

超声波在医学上的应用文献汇编

张
瑞
芳

中国科学技术情报研究所

前 言

53.59
140

超声波在医学上的应用已引起國內外学者們很大的注意，近年來在國外的某些國家中已積累了一定的經驗。這門科学在我國虽还未見，但隨着祖國社会主义建設的大躍進，近一二年來我國各地醫藥單位和科学工作者們也進行了研究工作，并在臨床診斷和治療中已經开始应用，取得了初步成果。为了適應科学研究和实际应用的迫切需要，我們收集了多数國外有关超声波在医学上应用的文献，選擇其中一部分編譯出來作为科学情报資料以供國內有关單位和科学工作者的参考。由于編輯時間倉促和編輯者的水平所限，不當之处在所难免，請讀者提出修正意見。在部份譯文方面曾得到北京医学院第一附屬医院外科教研組等各位医师的審校，謹致謝意。

中國科学技术情报研究所 1960年1月

目 錄

1. 超声在医学上的应用	(1)
2. 医用超声波的仪表	(7)
3. 实验外科中的超声波	‘
4. 超声波在眼科学定位术中的应用	、
5. 体育运动受伤时使用超声波治疗的經驗	(51)
6. 超声波在创伤性损伤上的应用	(55)
7. 超声波在綜合治療膝關節囊与韧带裝置损伤 中的作用	(59)
8. 用超声波作早期癌症诊断	(66)
9. 二尖瓣狭窄症的超声波心动图——初步报告	(83)
10. 超声波在眼科诊断上的应用	(91)
11. 超声波在妇科学上的应用	(101)
12. 超声在口腔学中的应用	(104)
13. 超声波在理疗中的应用	(114)
14. 超声波治療	(126)
15. 以超声波和微量消毒物質合用来消毒飲用水	(129)

超声在医学上的应用

福田 保

超声在医学上的应用，大致可分为两方面：(一)包括生物学基础实验在内的治疗方面，与(二)在诊断上的应用方面。前者相当于电在动力上的应用，即所谓强力超声；后者相当于电在通信上的应用，主要是利用超声的脉冲 (impulse) 作用。

超声在治疗方面的应用，自1939年Pohlmann氏开始以来，主要在欧洲进行了研究，美国及日本直至战后才开始了这方面的研究工作。

超声在通信方面的应用，有探测钢材内伤的超声探伤器，有探测海洋里鱼群所在的鱼群探测器等，随着第二次大战中电子管工程学及雷达技术等的飞跃发展，到了战后也就很迅速地付诸实际应用，同时，在其他各方面也展开了如何利用超声的研究。

这种超声检查法在医学诊断上的尝试，是1942年由K. Dussik氏首先发表，至于实际应用的研究，到了1950年前后才由德、美、日本先后开始。

德、美曾为诊断脑肿瘤先用超声透过法作了实验，但终未能实际应用。日本在7—8年前由顺天堂大学外科助教和贺井敏夫氏，得到东北大学电工通信研究所菊池教授及日本无线电(公司)的内田六郎氏的协助，进行了在医学上应用超声探伤法的研究，并试制了应用的装置，终于达到实际应用于诊断的目的。和贺井氏等所制装置与美国所用超声透过法不同，主要是采用超声反射法，已获得较好的效果。最近对脑瘤患者作了试验，特别是对脑肿瘤，由田中憲二教授一再实验研究，现在已经能够实地使用。为了用本法早期诊断恶性肿瘤，12月进行了不少次的实验和有了多数

的病例。茲將它的梗要和在医学上的發展前途作一介紹。

超声是怎样的东西

超声是声的特殊形态，和紫外綫用肉眼看不見一样，超声是人耳所听不到的声音。人耳所能听到的最低声音是每秒16—20次的振动(頻率)，即16—20周波，最高的是16000—20000周波，因此，超过16—20千周波的声音，一般称謂超声。

