

超声及其治疗应用



人民卫生出版社

人
民
卫
生
出

547

69.60

超声及其治疗应用

Н. П. 克雷洛夫 В. И. 罗杰疆斯基 著

陈子元 繆鴻石 译

李 維 清 校

人民衛生出版社

一九六〇年·北京

內 容 提 要

超声旧称超音波，近年来在工业和医学上已广泛应用，在医学上用为新的治疗和诊断方法——超声诊断和超声治疗。

本书是著者参考740多种各国文献并根据自己的实验资料而写成的。从治疗角度上详细阐述了超声的物理、生物-物理特性、作用机制、应用方法、剂量测定和适应证与禁忌证等。各论中详细分述了超声在运动支持器官疾病、内科疾病、神经科疾病、皮肤科疾病及口腔科疾病中的应用。本书内容新颖精炼，可供有志研究和应用这一新治疗方法的理疗医师和其他各科医师参考。特别是在当前攻尖端、攀高峰的技术革新、技术革命运动中，此书更可供全国医务人员学习参考之用。

超声及其治疗应用

开本：787×1092/32 印张：6 字数：123千字

陈子元 穆鸿石 译

人 民 卫 生 出 版 社 出 版

(北京书刊出版业营业登记证出字第〇四六号)

·北京崇文门东大街胡同三十六号·

人 民 卫 生 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

统一书号：14043·2217

1960年6月第1版·第1次印刷

定 价：0.85元

(北京版)印数：1-8,000

作者的話	1
第一章 历史簡述(Н. П. Крылов)	3
第二章 超声的物理特性(В. И. Рокитянский)	5
超声能的获得	10
超声振动的物理特性	21
第三章 超声的生物物理学特性及其治疗	
作用机制(В. И. Рокитянский)	40
超声的破坏作用	40
超声的化学作用	51
超声的机械作用	54
超声的热作用	60
第四章 超声振动的治疗应用方法和剂量测定	
(В. И. Рокитянский)	110
超声治疗的参数	110
超声治疗的剂量测定	126
第五章 某些支持-运动装置疾病和关节损	
伤的超声治疗(В. И. Рокитянский)	134
畸形性椎关节强直	134
强直性椎关节炎(Бехтерев氏病)	136
肩关节的外伤性关节周围炎	141
损伤性滑囊炎	141
肘关节上踝炎	143
腱旁炎	144
关节囊-韧带裝置的损伤(损伤、撕裂、破裂)	146

Hoffa 氏病	153
肢体关节的畸形性关节病	156
掌挛缩	160
第六章 神经系统疾病的超声治疗(Н. П. Крылов)	163
神经痛	165
神经炎	166
坐骨神经痛与神经炎	167
腰骶神经根炎	168
肌痛和神经肌炎	171
夜尿症、营养障碍	171
中枢神经系统疾病与超声	172
第七章 内科疾病的超声治疗(Н. П. Крылов)	173
关节疾病	173
胃与十二指肠溃疡病、胃炎及胃十二指肠炎	174
支气管哮喘	175
第八章 皮肤病的超声治疗(Н. П. Крылов)	176
皮肤硬化	177
牛皮癣	177
秃头(秃发)	178
疣	178
第九章 口腔学中的超声(Л. Р. Рубин)	179
参考文献	186

作者的話

物理学和技术的蓬勃发展是二十世紀的标志。大自然的奥秘相繼地被揭露，惊人的发现接連不断地出現。闡明原子的結構并掌握其中所蘊藏的能量，以及苏联学者們发射人造地球卫星，乃是人类創造才能的高峰。

任何現代科学，包括医学在內，在其和另一些相近科学的接触部分，发展得特別明显。一个鮮明的例子就是医学物理学的迅速发展，它以物理檢查法和物理治疗法丰富了医学。

这些成就促使医学中出現了一些电疗法，比如以应用高频和超高频电磁場为基础的感应热疗法和超高频电場治疗法。以后开始应用分米波段的电磁振蕩以及超高频发生器，这种发生器以脉冲方式工作、亦即以短而强的脉冲方式来造成电磁振蕩。

