经肌肉研究^[5]。从那以后，有许多美国及国外的研究者加入，其中有些人比我们更早进行研究且更有经验。这些先行者通过他们的意外发现和优秀研究鼓励并促使我们汇编了这本神经肌肉超声的入门教材。我们尽可能多地邀请这些优秀的研究者来编写相关章节或大量引用他们的研究。我们期待未来能找到更多的同道和合作者，推进这一广阔领域的发展。

Francis O. Walker, Michael S. Cartwright

参考文献

1. Fiske J. The destiny of man viewed in light of his origin. Boston : Houghton Mifflin (the Riverside Press Cambridge) ; 1899.p60
2. Fiske J, Outlines of cosmic philosophy based on the doctrines of evolution with criticisms on the positive philosophy, vol. 2, 1891, Houghton Mifflin (the Riverside Press Cambridge), Boston, p 310
3. Heckmatt JZ, Dubowitz V, Leeman S. Detection of pathological change in dystrophic muscle with B-scan ultrasound imaging. Lancet. 1980;1 : 1389-1390.
4. Walker FO, Donorio PD, Harpold GJ, Ferrell W.G. Sonographic imaging of muscle contraction and fasciculations : a correlation with electromyography. Muscle Nerve. 1990;13 : 33-39.
5. Cartwright MS, Wiesler ER, Caress JB, et al. High-resolution ultrasound in the evaluation of carpal tunnel syndrome. Neurology. 2002;58 (Suppl 3) : A67.

目 录

第一章 超声的基本原理	1
第二章 周围神经的超声检查	25
第三章 肌肉的超声检查	38
第四章 四肢其他组织的超声检查	59
第五章 局灶性神经病变的超声检查	75
第六章 臂丛神经的超声检查	97
第七章 多发性神经病的超声检查	113
第八章 运动神经元病的超声检查	126
第九章 炎性肌病的超声检查	133
第十章 肌营养不良症、肌病超声检查和肌肉病理	140
第十一章 介入性超声	161
第十二章 超声作为电诊断研究的补充	177
第十三章 神经肌肉超声的未来发展方向	189
附录 A 神经肌肉超声检查规范	199
附录 B 神经肌肉超声视频	202

超声的基本原理

Francis O. Walker

译者：柳舜兰 苏淇琛

本章要点

- 神经肌肉超声检查常用线阵换能器（探头）。线阵换能器通常含有一组数百个晶体或陶瓷的压电元件，这些元件既可以将电能转换成声波，也可以将组织反射回来的声波转换成电子脉冲。换能器主要运行于接收模式而非发射模式，处于接收模式的时间超过 99%。
- 声波是一种变速传播的压力波，其传播速度取决于所在组织。超声仪器假定声波传播的平均速度是 1540 m/s，并以此来计算回声的深度。
- 声波在组织中传播时会发生衰减（高频声波比低频声波衰减更明显），也会在致密结构表面发生反射或散射。因此，高频换能器产生的浅表影像质量要远高于深部影像。
- 大多数神经肌肉超声检查采用 B 型（辉度调节）成像模式，也称为实时成像模式。换能器不断地产生和接收声波，接收返回的声波后，计算机应用假设和公式进行估算，产生直观显像，包括空间、时间分辨力和回波强度。

熟悉超声波基本原理的神经科医生极少。因此，本章的目的在于使读者理解超声仪器的基本原理，以利于更好地掌握仪器的操作技能，并懂得如何调节和优化超声图像。此外，还可引导读者深入了解超声技术进一步发展的潜能。目前仪器的设计主要针对的不是神经和肌肉，而是深部的器官和组织，因此，从有经验的用户那里得到更多的反馈，可以改善神经肌肉超声仪器的性能。

一、概述

古希腊人通过 Echo 和 Narcissus 的神话故事，理解了光和声反射的基本原理。故事中的 Narcissus 对自己水中的倒影着迷，而不为美丽的 Echo 所吸引。这个传说的作者不可能预见水下声呐、医学超声的发展，但是她似乎懂得回波定位的价值，回波定位是另一种感知自然界的方式。

自然界的生物很早就掌握了回声定位的能力。神奇的蝙蝠和鲸鱼，在黑暗中或视线不佳的深水区，可使用回声进行空间定位。它们通过回声定位来感知世界的能力，对于人类来说是遥不可及的。我们不能感受超声波，所以我们必须找到一个替代品，可以通过反射的声能创造出可经视觉感受的结构信息。霍华德·休斯在他获奖的书籍《感觉新奇事物》中深入探讨了人以外的哺乳动物回声定位能力和其他独特的感觉经验^[1]。