从声源發出声音，不論頻率多少，都以一定速度在介質中傳播。其傳播速度，隨介質而異。空气中为331米/秒，在液体中一般較快，水中为1430米/秒，金屬就达到1500米/秒。生物軟組織的声速平均約与水大体相等。声波是振动固体內粒子束傳播，只能在連續結合的介質中前進，如果介質中因损伤在声响上有了抵抗密度(声抗阻)發生差異时，就能在这个面上反射或減弱了声波强度。当超声在介質中傳播时它的指向性比較强，正由于它具有这个方向性才能查出鋼材中的损伤，对于海洋中某些物体，由于声波的反射也可測定它的所在。再超声和人耳能听到的声不同，它比較容易發出具有强大声度的超声，所以可以利用超声充作动力源。超声与光綫相同，可利用它的屈折和反射的性質，使集中于一点。在超声集中成束的焦点上可能發生極高度的破坏力。利用这种性能，从体外將集束超声投射体内，就可以在超声焦点所达到的体内深部起破坏作用。美國先根据这个原理应用于医学，日本大阪大学岡氏对腦深部的局部破坏作了研究，并开始試用在人体。岡氏在1958年的学会上發表了用超声破坏瘤灶周圍組織來治療瘤的實驗報告。

对生物組織的作用

如在玻璃容器內的水中投射强力超声时能發生气泡(空洞形成現象)使水翻騰。在生物組織中的小分子受到細胞膜透过性的限制，虽不能和液体中同样地活动，但在組織中或細胞之間必然要發生运动。因这个运动引起摩擦而生热。現在已有了利用这种强力超声作用的超声治療器。又因为振动了小分子就形成極細微的粒子的乳狀混懸液，再利用組織內液体的迅速滲透作用，可用于病理組織

标本迅速制作法。根据上述超声的性能，通过适当的装置设备和方法，除用在诊断和治疗以外，应该还有其他各种利用的方法。

超声治療法

如上所述，已能利用超声从体外破坏指定的病灶代替手术治疗法。日本所制各种超声治疗器，已应用于日本大学、大阪大学、及其他各大学的临床。顺天堂大学田中憲二教授所用德國 Sanitas 公司制 Sanophon，对多数症例已经见效，虽由于它的适应范围尚难肯定，不能就认为有了多大成绩，但至少没有发现一个因此恶化的症例。Sanophon 超声治疗器的说明书上，列举适应于关节炎，特别是变形性关节炎、强直性脊椎炎、支气管喘息，Dupuyren 氏挛缩、带状疱疹、上髌疼痛 (Epicondylalgia)、腰痛、肌痛、神经痛、神经炎、肩关节周围炎、进行性肌萎缩等疾病。其作用机制虽随方法和声强度的差别而有所不同，但主要是它对组织中的温热作用。但是，也有认为是组织中微粒子运动力学的效果。至于作用本质究竟是温热作用还是机械性作用，到目前为止，尚无定论。此外，还有认为是由于组织内 pH 起变化，氧化作用，细胞膜对渗透性的影响等等。

超声诊断法

超声诊断法已在临床上使用，而且在部分诊断上公认为有一定价值，兹就和賀井氏利用反射法的超声诊断法概述于下。

利用反射法的超声诊断法是用 500 千周乃至 10 兆周的超声脉冲波，从人体表面向体内投射，将得到的超声反射波，用雷达的同样方法，在布劳恩管上检得反射波的静止图形，分析这个反射波加以诊断。其基础事项如下：

(1) 超声在组织中能以敏锐的指向性向前传播。

(2) 由于恶性肿瘤组织及其周围的健康组织的声阻抗不同，从两者的界限上可检得超声反射波。因恶性肿瘤的超声反射波形及其衰变度具有特异性，所以可按反射波的分析及超声的衰变度的情况就可查出恶性肿瘤。根据以上所述，可知超声对人体软部组织的