无綫电工程領域中的現代成就和对压电物質的研究，又促使出現了一种应用高频机械振动的所謂超声的治疗方法。

超声在俄罗斯物理学家 П. Н. Лебедев 的實驗室中从物理学的观点进行了詳細的研究，以后在各种科学和技术的領域中开始实际地应用起来。

超声在医学中的应用，比在技术和工业上的应用晚了一步。但近年来，尤其是在国外，超声在医学中無論在診斷上或治疗上都应用得相当广泛。

在較短的期間內，出現了許多論著，报道了超声在各种疾病中应用的效果。其中很多論著都客觀地評價了超声的疗效，值得予以重視。但与此同时，也发表了許多不能使人完全信

服的論著，特別是某些國外作者的實驗工作。這些作者明顯地偏重使用遠遠超過容許範圍的極強劑量。

看來，某些作者在一定程度上過高地評價了這種新的治療方法。

差不多所有新的治療方法都經歷了這樣幾個階段：最初階段是熱烈評論和大肆宣傳，接着便是對新方法的冷靜的評價，經過了全面的研究，最後，它就在很多的治療方法中佔據適當而又牢固的地位。

蘇聯醫學沒有那種不健康的圍繞着新療法進行廣告式宣傳鼓動的特點。正因為如此，我們希望超聲治療在蘇聯廣泛應用之前，要經過（也已經經過）動物實驗和臨床治療的各個研究階段。十分明顯，對於超聲的劑量及其應用方法，需要特別注意和極端審慎，因此本書作者詳細地闡述了超聲的所有作用參數。

首先介紹了有關超聲振動物理特性的簡要知識。這章由 В. И. Рокитянский 醫師寫成，自然不可能要求詳盡無遺。我們從超聲在醫學中應用的立場來闡述這一章，而不用複雜的公式，希望這一章能適合醫師讀者的需要，幫助讀者在研究這一治療因素時能了解其基本原理。

超聲的生物物理學特征及其作用機制這一章是最難寫的。在這一章中，有批判地探討了國內和主要是國外作者的著作（因為他們在這個新的醫學部門中目前有很多經驗），以及本書作者自己的實驗資料。在闡明這些問題上，從我們的同道——德意志民主共和國的 W. Beier 和 E. Dörner (1954)——的論著中得到了很大的幫助。

在治療應用章中，採用了我們對病人的觀察材料以及國外作者的某些資料。這些病人是在國立物理治療科學研究所

(神經病患者)，和在格拉斯基第一醫院物理治療科治療的(矯形科患者)。

在本稿寫成付印以後，作者繼續在國立物理治療研究所和在斯維爾德洛夫創傷學與矯形學研究所中對那些接受超聲治療的病人進行了觀察。

本書沒有涉及超聲在醫學中應用於診斷學、公共衛生-衛生學或其他方面的問題，也沒有談到超聲解剖刀等的應用，雖然這些問題對醫師們來說是極有意義的。

蘇聯醫學科學院通訊院士 А. Н. Обросов 教授審查了全部稿件並提出了寶貴的意見，И. А. Абрикосов 教授校閱了本書，К. М. Иванов-Шниц 和 И. Н. Гиперштейн 兩位物理學家審查了“物理特性簡述”一章，謹在此一併致謝。

作者初次試寫這本有關這種新穎而獨特的治療因素的簡明應用綱要，期待得到讀者們的意見，並將以深切的謝意接受批評。

Н. П. Крылов

В. И. Ронитянский

第一章 歷史簡述

19世紀末偉大的俄羅斯物理學家 Петр Николаевич Лебедев 首次發現了超聲，並用之於實驗研究。但實際上超聲振動的应用開始得相當晚。

1912年巨大的英國客輪“鐵塔尼”號由於在北美海岸附近與冰山相撞而沉沒，數分鐘內幾千乘客沉入海底；在這以後，人類開始尋求在視度不良的情況下能夠發現水下和水上

障碍物的方法。企图应用可以听见的声音来达到这种目的，但没有成功，因为声振动在波长较长的时候会绕过障碍物。

在1914—1918年第一次帝国主义战争期间，法国舰队由于遭到德国潜水艇的攻击而受到巨大损失。于是许多著名学者都致力于创造一种能够发现潜水艇的水下“探测仪”。最后，在1918年著名的法国物理学家 P. Langevin 才建议应用超声来发现敌人的潜水艇。