不论医师的经验是否丰富，本书都值得一读。我们以了解仪器设备的性能为开篇，对如何形成超声影像进行了阐述。本章节首先描述了图像如何生成，随后是换能器及其组成元件，声波和回声在人体组织中的特性，以及如何调节换能器和如何实现回声到图像的转换。在阐述上述内容的同时，还对超声与电诊断法进行了比较。神经肌肉的病变主要是通过电诊法诊断，而非其他影像技术，所以与其比较是有价值的。许多读者有较多的电诊断经验，这将有助于他们学习超声技术。文中还讨论了一些关于人类感知能力以及它们如何影响超声仪器显像的内容（图 1.1）。

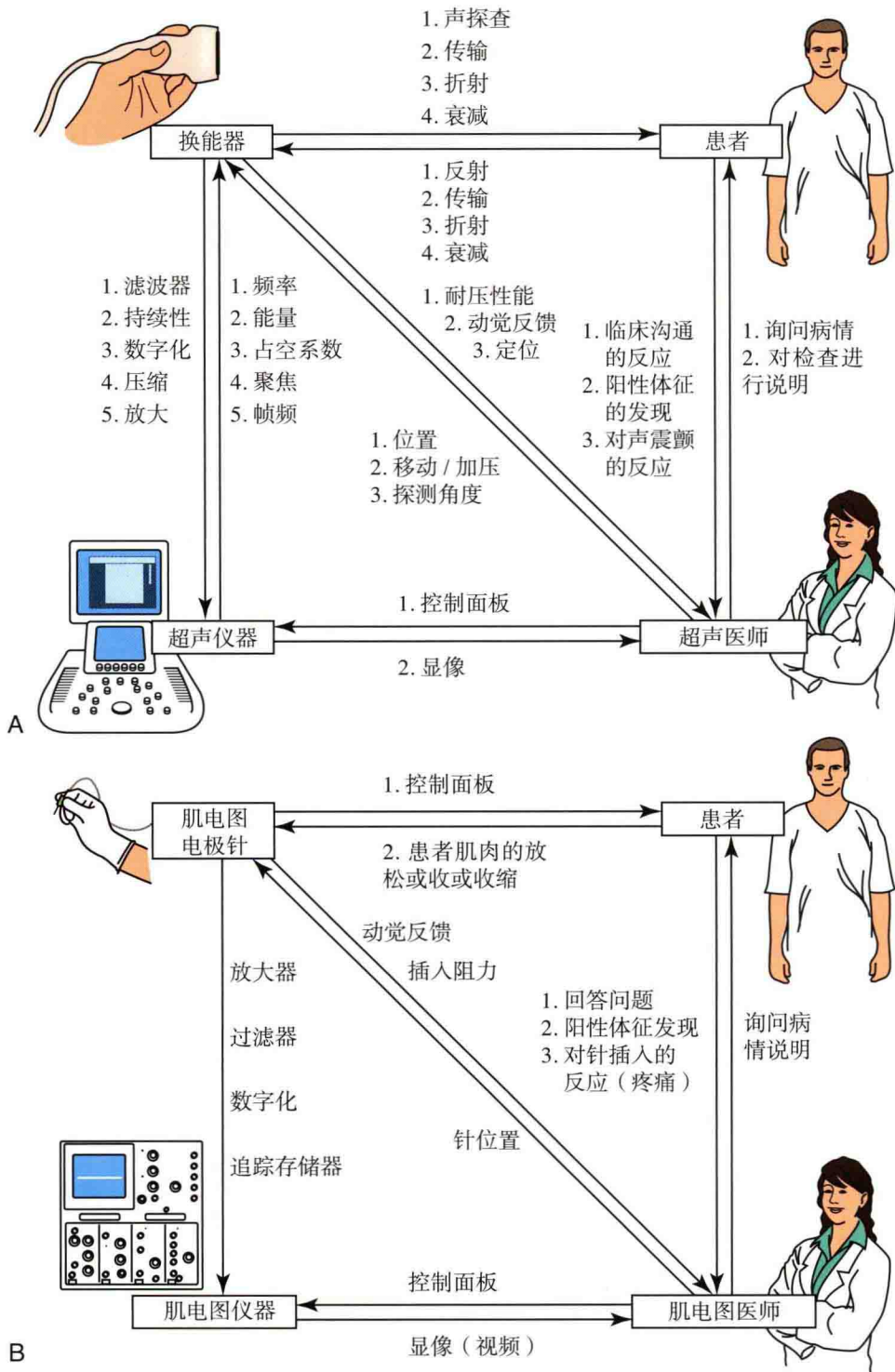


图 1.1 A, 超声成像的四个要素: 换能器、仪器及操作、患者、超声医生。超声医生在检查时将相互作用的四个因素联系起来。B, 肌电图——采用与超声检查相同的网格图进行描述, EMG 有时被认为是体格检查的扩展, 神经肌肉超声也一样。带有方向性的箭头表示这些要素之间复杂的相互反馈作用。EMG, 肌电图