分析力，远胜于X綫。

(3) 超声診斷法所投射的超声脈冲强度，可以不使病人感覺一点苦痛。当然这个强力超声对組織毫不引起破坏性障碍。这一点根据多次的动物及人体实验，已經肯定。

到目前为止，正在研究如何將超声反射波应用于顱內疾患（腦腫瘤、顱內血腫等）、乳腺腫瘤、消化器腫瘤、肺腫瘤等的診斷。此外，对胆石的診斷也已獲得肯定的成績，再对腸运动，心运动的观察也有使用本法的可能。单独使用上述A-scope方式，分析超声反射波來診斷腫瘤的位置和性狀时，往往遭遇困难，为此，又設計了更容易讀出的超声断層图（ultrasonotomography），并已試制成功。它是利用超声反射波將人体各部的水平断面象先攝留在布劳恩管上，再描繪成图，制成人体的水平断層图，因而命名为超声断層图法。此法能將腫瘤所反射的复杂的反射波，在人体每个部分的水面断面图上，形成图象；用以診斷乳腺腫瘤例可得良好結果。至于如何应用本法診斷其他腫瘤例，尚在研究中。此外的超声診斷法如用Doppler氏法的心臟机能檢查及超声干涉法等研究，也正由大阪大学進行中。

乳癌的診斷

用上述方法，从乳房皮膚上向乳房內部投射超声脈冲波后，將乳腺腫瘤所發出的超声反射波加以分析，就可看出乳癌特征。茲就1958年3月为止所有臨床60例中，經組織学診斷確定的有42例，与超声診斷結果列表对照如表1。

到目前又有了更多的症例，在臨床上对于良性，惡性的鑑別或有可疑的小腫瘤时用超声診斷法就可得到比較准确的鑑別。

腦腫瘤，胃癌的診斷

在日本，超声診斷疾病的研究开始时，就着手研究腦腫瘤的診斷，先用标本腦做了各种实验，又应用于臨床，1954年發表过研究結果。美國也于第二次國際声学會議中提出了研究報告。現在已經可用于探查腦內的出血。

表1. 超声诊断乳腺肿瘤42例

惡 性 腫 瘤 14 例		
臨 床 的 診 斷	超 音 波 診 斷	組 織 診 斷
惡性 14例	惡性 14例	惡性 14例
良 性 腫 瘤 28 例		
臨 床 的 診 斷	超 音 波 診 斷	組 織 診 斷
良性 23例	良性 22例	良性 23例
	惡性 1例	
惡性 5例	良性 5例	良性 5例

至于诊断胃癌的研究，曾用胃癌的切除标本，分别正常部分的胃壁与癌浸润部分的胃壁，加以实验，检出胃癌的反射波；并經試用于臨床，如用一定的周波数，就能从腹壁上摸不到的胃癌的病例，检查出胃癌的反射波。对贲門部的癌，如以上腹部創突附近向上內方投射超声，就能檢得它的反射波。分析以腹壁通过腹腔的各种反射波，虽有檢得胃癌反射波的可能性，但如使用下述胆石诊断所用的腹腔鏡用超声探触子，直接向胃壁投射超声，就可以更准确地檢得胃癌的反射波。

其他的诊断

对于肺部疾病诊断，由于肺是含空气量極多的臟器，似乎不适于作超声探伤法，但是，肺內部由于有了无气的部分，如果投射超声，就可能檢得反射波。因此，只要能够分析肺炎，肺結核，肺癌等的反射波，在诊断上也就大有帮助。所以現在臨床上也在研究如何分析健康肺与病变肺的超声反射波的方法。

胆石的诊断

1950年Ludwig氏曾將超声探伤法应用于人体，他認為胆石是它的好对象，先就摘出的胆石加以各种声的性質的測定，但是，在

表2. 以超声診斷胆石症的11例 (1958.2)