事实上，从这时候起，“水中定位法”已经开始发展起来；现在，无论是为了发现水下各种障碍物或者是为了测定船只通过区域的海底地形，这种方法都已成为船只设备上不可缺少的工具。

以后，超声也开始广泛地应用在其他相当重要的实用方面。例如 С. Я. Соколов 利用超声振动的特性，从具有各种声阻的两个媒质分界面上反射的特性来创造金属的超声探伤法。存在于金属物品内部的损伤，甚至是极细微的损伤（例如裂痕），都会引起超声射束的反射，从而能够很容易地确定损伤的大小和它与表面的距离。

现在以这种原理作为基础，来研究超声振动在诊断上应用的可能性（例如，用来发现大脑肿瘤和脑室的病理改变等等）。

С. Я. Соколов 在超声显微镜的制作方面的研究，也很著名；这种显微镜能够得到物体的放大形象，而普通光学显微镜由于媒质的不透明是不能得到这种形象的。

另一位俄罗斯学者——外科学家 С. И. Спасокукоцкий——利用超声振动的“乳化”作用制成了在水中高度弥散的樟脑油乳浊液。这种油的微小质点小到这种程度，以致可以把这种乳浊液注入静脉内；与一般用于肌肉注射的樟脑油

比較起来,这就显著地提高了制剂的治疗价值。

Н. Н. Бурденко 及其同事研究了超声对大脑的破坏作用。从 1948 年起,在西欧国家,以后在美国,超声治疗在神经科疾病、矯形科疾病以及在創伤方面,基本上得到了广泛的发展。曾經举行了以超声在医学中的应用为主題的第五次国际會議。外国学者們作了許多临床和实验研究,但这些研究絕大部分是应用远远超出治疗剂量的大剂量来进行的。

在苏联,研究超声生物学作用的創始者 И. Е. Эльпинер 及其同事也作了一系列的研究。

二十多年前,机能诊断研究所就已經設計了国内的第一台实验医学超声振动发生器,这台机器的频率为 10^6 赫^①。

1953 年 Л. М. Плотников 和 Б. З. Слущкин 設計了一台实验治疗发生器。同时,全苏医疗器械和设备科学研究所为了小規模成批生产而設計了一种具有三个波段的超声治疗用发生器 УЗУ-1,这种机器能够以連續式和脉冲式工作(М. Д. Гуревич 和 Л. С. Новиков)。

第二章 超声的物理特性

把超声的特性和我們听得見的声音的物理特性比較一下,超声的特性就容易明了。

在各种物体振动的作用下,空气中傳播出各种声音:沙沙声、輾軋声、叩打声、喧囂声。根据振动频率和振幅大小,就可以把这些声音区分开来。

①——赫(гц)为振动频率的單位;1赫相当于每秒振动1次;1千赫(кгц)相当于每秒振动一千次;1兆赫(мгц)相当于每秒振动一百万次。

由于振动对周围媒质,即空气发生作用的结果,它的质点就发生振动运动。但这些质点还没有振动到很远,就和它们前面的空气层质点混合起来。这样,在极短的时间内,这些气层中的质点就比邻近气层中的要多些。因此,这一区域的空气压力刹那间就增长起来,空气就变得较为稠密。这样就发生了压力增高的区域。