二、使用入门：获取图像

超声仪器上有一系列复杂的开关、刻度盘和按钮，认识这些对于初学者来说有点困难（图 1.2）。另外，为了避免误操作，开/关键总是设置在比较隐蔽的位置。然而仪器一旦开始运行，操作者很快就会发现仪器其实很直观而且很快就能学会使用。首先要确定仪器的探头连接正常，并在其表面涂上耦合剂。之后，将探头放在手腕上进行方位识别，如图 1.3 所示。请注意，每个线阵探头的一端都有一个相对应的方位定位标记。这个标记一般对应显示在屏幕的左上角。检查时应该使探头的定位标记端指向患者的头侧，以获取矢状断面图像，指向超声医师的左侧，以获取横断面图像。因此，超声声像图的定位方式与计算机断层扫描（CT）或磁共振成像（MRI）是一致的。应该注意的是，并非所有神经肌肉成像都采用这种定位方式，本书中的一些旧图像就是如此。例如，腕部正中神经的矢状断面成像在文献中通常采用相反的定位方式：屏幕的左边显示腕部的远端。但根据超声规范，这是不可取的，应当避免^[2]。神经肌肉超声检查还受其他因素影响，如框 1.1 所示。

框 1.1 神经肌肉超声检查的总体要素

1. 使用频率 ≥ 12 MHz 的线阵式换能器
2. 检查室的设置应该确保超声医师可同时观察到患者和超声仪器（图 1.25）
3. 与超声显示屏左上角标志相对应的换能器标志，在进行横断面显像时应对着超声医师的左侧，矢状断面成像时应对着患者的头侧
4. 在检查过程中，深度、聚焦、增益和时间增益补偿应调整至可显示感兴趣结构的最佳状态
5. 若条件允许，应使用多普勒超声明确血管中有无血流
6. 获取和保存所检查部位的图像应至少包括两个断面。例如，对于腕管综合征的患者，无论是正中神经的横断面还是矢状断面图像都应该评估和保存
7. 使用有注释功能的超声仪器时可以标注感兴趣的结构，并保存重要的图像。图像可以打印、保存到仪器硬盘，或上传至图像存档和通信系统

检查腕关节时，掌根应舒适地放在患者的前臂或其他支撑结构上。声像图要包含腕管的内容物、桡动脉和（或）尺动脉。图像的宽度与探头的扫描范围相对应（图 1.4），对于曲面探头，则对应其曲度（图 4.2 和图 4.14）。耦合剂除了增强声波的穿透性外，还能使探头容易向左、向右、向远端或向近端滑动，从而获取相邻组织的最佳显像。稍微施压可使探头向近端或远端倾斜。总体来说，探查时探头应垂直于皮肤表面，但也经常需要调整探头角度。一般情况下无需加压扫查，施加太大的压力会使结构发生变形，也会使患者对超声检查产生厌烦和不适感（图 1.5）。为了方便和有效地识别图像，可以



图 1.2 几种不同的超声仪器控制面板。A，Philips（飞利浦）IU22。B，Biosound Esaote（百胜）便携式 B 超机。C，GE Logiq。尽管现代仪器是数字化的，但仪器控件还是有连续调整或逐步递增两种模式。箭头所示为仪器上的时间增益补偿面板



