

# 超声波与医疗

高永慧

(承德石油高等专科学校 承德 067000)

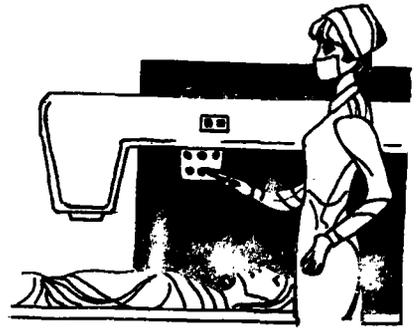
声学是物理学的一个分支,它几乎触及人类活动的每一方面.狭义地说,声是指人耳能听到的声音;广义地说,声是指弹性介质中的机械扰动,如压力、质点位移、质点速度等的变化.按照声波的频率可以把声分为次声、可听声和超声,可听声的频率范围为20—20000Hz,从20Hz向下延伸到 $10^{-4}$ Hz为次声,而由20000Hz向上延伸到 $5 \times 10^8$ Hz为超声,再向上延伸到 $10^{12}$ Hz为特超声.超声波具有良好的束射性,高强度和强穿透能力等特点,在医学领域有着广泛的应用.超声波最早应用于治疗主要是利用它的机械振动作用,促进组织内部的各种反应;同时利用因声吸收而产生的温热作用,使血管扩张,促进新陈代谢,从而取得治疗疾病的效果.长期临床应用的结果表明,超声物理治疗腰痛、神经痛、关节炎、炎症性疾病以及难治性溃疡等都有显著的或较好的疗效.随着强功率聚焦声束的引入,超声已开始应用到手术、碎石及治癌等领域,并已取得了显著的临床效果.

超声对组织作用的结果取决于超声辐射的强度,或称为超声辐射剂量.在超声诊断领域中,对组织无损伤是最重要的,所以超声辐射剂量应严格控制的安全范围内.而超声手术、碎石及治癌等,因其目的是切割组织或破坏病灶,所以就必须使用强功率超声.为了避免对正常组织的损伤、破坏,就需采用聚焦等各种措施,使对正常组织的损伤降低到最小程度.

## 一、超声手术

### 1. 强功率聚焦手术

比起超声诊断来,医疗中用的超声波通常频率较低,而声功率则要大若干个数量级,加上希望仅病变部位受局部照射,要求声束聚焦尖锐,焦点较小和焦区较短,因而常采用孔径较大



的聚焦换能器.在某些不便

于进行切开手术去除病灶的情况下,实施强功率聚焦手术有较好的效果.

图1为超声脑部肿瘤手术.手术前,头骨切开,塑料薄膜水槽与脑部接触.水槽内装有脱气的生理盐水.指针尖端部位为焦点所在处.焦区为一短轴3mm,长轴6mm的椭球体.使指针尖端处在最接近病灶区域的组织表面,高频振荡器产生1.5MHz,200W功率以上的正弦波,输出到凹面聚焦换能器上.辐照时间是可以控制的.治疗效果的判断可根据脑电图及病人症状的变化.这种方法已用于脑神经外科及软组织外科,已治愈了一定数量的精神病患者及脑肿瘤患者.强功率聚焦手术的优点是不需要切开脑硬膜,对正常组织及血管影响不大.这种手术能更方便地用于乳腺肿瘤的治疗,手术后不会留下刀疤.

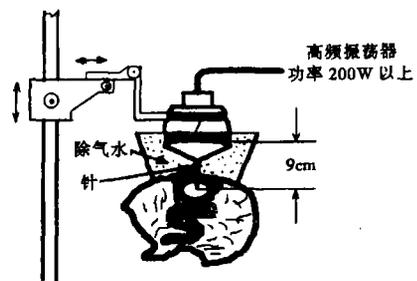


图1 强功率聚焦手术

### 2. 超声手术刀和超声骨锯

超声手术刀和超声骨锯的原理大致是相同的.如图2所示,换能器通过变幅杆将超声振动传至刀片或锯片.变幅杆的作用是使传至刀片的超声振动幅度大大增强.在强大震动加速度的作用下,被刀片或锯片作用的这部