空气质点的位移也使得压缩区附近的空气层质点在极短时间内变得少些。于是,紧接着压力增高的区域就发生了压力降低的、空气稀薄的区域。

压缩和稀薄相位的相互交替,是声音传播的特征。

因此,就产生了由弹性媒质的连续的压缩层和稀薄区形成的弹性波。声波的长度是以振动相位相同的两点间的距离来测量的(图1)。

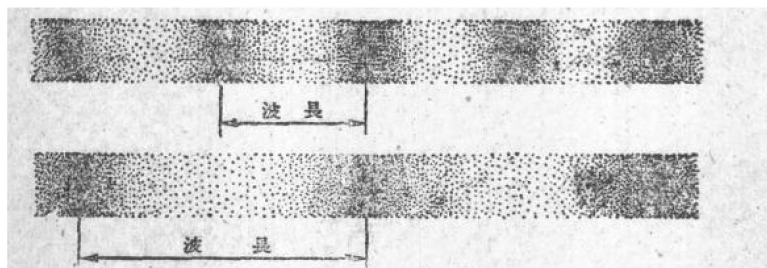


图1 声波的长度是以振动相位相同的两点间的距离来测量的

每一波峰与纵振动行程中媒质受压缩的区域相符合;每一低凹部分(波谷)与稀薄的区域相符合(图2)。空气媒质的压缩和稀薄相继作用于人耳,便引起声的感觉。

因此,使媒质发生连续交替的压缩区域和稀薄区域的机械振动就称为声音。

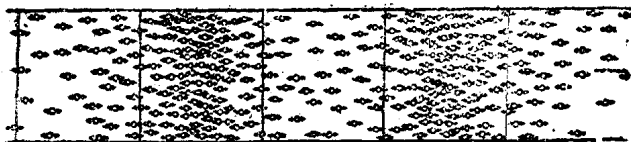


图2 在描記图中，波峰相当于纵振动行程中媒質质点被压缩的区域；波谷相当于媒質的稀薄区域。

水波振荡时，可在水面上看到类似的运动。水面变得不平：一部分升高起来，形成波峰；另一部分降落下去而形成波谷^①。

由于空气质点和水质点的运动相类似，所以空气质点的相互交替压缩和稀薄通常就称为声波。

各种听得见的声音，依它们的振动功率和频率而互相不同；频率越大，每秒钟在声波中发生压缩和稀薄的数目就越多，因而声调也就越高。

因为各种频率的声音的传播速度都是一样的，所以频率较高的声音，其压缩或稀薄区域相互间的距离就要比频率低的近些。

媒质的振动质点离开它的中间位置的距离就称为振幅，振幅亦即由波峰到波谷的高度的一半(图3)。

人耳对声振动频率的改变是很敏感的。

但是，对频率相同的两种声音，我们可以有不同的感觉：例如，可以觉得其中某一种强些，较另一种响些。同一频率的

^① Л. Д. Розенберг 指出，这一古典例子转用在超声振动时，只有相对的意义。

声振动，其功率决定于发声体的振幅。振幅大的发声体可引起较强的空气压力改变，因而声音就要强一些(图4)。

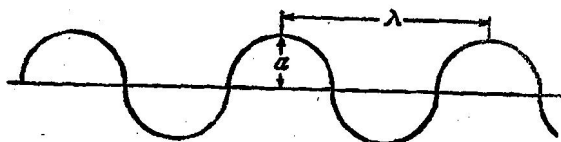


图3 振幅与波长

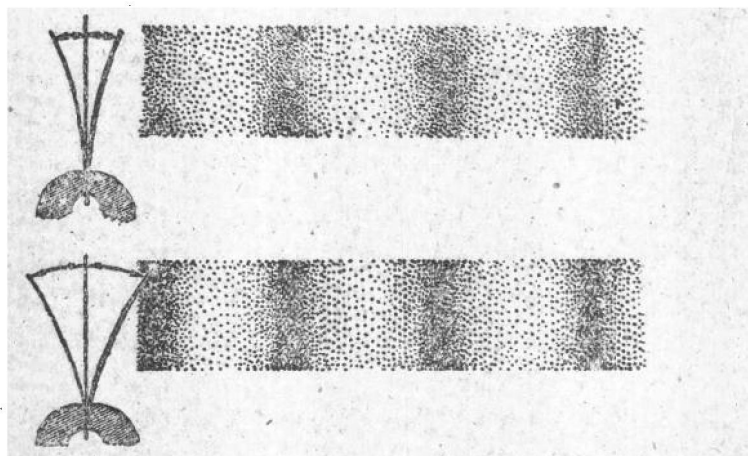


图4 声振动强度和振动体振幅的关系

来自普通声源的听得见的声音，其能量是极小的。例如，中等响度的人声，其强度为 10^{-10} 瓦/厘米²。

通常用巴(Bap)作为测量声压大小的单位。它相当于一平方厘米表面受到1.02毫克的重量作用时的压力(1巴=1.02毫克/厘米²)。

一秒钟内通过一平方厘米面积的声音强度称为声强；它与声压值的平方成正比，并用微瓦除以平方厘米来测量(微瓦/厘米²)。