图 1.3 图像方位示意图：探头边缘的方位定位标记已被手指遮挡，在此位置可获取腕部正中神经的横断面声像图

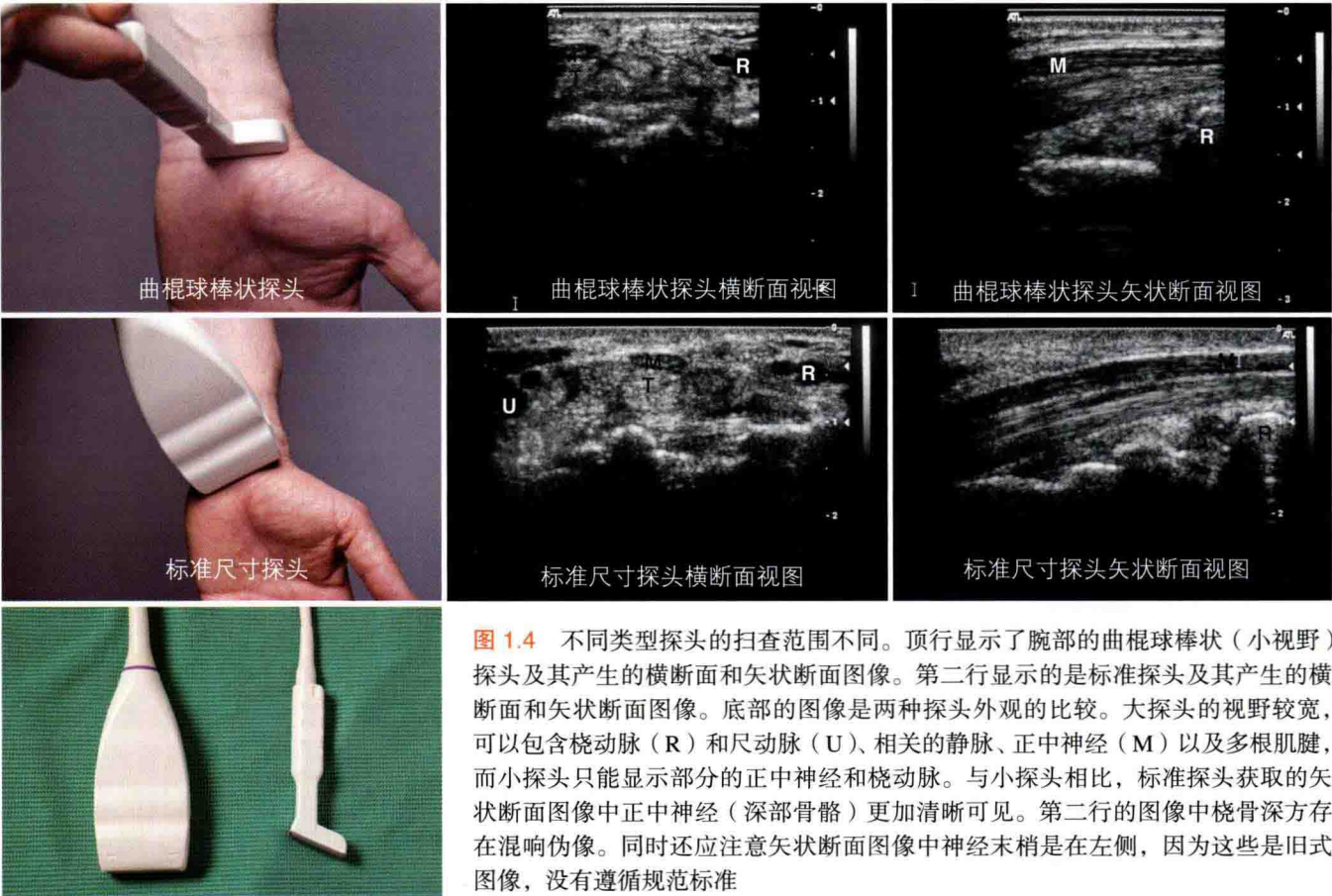


图 1.4 不同类型探头的扫查范围不同。顶行显示了腕部的曲棍球棒状（小视野）探头及其产生的横断面和矢状断面图像。第二行显示的是标准探头及其产生的横断面和矢状断面图像。底部的图像是两种探头外观的比较。大探头的视野较宽，可以包含桡动脉（R）和尺动脉（U）、相关的静脉、正中神经（M）以及多根肌腱，而小探头只能显示部分的正中神经和桡动脉。与小探头相比，标准探头获取的矢状断面图像中正中神经（深部骨骼）更加清晰可见。第二行的图像中桡骨深方存在混响伪像。同时还应注意矢状断面图像中神经末梢是在左侧，因为这是旧式图像，没有遵循规范标准

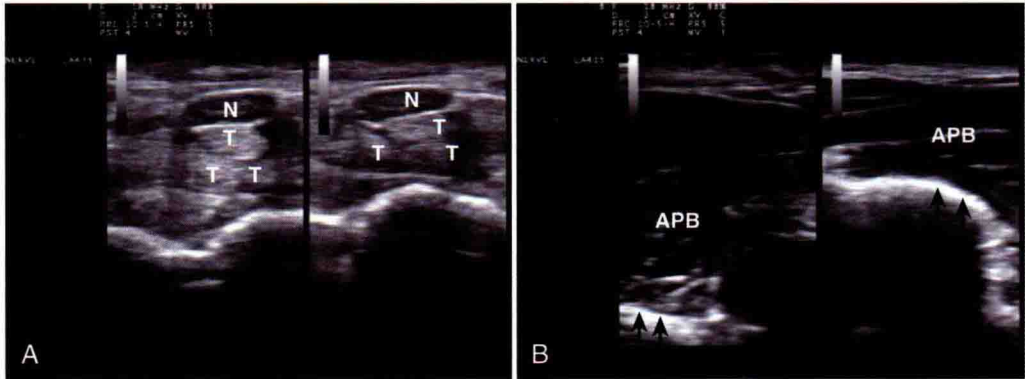


图 1.5 探头压力对神经和肌肉的影响。A，两幅图像均为远侧腕横纹处正中神经的横断面。施加较小压力（左侧图像）与较大压力（右侧图像）时，神经厚度或形状几乎没有任何改变，但随着压力增加，神经和桡骨之间的距离缩小。B，两幅图像为通过拇短展肌的掌骨（箭头）的正中横断面。左侧图像为探头施加较小压力，右侧图像为施加较大压力。压力造成拇短展肌厚度减小约 50%。与拇短展肌相比，较大压力对腕管造成的变形较小，因为肌腱和神经与骨骼肌肉相比，其可压缩性和可移动性较差