症 例	性 别	年 龄	術前診斷	X綫結石象	十二指腸	黃 疸 (包括既往症)	疝 痛 (包括既往症)	胆石反射波	手術后胆石之有 无 及其部位
1	♂	47	胆石症	+	—	—	+	+	+(胆囊)
2	♂	56	胆石症	+	—	±	+	+	+(胆囊)
3	♀	42	胆石症?	—	—	±	+	—	—
4	♀	54	胆囊炎	—	—	+	+	—	—
5	♂	70	黄疸	—	—	++	++	+	+(胆囊)
6	♀	56	胆石症?	—	—	—	+	+	+(胆囊)
7	♂	62	胆石症	—	+	—	+	+	+(总胆管)
8	♀	63	胆石症?	—	—	+	+	+	+(总胆管)
9	♂	49	胆管腫瘤	—	—	+++	—	+	+(总胆管)
10	♂		黄疸	—	—	+++	±	±	总胆管腫瘤
11	♀		黄疸	—	—	++	+	±?	胰腺头部竈

臨床應用上對腹腔內臟器，特別對內部充有空氣的腸管等很難分析，結果，他對診斷上應用超聲探傷法作了悲觀的結論。後經和賀井氏等在超聲裝置的敏感度上加以改良，於1955年才從腹壁檢得胆石反射波。又經過了動物實驗，現在已就臨床實驗病例進行研究。至1958年3月止所有11病例中得到的結果，如表2。

此外，經順天堂大學第二內科教研室山川教授，結合腹腔鏡已製成特別小型探子（腹腔鏡用超聲探子），能直接從胆囊表面檢得胆石的反射波。

（譯自日本醫事新報，1958，№1792，3—6頁）

醫用超聲波的儀表

T. F. Hueter, Ph.D.

物理與醫學之結合在不久前已為一既定事實。偉大的科學家及醫師Helmholtz 即為在19世紀這種結合的卓越實例，他對生理學、聲學與數學等科學上的貢獻是相同的。目前，研究者正在奮力地發展因專門化而分開的各學科，以便維持或恢復它們的綜合性。這裡所要涉及的領域為生物物理學方面，但在準備討論有關醫用超聲波的儀表前，似乎值得對其領域作簡略的分界。

關於生物物理學的動機可分作三方面：1. 顯示生物學現象中的基本物理機制。這包括用物理比擬與模型作介次複雜生命過程的啓發裝置。2. 觀察物理方法（電磁、熱、聲能或電離輻射）對有機體的影響。這就成為用這些方法作治療的科學基礎。3. 應用物理儀器與技術來研究生命的系統。當研究肯定的物理學上的資料與醫學上顯明“綜合病征”間的相互關係時，這種方法能獲得專門的診斷方法。

為了成功地完成這些生物物理學方面（生物聲學為其分科之一）

的任务，就必须对其充分了解。第一，要了解所拟应用的物理方法的生物学情况，必须明白及遵守机体作用的规律；应提供正确的环境条件（温度、渗透压、氧化等）为了保证所进行的实验有生物学上的意义，必须考虑生物学反应的统计上的情况。第二：必须熟悉与任何实验有关的物理定律，就能定量地记述电、热、声或电离对局部的作用；必须控制这些方法的传播方式；而且还须注意物理能源与其接收者间的交互作用。第三：必须精通此项工作所用工具仪器的能力及限制。仪表的效能包括各种量表、放大器、记录器、换能器以及其他电学、力学与光学等装置的应用。对于标准设备来说，往往要决定在什么程度下它是胜任的，或者是否需要为一专门实验建造新的设备。

自从Wood与Loomis 兩氏在30余年前完成了某些经典实验后，超声物理学已引起研究者的注意，但是表明超声波有充分效能作测量方法的工具却还是最近的事。在作业与医学上对高频率振动的使用均非常感到兴趣，目前已有许多已被证明了的用途。表1所列为已成为商业产品的某些用途。这些产品说明在工程中可大量利用超声学，改进现有的仪表，从而创造新的方法与用途。到目前为止，商业上对医用超声波的努力仅在治疗方面着手，并且美国对这种装置的标准型式也已公布。关于超声波用作诊断的可能性正在一些实验室中进行研究，研究范围由肿瘤之探测到血流之测定与心脏运动之记录。这些医学诊断上的努力在工业范围中也同样地有其一份，用超声波分析应用的仪表在工业上已达到高度的完备。彻底熟悉声学与电学技术（如不需破坏就能作轨条接綫试验，超声波的疵瑕测定与晶粒结构的分析等）对希望以超声波检查组织结构，器官变位或异物显示的研究者，必定会有莫大帮助。