我们听得见的声音、特别是人的嗓音，其强度是不大的。例如，要用

說話时所耗費的聲能變成熱，來使一杯水熱到沸騰，則依據嗓音的大小，必須不斷地說話 75 年到 200 年。

人類聽覺器官對不同聲頻的感覺是不一樣的。最大的靈敏度在 1—3 千赫的聲振動頻率範圍內。甚至是強度不大而在 10^{-10} 瓦/厘米² 左右的振動，也能被我們的聽覺器官感覺到。

能引起疼覺的聲壓是人類對聲音強度的感受性的最高界限。對 1—3 千赫的頻率來說，這種強度的壓力約相當於 1000 巴。例如，當強大的飛機引擎開動時，緊靠飛機所引起的感覺就是聲音發生強烈的作用。人類的聽覺器官具有這樣一個特點，即對大於 3 千赫和小於 1 千赫的聲振動頻率，其感受能力較對 1—3 千赫範圍內的差得多；在超出 1—3 千赫的振動頻率範圍的情況下，要使聽覺得到足夠的响度的話，就必須使用大得多的強度。

人類聽覺器官所能感受到的聲振動頻率範圍，是 15—20 赫到 16 千赫。小於 15—20 赫的頻率，人耳感受不到，它們屬於聽不見的亞聲。超過 16 千赫的振動頻率，人耳也感受不到，而屬於聽不見的超聲。這一類(圖 5)。超聲同樣是各種媒質的質點呈波浪形傳播的振動運動。

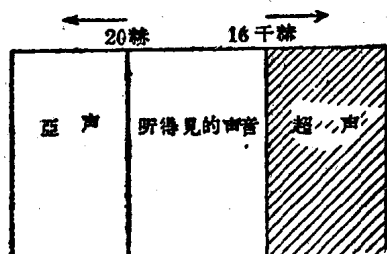


圖 5 亞聲，聽得見的聲音和超聲。

應當着重指出，聲波分為人耳感受得到的(聽得見的聲音)和人耳感受不到的兩種(超聲)，是有條件的。聽得見的聲音的物理特性和超聲的物理特性是一樣的，只是根據聽覺器官的特性才把它們這樣來區分。許多動物，如狗、貓、蝙蝠、某些鳥類和昆蟲，對頻率接近 20 千赫的所謂超聲都反應

得很好。例如，狗能感受频率达40千赫的声音，而蝙蝠甚至能感受到频率为70千赫的声音。

听得见的声音的最高界限，随着人的年龄而改变；儿童对较高频率声音的感受能力要比老年人的强些。

因此，人耳听不见的弹性媒质的高频机械振动就称为超声振动。

在一定频率范围内的高频超声振动(500—2,500千赫)具有一定的治疗作用(见后)。

超声能的获得

象动圈式扬声器(电动扬声器)那样普遍的声源，不可能产生频率大于10—12千赫的声振动。要获得高频超声振动而使扬声器的纸盆发生足够振幅的振动，就需要很大的力。要使功率保持不变而电动扬声器纸盆的振动频率增至10倍，所附加的力就必须增到100倍。要获得治疗应用的高超声频，这种力就必须增至2,500倍。

现在在应用压电效应或磁致伸缩效应的基础上来获得高频超声振动。

压电效应 含有两个彼此相隔若干距离的异名离子(或两组异名离子)的物质质点，称为电偶极子，其特征是有偶极矩；偶极矩等于电荷数量和电荷之间的距离的乘积。如偶极矩等于零，就不是偶极子。