适当加入一些可识别的标志（血管分叉、骨缘等）。

为了获得理想图像，可以对仪器进行几项简单的调整。超声仪器面板上有用来调整显示深度的旋

钮，可调整以显示目标结构^[3]；缩放功能可以对感兴趣的细节进行详细的观察。MRI 与 CT 都是机械地记录标准化切面，而超声仪器则需要操作人员使

用探头进行多部位和多角度探查,并通过操作相关控件来获取和存储最有用的二维(2D)图像。深度的增加(低倍放大)以及缩放功能(高倍放大)与显微镜的镜头功能类似——低倍镜对方向定位和异常情况的显示有帮助,而高倍镜则可用于捕捉病理变化的本质。对于弥漫性病变,低倍放大(增加深度,如了解肌肉病变范围)更适合。

图像的亮度也可通过调节功率以及增益旋钮来控制^[3]。功率控制着传输至组织的声能量,增益旋钮可以放大回波信号。这些旋钮有类似但不完全相同的功能,并且需要通过设置来优化感兴趣结构的显像。这些旋钮与摄影也有相似之处:功率旋钮控制闪光灯的亮度,而增益旋钮本质上相当于调节着曝光的速度。在电诊法中,功率旋钮控制着刺激强度^[4],而增益显示神经传导效应的幅度。在超声和电诊法中,过大的强度对显像效果和研究效能均毫无作用。

聚焦对结构分辨有一定帮助,通常在屏幕上也有相应的显示标记^[3]。聚焦区域应当包含感兴趣结构(图1.6)。仪器上的冻结按钮会停止机器的实时功能并且显示为单帧图像。大多数的仪器在冻结前可以储存几秒钟的资料,所以,图像被冻结后可慢慢回放之前的多幅图像并储存最佳图像。超声仪器的倒带和回放功能成为产业标准已经很多年了,但是,这一简单的功能直到最近才用在肌电图(EMG)仪器上。任何被冻结的图像可被储存以供以后观看,

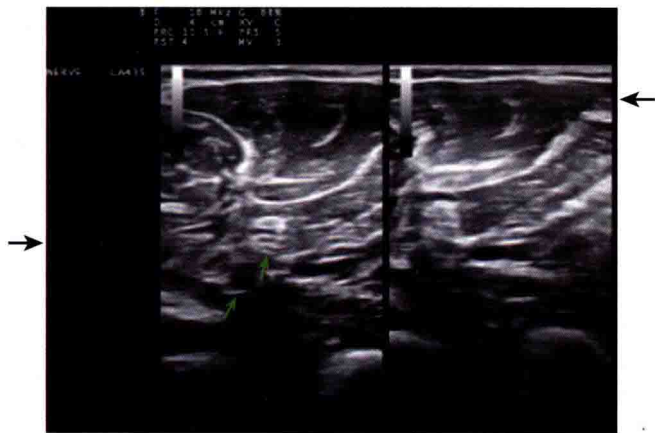


图 1.6 旋前圆肌深面肱动脉分叉水平的前臂正中神经声像图。左图的聚焦带和正中神经处于同一水平,右图的聚焦带稍低于皮肤(黑色箭头)。可以看出,左图浅方的正中神经以及深方的肱动脉(绿色箭头所示)的轮廓结构与右图的相比而言,更加清晰

以及在各种仪器上进行再处理、标记和分析。

三、换能器(探头)

专业术语中“换能器”指的是可以将一种能量转换成另外一种能量的载体。生物受体器官都有换能器(感受器),可将不同类型的物理能量转换成神经系统的电脉冲;视网膜转换光线,耳蜗转换声音,神经末梢转换热量。肌肉是一种与感觉换能器作用相反的换能器,它将电能转换成机械能。在充足的腺苷三磷酸(ATP)的作用下,肌肉以非凡的作用力完成这种能量转换。提升重物的动作从中枢神经系统(CNS)中一些脑神经元的微伏放电开始,这些放电通过神经传导到肌肉很快就转化成了数百磅的力量。与此相似,甲杓肌在肺中压力气流的帮助下,将神经元发放的电子脉冲转换成声能量。在各种各样的装置中,将电能转换成声波通常是由扬声器来完成的,而将声波转换成电能是由麦克风完成的。这些仪器都需要隔膜和电磁铁,但对于医用超声来说它们的体积都太大了。因此,必须选用压电晶片代替它们。