超声波用作医疗器械工具时其效果之成败（和任何其他办法一样）多半是根据仪表的各方面配合；凡生理学实验的设计，工业系统的工程以及医学治疗中的照射療法均需有目的地将物理原理、装置与技术综合。超声波系统之主要器械为电功率转送器。电功率转

表1. 商業用超声波裝置的应用

測 定 方 面	处 理 方 面
測度計	碰撞磁磬
液水平計	鐸接
防盜警報器	熔接
魚羣的探測	洗滌与去油
非破坏性的試驗	乳化
測水計	酶的提取
脈冲	医学療法
厚度測量計	牙齒鑽孔

送器系一种裝置，在控制形式下能使一种能轉化为另一种；即如由热能变为机械能，化学能变为电能，电能变为声能等。后一种轉化应用于高频声学中，利用兩类固体材料——压电与磁致伸縮——，在这种材料中有一种电或磁場与机械形变間共同的相互关系。某些顯著实例見下列表2。

表2. 普通电功率轉送器材料

压 电 材 料	磁 致 伸 縮 材 料
石英 (a)	鎳 (d)
磷酸鋁二氫 (b)	Permendur (d)
硫酸鋰 (b)	鉄酸鎳-鈷 (c)
鈦酸鋇 (c)	

(a) 天然晶体，(b) 人造晶体，(c) 熔結陶瓷。(d) 堆積的金屬疊片。

在这些电功率轉送器材料中，偶合作用有兩種，即外加的电（或磁場）場產生机械应力，或外加的机械形变產生电荷（或感生电压）。它們顯示出相互作用，并能用一个电偶与一机械偶端鈕看

到4-端網絡。超声波工程之語汇包括下述电功率轉送器对某一規定工作有重要性的定量：能的轉化效率，共振时的帶寬，机电偶合。

超声波在应用上如同輻射治療，手術或化学过程等一样，其最重要者为效率。帶寬为超声波在分析应用中控制因素，如疵瑕測定或診斷的超声照相学。机电偶合系数使換能器电与机械阻 抗 間 連 接，即如何使換能器的終端配合全部系統的电与声的部分。

在超声工程上值得先談一下阻抗。对外加張力來講，阻抗为系統对外加張力感应的一种方法。張力可能是电的，由于电压產生电子的流动，电流——或可能是机械的，由于压力產生質的流动，介質粒子的速度。电压对电流或压力对粒速的比率即是电或机械系統的感应。这种比率即称为系統的阻抗。如果在因果之間并無时滯，即电压与电流或压力与粒速在相中，阻抗則称作电阻，并由 R 表明，如在歐姆定律。如果有了时滯，則阻抗除 R 外并还有一反应部分 X ， R 与 X 的合併效应由 Z 表示。

不論电或声，或电声的傳遞系統，它的主要目的是使系統的輸出达到有用的功用。但是僅 R 部分能吸收能量，而 X 部分只不过是貯藏裝置。因此希望得到一种情况，使一規定的电声傳遞系統有最高能量被轉移至 R 部分。这种情况是由“阻抗匹配”而实现。一种普通的匹配裝置为汽車的齒輪移动：齒輪之比率適應于道路的坡度，使發动机最佳功率很容易地轉移至車輪。同样原理应用在作电或声匹配的变压器与調諧共鳴器上。例如，考慮到用作超声波治療器械的治療头設計。对構造方面的詳述不談，这个应用物的基本部分为：(a)換能器晶体，(b)傳遞板，兩者的功用均如变压器，在連系電纜上將裝載傳導体的声阻抗 R （相等于密度与声速之積）轉化成一电阻抗。傳遞板之傳遞作用則根据其厚度，或根据其厚度与傳導板材料波長之比。半波板之作用和透明窗一般，而 $1/4$ 波板則產生激烈的阻抗变化。