电偶极子的排列通常是不规则的；因此在此种物质表面上的任何部位，都有同等数目的负电荷和正电荷，它们彼此平衡。

某些物体在通常的情况下不发生极化，但当受到机械的压缩和伸张时，极化就会出现。这种现象就是由压电效应引起的。希腊词冠“Πιεζο”是“压迫”之意，所以压电即由压力作用而产生电的意思。

按照对晶体轴的关系以一定方式切下来的石英片子或其他具有压电特性的物质的片子，其特征是受到压缩时就在两个相对面上出现异名的电荷。

如果片子被伸张，也将出现电荷，但它们的符号与受压缩时所出现的相反。我们交替地压缩和伸张片子，就可以使它的两个相对面出现异名的电荷。电荷的符号将随着片子的形状改变而改变(图 6)。

L. Bergmann (1954) 引用了说明压电效应理论基础的图解(图 7)。

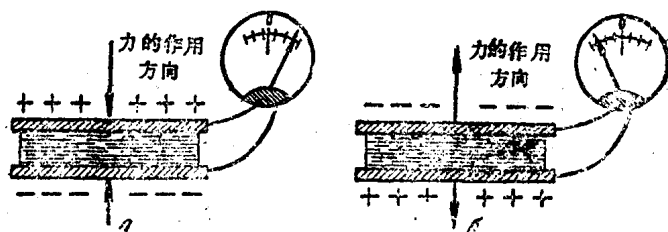


图 6 正压电效应略图

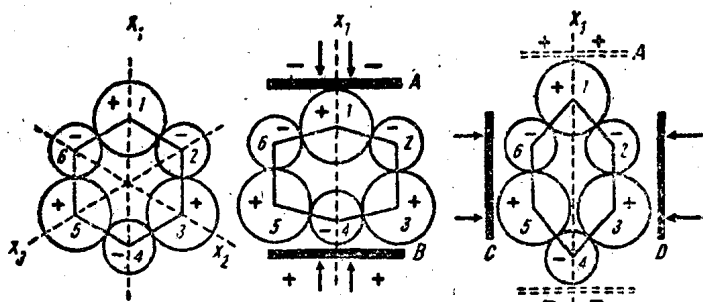


图 7 压电效应理论的图解(L. Bergmann, 1954)

如果将压电片子上敷有金属的平面和交流电源相联接，那么片子的厚度就会随着电源极性的改变而同时改变，因而

它就忽厚忽薄，这种现象称为反压电效应。

P. Langevin (1917) 曾用高频电磁场在石英片子上激起了受迫的弹性振动，因而首次发现了获取超声振动的反压电效应。

如果把片子放在液体内，那么当片子变厚时，它的两个面就和蒸汽机汽缸中的活塞一样运动，并对液体施加压力。相反，当片子被压缩时，其表面附近的液体就变得稀疏。

这样，当片子的形状反复地改变时，它周围的弹性媒质就发生互相交替的压缩和稀薄的区域；这些区域由片子表面往外传播时，就发生了波的过程。

石英片子的厚度改变很小；受到 1000 伏特的高频电压时，片子的厚度也只有 20 毫微米的改变。

当压电片子固有机械振动的共振频率而受激时，它的振幅就可以增大。为了增大它的振幅，通常将片子联结到具有共振频率的交流电源上。

当外界的振动频率和固有振动系统的共振频率相符合时，就会引起受迫的振动，这种现象就称为共振。任何振动体都有共振频率。当物体被迫以共振频率发生振动时，它的振幅就特别大。

可以引用某些事情来作为发生共振频率的简单例子：一小队士兵自桥上经过并整齐地踏步，步伐的节律偶然与桥的固有振动频率相符。由于共振的结果，桥的振动竟增大到这种程度，以致桥坍塌了。

每一压电片子(石英、钛酸钡等)都有自己固有的共振频率，共振频率的高低主要由片子的厚度来决定。如果附加在片子上的电压的极性随着片子的共振频率而改变，片子的振幅就最大。相应地，也就有很大强度的振动向周围的媒质传播。