



超声效应与超声刀

郑好望 任文辉 肖胜利

高强度超声聚焦刀

超声亦称超声波,是指频率高于人类听觉上限频率(约 $2 \times 10^4 \text{ Hz}$)的声波,其波长范围约为 $10^{-2} \sim 10^{-6} \text{ m}$ 。超声波在媒质中传播时,由于声波和媒质间的相互作用,使媒质发生一系列物理和化学变化,也会出现一系列力学、光学、电学、化学等超声效应。

超声产生这些效应的基本作用主要有三个:(1)线性交变的振动作用,是由于媒质在一定频率和声强的超声波作用下作受迫振动,而使媒质质点的位移、速度、加速度以及媒质中的应力等分别达到一定数值而产生一系列超声效应。(2)由于超声振动的非线性而产生锯齿波形效应和各种直流定向力(如辐射压力和平均粘滞力等),并引起一系列特殊的超声效应(如超声破碎、局部高温、促进化学反应等等)。(3)液体内的声空化作用。当强度超过该液体空化阈的超声在液体中传播时,会产生大量的气泡,小气泡将随超声振动而逐渐生长、增大,然后突然破灭、分裂,分裂后的气泡又连续生长、破灭。这种现象称为空化。这些小气泡急速崩溃时气泡内的高温高压,使周围液体高速冲入气泡,气泡附近的液体会产生强烈的局部激波进而形成局部的高温高压,同时还伴有强烈的空化噪声和声致发光。

超声刀利用超声波能量以及超声波对人体组织的热效应、机械效应和空化效应,改变生物组织的结构、状态或功能。较大功率的超声波(声强大于 $0.1 \sim 1 \text{ W} \cdot \text{cm}^{-2}$)在人体组织中传播时,能产生明显的机械作用和热作用,可改善或消除病理过程,促进病损组织恢复,既可替代切割软组织和血管的传统外科手术刀,又可治疗深部肿瘤组织和结石等过去需要手术治疗的疾病,因此称作超声手术刀或超声刀。超声刀具有出血少、对周围组织伤害少、术后恢复快等特点,主要包括高强度超声聚焦手术、超声止血手术、超声体外粉碎结石、超声白内障乳化、超声骨科手术、超声外科吸引等,下面简要介绍几种临床常用的超声刀。

高强度超声聚焦(high intensity focused ultrasound, HIFU)是一种治疗深部肿瘤组织的微创性技术,兴起于20世纪90年代,HIFU技术是在计算机控制下通过特别的超声发射器,把数百束声波通过超声通道从不同方向聚焦于同一部位(肿瘤),焦点处的高声强(几十到上万 $\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)能量可使靶组织(肿瘤)在短时间(0.25 ~ 0.5秒)内升温到70 ~ 100,造成肿瘤细胞变性坏死,瞬间杀死 $3 \times 3 \times 10 \text{ mm}^3$ 的肿瘤组织,并通过点点成线、线线成面、面面成体的累积治疗方式,依次杀死较大体积的肿瘤。由于超声波穿透人体时的能量很低,在焦点以外区域不会对人体正常组织造成任何伤害,因此是一种无创或微创热消融治疗技术,临床主要用于大部分腹腔、盆腔内、四肢躯干软组织或骨骼的实体良、恶性肿瘤,如原发性和继发性肝、肾、肾上腺、胰腺、胃、直肠、结肠、膀胱、前列腺等部位的各种实体恶性和良性肿瘤,特别适于肿瘤手术后复发或年老体弱不耐受手术者。

超声切割止血刀

外科超声手术刀切割组织主要依靠超声波产生强大瞬时冲击加速度、微声流及声空化的共同作用分离组织,达到切割目的,主要用于切割软组织和血管。当高频超声作用于介质或有机体时,介质中的质点会以相同频率振动。有关研究表明,频率一定时振动产生的加速度与振幅成正比。若将 $5 \times 10^4 g$ (g 为重力加速度)加速度的机械弹性振动完全传送至活体生物组织时,会使这部分组织与周围组织分开,而且不会损伤周围组织, $5 \times 10^4 g$ 的峰值加速度通常称为切割阈值,高于此值时组织开始破坏,低于此值组织不会破坏分开,因此在使用中必须超过切割阈值。外科超声手术刀就是利用该原理,由于超声的机械与空化作用具有选择性切除组织的特点,加之刀头升温促进凝血反应机制,有明显的止血作用,因此可大大减少术中出血,加快手术速度、提高手术质量。