压电元件将电能转换成声脉冲能量,然后又将该声波的回波转换成电能^[3]。压电元件阵列创造出声能,产生回波,随后回波反射到探头激发产生了电子信号,这显示出了超声换能器的重要功能——超声换能器在皮肤上发出和接收声脉冲。超声换能器有别于电诊断中的接触元件,用于肌电图(EMG)和神经电传导检查(NCS)的电极构造相对简单。虽然它们也要记录并携带电子信号,但并不需要把电子信号转换成另外一种形式的能量,其一组电极发出电能,另一组记录电能^[4]。这些电极由裸露的环状、碟状或针状金属组成(图1.7)。无论是电诊断仪器还是超声换能器,一旦获取电信号,信号将通过不同的仪器进行过滤和放大,产生显像。在这一点上,两种仪器均把电能转换成光能,生成图像。在电诊法中,显示的是具有恒定强度的单个点,其垂直位移(振幅)随着时间的推移而改变,但是在超声诊断中,显示的2D图像是由大量的点组成,其亮度随着时间的推移而改变。在肌电图中,显像信号也可被转化成声能。而在超声成像时,只有应用多普勒血流显像,声音才是超声显像的典型部分。从复杂的元件设计上看,超声换能器明显比电诊断使用的电极更加昂贵和脆弱。

肌电图教科书常常用几页的篇幅来描述肌电图

电极的特征，因为电极结构上的微小差异也能导致记录特征的细微差别(关于这一点仍有争议)(图 1.7)^[4]。对于超声仪器来说，换能器的功能要比 EMG 的记录

电极复杂得多，而且换能器与主机密切连接，检查者往往很少把焦点放在超声仪器设计的细微差异所导致的后果上，而是更注重检查的手法来获取最佳的影像。

(一) 复合结构

一个超声探头包含多个微小压电元件组成的阵列，每个压电元件提供单线的超声数据(图 1.8)。与老式电视机产生图像的方式相同，显示器把这些数据进行无间隙地整合，生成了一个二维(2D)图像^[3]。超声探头有很多种形状。检查心脏时，采用曲面的超声探头，以便探头放在肋间时能通过狭窄的肋间隙获得更大的扫查范围^[2]。用于阴道、直肠和食管成像的腔内探头具有与其解剖相符合的形状。在特殊情况下，可以使用血管内超声探头来检查动脉壁^[5]。所有超声仪器都有几组不同形式或形态的探头。对于神经肌肉成像，最常见的是线阵式探头，因为这个形状适合大部分成像部位。曲棍球棒状探头隶属于线阵式探头，探查范围小，手柄长，可用于某些骨骼周围的表面成像，如肱骨内上髁。

(二) 压电材料微型化

超声换能器最关键的原理还是压电现象，这种特性是一些特殊材料固有的^[3]。这种现象最先发现于石英晶体，电流通过晶体时会引起能量的吸收，电子轨道的改变，继而影响晶体形状的变化(图 1.9)。空间的突变就产生了声脉冲。对石英晶体反向施加机械压力可产生电流，这种特性使得这种材料成为制造留声机拾音器针头和超声换能器的最佳选择。

目前，用于超声换能器的材料有锆钛酸铅^[3]和压电陶瓷。尽管此类化学材料不是天然压电物质，但当它在电磁场中被加热至 350℃ 以上时，晶体分子就会被快速地诱导，继而成为具有压电性能的偶极驱动晶格。当被冷却时，施加在这种材料的电压导



图 1.7 肌电图设备和超声设备的比较。A，电诊法研究的设备：测量刺激部位、刺激和记录部位之间距离的带尺，固定表面电极的胶带，各种表面测量电极（环、棒、盘、板）和一个刺激电极。两种类型的肌电图电极针，长的是单极，短的是同心的；消毒皮肤的乙醇溶液（酒精）和用于减少皮肤阻抗的电解质糊。B，超声探头接触患者皮肤时，使用耦合剂可以提高声波的穿透性，且超声耦合剂能够起到电解质糊的作用，但是反过来电解质糊不能作为耦合剂使用。很明显，超声检查的准备时间要少于电诊法