分组织迅速与周围组织分开,而不损伤周围的组织。因此,采用超声手术刀后,切口非常光滑,容易止血及愈合。它常用于切除皮肤癌、肺癌、痣和肿瘤等,也可用于白内障手术。超声骨锯则用于脑颅切开及截肢手术等,手术时间可以大大缩短。北京友谊医院胸心管外科王天佑教授率先在国内采用超声手术刀切除肺多发性转移癌,取得成功。采用此项技术可切除肺组织深部的转移癌,而避免切除病变部位的肺叶。

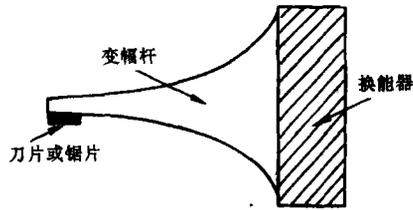


图2 超声手术刀及骨锯

## 二、超声碎石

### 1. 硬性结石粉碎

人体结石在许多部位都能发生,肾脏、胆囊、膀胱、尿道及肠道等各种部位都会产生结石。结石的截面一般呈层状,根据其成份的不同,结石的质地也有硬性、软性之分。硬性结石质地较脆,因此较易用强超声作用将其击碎。击碎后的结石就能自行排出体外,或采用其它药物促进等手段使其加速排出体外。

图3是一种较早的震波碎石装置,它采用电极在水中放电激起强烈的冲击波。椭球体有两个焦点,放电的电极处在距椭球面较近的第一焦点处,结石依靠两台X光机交错定位(事实上,只使用一台X光机,采用机械传动装置在一次定位后,转到第二个位置再定位),使结石处在椭球体的第二个焦点上。根据椭球体表面任一点到两焦点距离之和是相等的这一数学性质,在第一焦点处发射的脉冲声波,经椭球体表面反射后到达第二焦点的声程也是相等的,因而脉冲声波就能在第二焦点处会聚,形成强大的脉冲声压,击碎结石。

由于冲击波所包含的频率成份极为广泛,对于频率较低的声波成份,椭球体的表面粗糙

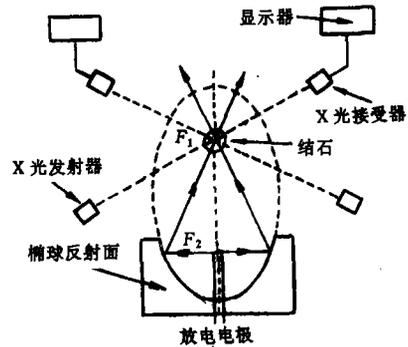


图3 放电型震波碎石

程度与其波长相比是很小的,因此遵循 Snell 定律,反射声线将不会聚在第二焦点处。对于频率很高的声波成份,虽然由于椭球体表面的漫反射,以及上述声程相等的性质,声波将会聚在第二焦点,但由于频率太高,在水中及组织中衰减太大,到达第二焦点处的声强已极大地减弱。所以能有效作用于结石上的声波成份大致为几百 kHz 至 1MHz 的频率范围。而其他许多频率成份,特别是低频成份,几乎没有作用到结石上,但却有相当一部分能量作用于正常组织,有可能造成不良影响。这种装置的第二个缺点是患者需浸在水中,造成治疗的不便。此外使用 X 光机也对人体有一定的损害。针对上述缺点,最近的超声碎石机已作了改进:

(1)改电极放电型为由几百个压电阵元组成的球面聚焦换能器阵。这种方式使声波的能大部分能聚焦到结石上,对正常组织损害很小。因此,不仅可以用于肾结石、尿道结石,还可以用于膀胱、胆囊等部位的结石粉碎。

(2)改水槽式为水囊式,这样患者就不需要浸在水槽中。

(3)改 X 射线定位为 B 超定位。

这种改进后的超声碎石装置已越来越广泛地用于临床,它具有安全性高,噪音低,结石粉碎细的优点。但目前由于压电换能器阵的功率还很难做得很高,所以碎石率稍低于电极放电型的碎石装置。