晶体本身，按其成分，使压力轉送为电压，使运动轉为电流，由于每一單位時間（瓦特数）所遞送的能量是由电压与电流之積所

得到，因此高电压可能遞送同样功率，但反过来小电流也是一样。如果用一种阻抗高的材料石英作为轉送作用时，則必須以高电压來开动，它需要絕緣强度高的粗电纜。如用鈦酸鋁，其阻抗低，相当于能由較長而細的电纜傳遞的大电流。硫酸鋰具有石英与鈦酸鋁的中間性質。所有这 3 种材料皆应用在現代超声波治療器械上；而鈦酸鋁，如在声探测器中，广泛地用作收接水間的声波，硫酸鋰对固体材料疵瑕测定的应用大大地增加。

表3. 哺乳动物組織中的声速 ($T = 24^{\circ}\text{C}$)

組 織	种 类	声 速	組 織	种 类	声 速
肌		m/sec	腦		m/sec
	人	1568		狗	1520
	狗	1592		猪	1565
	猪	1580		牛	1560
	牛	1580		馬	1560
	馬	1595	肝		
脂肪	兔	1587		狗	1580
				猪	1585
	人	1476		牛	1590
	猪	1443		兔	1575
	牛	1465	顱 骨	人	3360
	馬	1443			
			水 分	$T = 24^{\circ}\text{C}$	1496
				$T = 37^{\circ}\text{C}$	1523

气态，液态与固体对換能器的阻抗变化很大。从空气到水的阻抗率是1:4,000，从水到鋼是1:4，比率愈大，則兩种介質間分界面所反射的声波也愈强。在另一方面來講，水份与大多数組織（骨除外）是極好的匹配阻抗，其比率几乎近于1。这些在表3中說明，并列出一一些軟組織的声速（声速与密度一起測定声阻抗）。不过在水分（組織液）与組織間声速的差異虽僅是5%，但对这种極低的不匹

配阻抗还須注意。此一事实就能由脉冲回波法利用作組織界限的梗概。

在人体組織內檢測或用超声波探察不正常的生長或沉積为使用超声波作医療仪表的最佳实例。对于檢測鉄鑄品、鋼管及渦輪机等疵瑕同样的有效技術也適用於医学上作肝，甲狀腺与心臟的診斷。反之也一样，用作人体复杂解剖所需超声波回波測定法的改進，目前也已有利地应用于工業測定方面。

为了使結構精密，傳遞的超声波脉冲必須尽可能地短小。只有如此才可能区别由相隔極小距离兩個或更多分界面返回的單独回波。例如：一个1微秒的脉冲能測定兩個相隔約0.75毫米的分界面；但在掌握这种短脉冲时，必須归功于电子学上的一条基本定例，即證明脉冲寬与所需的帶寬 B 之積是結合一致的；就是帶寬 B 的傳遞與接收系統不会通过短于 $1/B$ 的脉冲信号。因此，和雷达或电视一样，超声波工程师要尽力設計放射一种加寬和銳利的声波。由于这方面的努力產生了特別脉冲轉送器，該轉送器的共鳴帶是由附于晶体后的阻尼材料加寬，而它的声束則由附于晶体輻射面前的准直透鏡所增強。

在診斷用超声波系統內仪表的重要部分是对收接的复杂回波式样資料的处理与顯示。此外，已用雷达与声探測技術將接收的信号在示波器屏上合成为連接式样。为了進行这种技術，超声波輸送器之扫描运动必須与相片管中电子光束的扫描同时進行。使用此法曾獲得一些新異的超声波斷層片。但是要達到这个目的還需在电子与机械仪表上尽極大的努力以消除其缺点。顯然，用超声波准確診斷組織的畸形。仪表不僅包括一个脉冲發电机，一具轉送器与一指示鏡，而且還需更多的組分。只有在充分了解系統工程所必需的条件后（即声的累積，机械与电子組分）方能得到不亞于或超过已確定的X射綫技術的結果。由于超声波应用无輻射危險，因此，預期在許多診斷方面能替代X射綫。