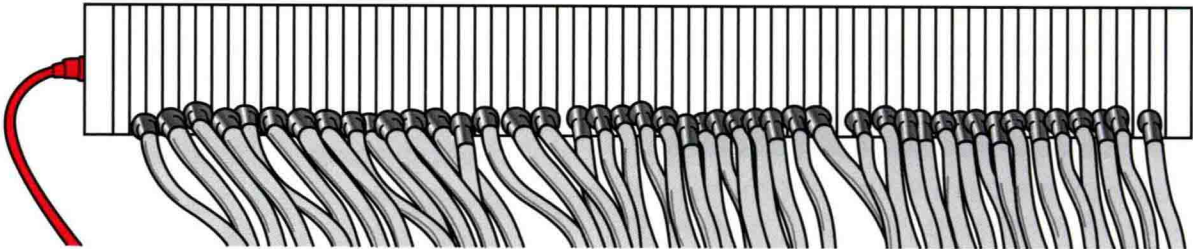


图 1.8 阻抗匹配材料、保护套已拆除的超声换能器示意图。每个压电元件都有单独的电通道。从超声电线的厚度（如图 1.7）可反映出大部分换能器都需要配备数百个元件

致它变厚或变薄，就像悬浮分子使其偶极向静电荷靠近或远离。这种在晶体材料中的形状变化产生了现代超声探头中的声脉冲。这些小晶片每个都是单独布线，以线性的方式排列，形成典型的超声换能器。

（三）换能器外壳

超声探头的外壳包括很多部分：换能器、换能器的布线和一些材料层^[3]。因此，连接换能器与仪器的电缆非常厚实，包含组成典型线阵式探头的数百个微型换能器的输入及输出（图 1.4）。在换能器底部放置减震材料，是为了协助探头控制声脉冲的长短。声脉冲越短，分辨力越高。

在探头的接触面和底层阵列的换能器之间，增加了匹配层^[3]。这就减少了换能器和皮肤之间阻抗的不匹配性。使用耦合剂可以增强这种匹配作用。如果没有这些措施的话，超过 80% 的声波将会从皮肤表面返回换能器。关于声阻抗匹配更详细的内容将在其他章节进行讨论^[6]。

四、声脉冲技术

简单地说，回声定位涉及单个声脉冲、回波时间和回波强度三个方面^[1]。蝙蝠使用其声带发出短波脉冲来创造回声。人类没有这样精良的装备，但可向深井中呼喊，然后从回声的延迟推测出井的深度，从声音的音质推测出井中的反射物质。如果底部有光滑的石面或者贮水池的话，就会传回尖而清晰的回声。相反，如果苔藓覆盖井壁、树叶覆盖井底的话，就会听到低沉且柔和的声音。

超声波也依赖于单一的声脉冲产生二次回波^[3]。

声波由换能元件产生，当声波穿过身体时，不同层次的组织界面就会产生出不同强度的多个回声。在每个界面，某些声波被反射，而另一些声波继续传播。回声在不同的时间回到换能元件，而换能元件将它们转化为一个跟踪信号。回声的延迟时间提供了空间信息（反射界面的深度），而回声的强度提供了反射界面类型的信息。

人类主要用视觉来描绘空间，这就是为什么会用图像来显示超声信息。绝大多数视觉的出现来自于持续的光能刺激，比如太阳和灯泡。回声是一次完整声脉冲的反射，所以脉冲越短，回声越不可能在其本身的脉冲期间返回，前后连续的脉冲也就越不可能产生相互干扰^[3]。常用的 B 型超声脉冲是在 0.2~0.3ms 内。有趣的是，蝙蝠的叫声持续的时间更长，达 0.2~100ms，它们的叫声可以覆盖更远的距离，达到 50m 或更远。而在适当的时候，如当蝙蝠接近飞蛾等捕食目标时，会缩短叫声持续时间，以增强定位能力。

超声换能器每秒可发出多次声脉冲以形成脉冲重复频率^[3]。它就像录像机上的帧率一样，对图像中的时间分辨力起着决定性作用。占空系数是一个术语，用来计算换能器实际发射脉冲的时间比例。实际上，发射脉冲要比换能器接收回波所用的时间少得多。一个换能器所发射的总能量与占空系数直接相关，并且决定了某些特定的物理效应，例如组织发热。

组织以产生回波作为对声脉冲的回应。仪器的作用就是根据这些信息重建出图像。要了解仪器的工作原理，必须理解声脉冲如何作用于人体组织。

五、声波的基本原理及其在组织中的生物学行为

（一）声速

声音是一种可传播的压力波。海中波浪的振幅方向（垂直）与其前进方向（水平）平面垂直，而声波的传播则不同，它的传播是由介质中的分子交替性压缩和疏松来进行的（图 1.10）。这些变化可以通过压力、密度或粒子振动进行测量，这些参数都是声学变量^[3]。正如波浪一样，声音具有其内在的波长、周期、频率，而且这些都是相互关联的。声音传播的速度，并不是某种类型声能量的属性，而是传输介质的属性。声音传播速度与组织的刚性，