### 2. 软性结石粉碎

对于一些质地较软的结石,用上述聚焦声束方式很难将其破碎。当这种软性结石的部位

在肾脏、尿道及膀胱等处时可采用一种软性结石超声破碎装置。它的结构原理与图2很相似,只是在手术刀片的尖端部位改装一根类似光导纤维的柔软细线。这根细线可通过尿道等处,其尖端与结石相接触。换能器的振动通过变幅杆,再通过细线传到细线尖端,使结石破碎。当然,这种结石破碎装置同样也能适用于硬性结石。特别是在尿道、膀胱等处的结石,采用这种装置进行破碎,即简便又安全,碎石率高。细线的插入可在B超图像的监控下进行。

### 三、超声治癌

尽管超声治癌目前还需要进行深入的研究,但就已知结果来说,其疗效仍是显著的。超声治癌的机理之一是利用超声加热来杀死或抑制癌细胞。超声加热比起微波加热,其能量要集中得多。由于电磁波在组织中的传播速度为 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,而声波仅为 $1.5 \times 10^3 \text{ m/s}$ ,焦点直径是与波长成正比的。所以相同频率的电磁波其波长就要比声波大 $10^5$ 倍以上。因此,即使采用频率为几千兆赫的微波,其聚焦程度还远不及一兆赫的超声波。而频率这样高的微波在组织中的传播衰减极大,很难到达较深部的癌肿。所以采用超声加热,其优点是显而易见的。癌细胞在遭受焦点强超声辐照一定时间

后,其温度将上升。一般认为, $43^\circ\text{C}$ 将是癌细胞的死亡温度。在癌肿部位温度上升时,由于热传导作用,以及正常组织也可能处在焦区范围内的原因,癌肿周围正常组织的温度也将上升。通常恶性肿瘤内部的血管系统很发达,但它与周围组织间的联系却并不太好。因此,正常组织的温度升高较易通过血液向周围组织扩散,而癌肿部位扩散就较困难。这样癌肿部位的温度升高就要比周围正常组织显著,癌细胞的死亡率也要比正常细胞显著地高。当然,在治疗过程中,治疗部位及其周围组织的温度监测是十分重要的。目前温度测试大多是将微小的热传感器插入治疗部位附近,但这种温度测试方式毕竟是有损伤的。无损体内温度测试的研究目前正在进行,方法之一是利用与体内组织声速相关的原理进行测试。超声治癌的另一原理是超声辐射能促进药物的渗透,并能促进其它各种治癌方法的疗效。在这方面还有许多课题需要深入研究,要详细地阐明其原因,得出一系列的定量关系式,建立起超声治癌的理论,尚需进行大量的研究工作。

此外,由于超声波具有空化效应,使它可用于制药过程中的杀菌消毒、乳化等方面,这在制药过程中是很有用的。

## 科苑快讯

### 我国建成第一套白天卫星激光测距系统

据《中国科学报》报道中国科学院上海天文台的科研人员经过几年艰苦努力,成功建成了我国第一套白天卫星激光测距系统。经以中科院院士王大珩为首的专家委员会检测与鉴定,认为它的建立使我国激光卫星测距技术上上了一个新的台阶,总体上已达到了当前国际先进水平。

作为由首席科学家叶叔华院士主持的国家基础研究攀登项目“现代地壳运动和地球动力

学研究”的专题,白天卫星激光测距系统是一套融激光、精密光学机械、微光探测、计算机控制、卫星轨道精密计算、天文数据处理方法等于一身的技术和方法的综合系统。它采用了先进的滤波技术,成功地从白天的强烈背景噪声中检测出单光子的卫星回波信号,白天最远距离达到8000多公里,而单次测距精度已达到了2至4厘米。

据中国卫星激光测距网组长杨初民研究员介绍,该系统的精密台站预报软件,对激光卫星的距离预报精度已达到5至10米水平。整个系统运行稳定可靠,速度快,图示性强,操作方便,已具备常规白天激光测距的能力。