最近超声波仪表在另一方面已有重要的發展。这就是应用定焦

準確的超声波在中樞神經系統內產生小的局部損害。目前美國在伊利諾大學和麻省綜合醫院中已從事對這方面的研究。迥異體性損害替代，超声波劑量測定與電生理控制等實際的問題，只有在工程上系統的改進才得以解決。如果在臨床上應用這種方法，那末這些超声波手術器械必須適合手術室的一切要求，如消毒、適應性、便于操作等的情况。它成功的操作是根據仔細的測定，有些在超声波技術方面尚屬新的貢獻。

本文對目前各國從事研究的醫用超声波僅能作一些有限的說明。從上述實驗來講，對其更進一步的發展顯然是依賴於熱心研究生物物理方面的人們。

（譯自“American Journal of Physical Medicine”

1958年37卷4期第222—26頁）

實驗外科中的超声波

著者：И. Е. Эльпинер

高頻率的彈性機械振動叫超声波，這種振動是人的耳朵所聽不到的。要記住，只有在一定聲幅內的機械振動（每秒從16到20,000週）才能引起人對聲音的感覺。超声波是比較快的振動。

超声波在各個醫學部門得到廣泛的應用。這點可用生活機體對超声波作用的反應多樣性來說明。它們反映了超声波的刺激作用和抑制作用，治療作用和有害的作用。超声波振動的破壞作用表現最為明顯。在超声波的作用下，動物和植物的細胞及微生物和機體會死亡。各種強度的超声波所引起的破壞性也是各種各樣的。這裡有細胞結構和細胞的瞬間破裂，但此外在超声波的強度弱時，所在細胞結構和細胞的機能狀態和物理化學狀態中觀察到一時的可逆性改變。

超声波能很深的穿入机体。在机体中呈直线扩散。在其扩散的路径上可能引起所有组织和器官的严重破坏。这样，在某种情况下曾观察到肠穿孔。与此同时，很多研究者都发现超声波作用有一定的选择性。这意味着，对各种细胞的疾病就需要各种强度的超声波。

超声波作用的选择性，主要是在研究这一物理因素(指超声波)对鼠、家兔和猴等实验动物的中枢神经系统的影响时阐明的(French等1951, 1956; Barnard等1955)。如蛙的脊髓腰段在超声波(超声波的频率为280千赫芝)的作用下，则在这种称作小剂量的作用下，后肢很快就瘫痪。作者认为超声波的强度和发声的延续时间(以秒计算)最小，即小剂量时，在其作用下就已发生下肢瘫痪。这表明，用此种剂量只有运动神经麻痹，已麻痹的下肢仍保持有感觉。

组织学所研究的资料是和上述相符的。发声后的半小时，可以在脊髓前角灰质的巨大运动神经细胞中观察到病理变化。这些细胞的细胞质很少着色，没有发现Nissl氏体，整个细胞很快就开始肿胀。发声后的一小时末，大多数的运动细胞要受到染色质分解，细胞膜也破裂；只有核和小核未受影响。与巨大运动细胞不同，脊髓神经节中的小感觉细胞完全没有受到损坏。在动物受发声作用后10天还没发现微小感觉神经细胞受损害。

比较大的动物大脑在超声波作用下也获得了类似资料。着重指出，血管比神经组织更为稳定。在脑受声波作用的部位，完全没有出血的情况下，能看到神经细胞和神经纤维的损伤。而脑的灰质，与白质相比则损伤较小。换句话说，可能破坏神经束而与其相邻的神经细胞则不受损害(French与Barnard等，1955)。

上述的实验是借助战后年代所研究成的脉冲超声技术来实现的。这种技术的应用促进了区分超声波的特殊作用及其热影响。如各个冲动之间的间歇较大时，则吸收每次单独冲动能量所产生的热量就来得及分佈到周围的介质中。在这种条件下，神经组织的温度