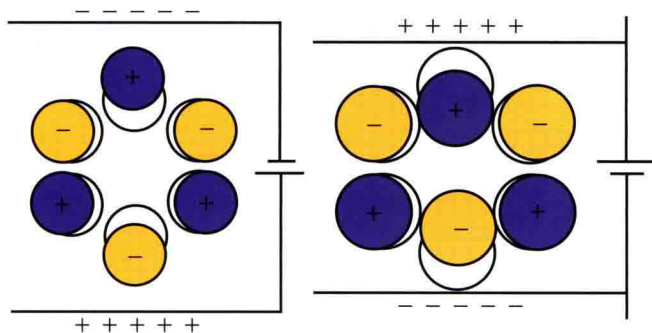


图 1.9 压电材料对电流的反应。由于内部化学结构固有的不对称性，应用电流时会在分子偶极间发生转移，从而导致压电元件形状的改变

或者更准确地说，与组织的密度有关。因此，在易压缩的气体中传播较慢，在体液和身体组织较快，在固体最快。对于声音传播的感知认识，很容易从一种螺旋弹簧玩具(slinky)模型中获得启示(图 1.11)，玩具由弹性金属缠绕的线圈构成的，机械能作用产生了螺旋形线圈收缩和疏松连续交变的驻波。如果紧紧缠绕的是金属硬线圈，振波的传播速度就很快。缠绕较紧的螺旋弹簧线圈模型的传播速度比缠绕线圈少且疏松的模型快。

声音在不同介质中传播速度会发生变化，这在日常生活和临床中都有重要意义。靠耳朵贴近铁轨来推断火车临近，比通过空气辨别声音来源要快。一般来说，声音在金属中的传播速度比在人体软组织中快 4 倍，在人体软组织中的传播速度略快于海水中，而在海水中传播的速度比在空气中快 4 倍。

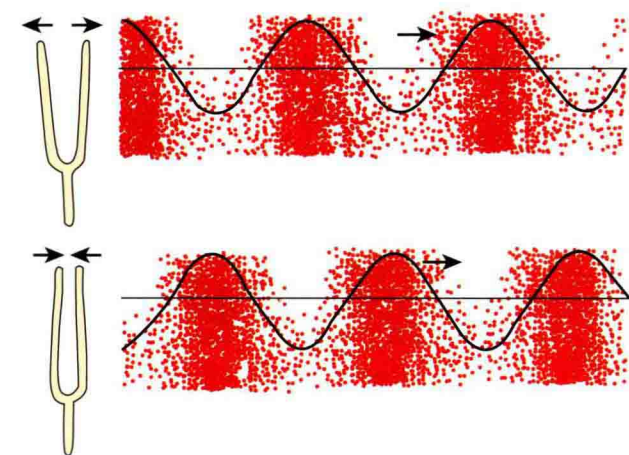


图 1.10 纵波（叠加正弦波）与声能压缩波的比较示意图，图中说明声能压缩波引起分子交替性收缩和疏松的变化

人类已知的最坚硬的物质——钻石传播声音的速度可达 12 000m/s（表 1.1）。

(二) 超声波测距

超声检查的主要目的之一是准确表达人体组织的空间特性。超声依靠回波时间来测量深度（范围）。正如上文所提到的，超声使用大量的假设来计算深度^[3]，它假定声音从换能器到靶目标，是沿直线传播并返回。有足够的回波从组织返回换能器，这些回波被接收并进行计算。当声波传播的整个软组织声速高度一致时，测量会更加准确。一般而言，这些观点是正确的，特别是用于研究神经肌肉超声检查等较表浅的结构时。所有的超声波仪器都假定声音在组织中以 1540 m/s 的恒定速率传播，而且回波图像也是在此基础上构建的。另一种表达方式更让人容易理解：在人体软组织中，声波往返 1cm 的时间平均为 13μs^[3]。

超声图像的宽度表示线阵式超声探头内每个换能元件厚度的总和（图 1.4 和图 1.8）^[3]。由于未假定组织中的声速恒定不变，组织宽度测量可能会比深度的测量更加精确。但是，由于宽度测量没有把

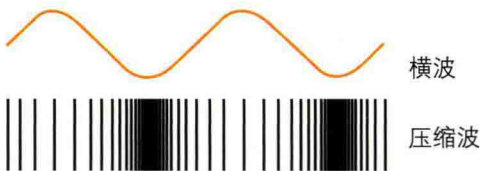


图 1.11 比较横波与压缩波的传播方式。底部的图形类似于一个螺旋弹簧玩具的模型

表 1.1 声音在不同介质中的传播速度			
传播介质	速度（m/s）	传播介质	速度（m/s）
空气	331	肌肉	1585
脂肪	1450	晶状体	1620
水（50℃）	1540	肌腱	1650
人体软组织	1540	冰	3152
脑组织	1541	颅骨	4080
肝	1549	铜	4490
肾	1561	铝	6400
血液	1570	钻石	12 000