体外冲击波碎石

体外冲击波碎石术兴起于20世纪80年代,主
现代物理知识

前景广阔的核电池

陈 建

提起核电池,人们可能会把它与层层设防的核电站联系在一起,甚至还会联想到辐射、扩散等危险字眼。殊不知它正在悄悄改变着我们的生活。

一、核电池的基本原理与特点

原子核按其稳定性可分为稳定原子核和不稳定(或放射性)原子核两类。不稳定的原子核都会自发转变成另一种核而同时放出射线,这种变化叫放射性衰变。原子核在衰变过程中放出 α 射线、 β 射线和 γ 射线。 α 射线是 He^+ 粒子流,它是带正电的氦核。

β 射线是高速运动的电子流。衰变时出射的粒子(射线)会放出能量,如 ^{210}Po 发生衰变时可放出约5.4MeV能量,这一能量基本上为出射的 β 粒子所带走;氦(^3H)发生 β 衰变时放出18.6KeV能量,几乎都被出射的电子(β 射线)和反中微子所带走。核电池就是利用放射性同位素衰变放出载能粒子(如 α 粒子、 β 粒子和 γ 射线)的能量或由它们所引起的热效应、光效应或电离作用等来产生电能的一种装置,又称为同位素电池。

很重的原子核在分裂为两块或更多块的同时,也会放出很多能量,称为裂变能,原子弹、核电站都是利用裂变能的成功例子;很轻的两个原子核聚合成一个较重的原子核,放出的能量更大,称为聚变能,氢弹、太阳高温就是利用的聚变能。但核电池既不利用裂变能、又不利用高温高压下的聚变能,它是利用射线能量来发电的。

核电池衰变时放出的能量大小和速度不受外界环境中的温度、化学反应、压力、电磁场的影响,因此

核电池以抗干扰性强和工作准确、可靠而著称。另一个特点是衰变时间很长,这决定了核电池可长期使用。放射性同位素的半衰期大多都长达数十年到数百年,这就决定了核电池能够使用数十年之久。另外,同位素在自然衰变中放出的能量比一般物质发生化学反应释放的能量大得多,这就使核电池在体积上有独特优势。

近年来核电池的快速发展来自于多方面因素的推动,如进入外太空探测的航天器无法应用太阳能电池,人体内心脏起搏器的动力源需长时间供电,极地、深海等极端条件探测所用的动力源需要在很大温度范围和恶劣环境中工作……核电池的特点使其成为最佳选择,如航天技术中使用的核电池经历木星周围的高辐射带、月球上的极端温度、火星上的严重尘暴,历时数十年仍能正常工作。

为了保障核电池安全使用,避免发生核泄漏,必须对核电池密封保护。一般包括同位素放射源的包覆、能量转换层外的防辐射层和外壳。目前的密封保护材料主要包括金属合金、碳素材料及陶瓷材料等。但对核电池本身的辐射不必过于担心,因为密封的金属核电池足以完全密闭放射线。如厦门大学与美国威斯康辛大学曼迪逊分校、美国康奈尔大学、美国凯斯西储大学等研究人员研制的微型原子电池的就是嵌入人体的,它选择 ^{63}Ni 做为放射性同位素,衰变中释放出的 β 射线穿透性不高,一张纸就能把它隔离开,更不用说穿透金属了。作为心脏起搏器等仪器的电源,对人体不会产生不良影响。

要利用聚焦高强度(数十至数百 W cm^{-2})声波的空化作用产生的流速高达 100m s^{-1} 的射流以及机械效应使体内结石碎裂,从而自行排出体外。目前,超声粉碎肾结石、胆囊结石和膀胱结石已有较多应用,临床还可用超声波击碎血栓,减少血流障碍。这种方法可使病人免受手术之苦,故有很大发展前途。

超声白内障乳化

超声白内障乳化将超声手术刀(频率30KHz、振幅30~300 μm 、功率50~70W)从微小切口(2~3mm)伸入眼内,利用超声波对人体组织的碎裂和

空化效应,将白内障乳化、吸出,再植入人工晶体。这种手术具有操作简便灵活,时间短、切口小、出血少、愈合快的特点,大大减轻了病人的痛苦。此外,利用超声波还可进行吸脂减肥、除疤美容、清除皮肤死皮、污垢等。

超声波在医疗领域中的作用越来越受到重视,但其副作用也不容忽视,值得注意的是,超声强度或剂量必须严格选择和控制,否则会损害机体,因此超声安全剂量的深入探讨也日趋重要。

(陕西省西安通信学院数理教研室 710106)