



微波在医学上的应用

陈百万 赵清滨

(潍坊医学院 山东 261042)

微波是一种超高频无线电波。其频率范围约在 $300 \sim 300\,000\text{MHz}$ (相应的波长为 $100 \sim 0.1\text{cm}$)。微波于 1947 年始应用于医学。

微波作为一种特定频段的电磁波,表现出它所特有的一些物理特性。它与生物体相互作用时产生一些特定的生物效应。正是微波的物理特性和生物效应构成了它在医学上应用的基础。随着微波在医学上日益广泛的应用,微波技术与医学紧密结合,已形成一门崭新的医学边缘学科——微波医学。

一、微波的物理特性

1. 微波的能量特性

微波作为一种电磁波也具有波粒二象性。微波量子的能量为 $1.99 \times 10^{-25} \sim 1.99 \times 10^{-22}\text{J}$ (即 $1.24 \times 10^{-6} \sim 1.24 \times 10^{-3}\text{eV}$)。微波作用于物体(包括生物体)时,它的量子能量不足以破坏物质的分子键和引起电离,也不会改变物质分子的内部结构;它可引起分子的电磁振荡等作用。

2. 微波对有极分子的作用特性

物体中的有极分子在微波作用下能够快速

往返转动,与相邻分子摩擦而将吸收的微波能量转化为热能。因此,有极分子能够比无极分子较强地吸收微波能量。

3. 微波的发射与传播特性

我们知道,要将无线电波有效地从天线发射出去,天线的尺寸必须与被发射的无线电波的波长相近。因为微波波长仅为 $0.1 \sim 100\text{cm}$,所以发射微波的天线系统可以做得很小。这也为微波的医学应用提供了方便条件。

由于微波波长较短,所以它可以在空间直线传播。微波还可以被聚焦成很窄的微波波束,以集中它的能量。

微波束照射到两种介质界面时会产生反射、折射(透射)和散射等现象。微波在生物体内的传播特性决定于生物组织的介电特性和微波频率。当微波在生物体内传播时,我们一般把其场强减弱到表面场强(初始场强)的 37%(或微波功率减小到约 14%)时深入生物体内的距离,称为微波的透入深度。透入深度随微波频率的降低而增加(频率低时热损耗少)。例如, 2450MHz 的微波对肌肉组织的透入深度

时间改变历程的观察; 3. 无损检测技术的发展,即尽可能在不影响待测对象的情况下得到所需信息。

生物物理学虽然只有短短的四十几年的历史,但它发展异常迅猛,生物分子、细胞、组织、器官、个体、甚至整个的生态系统都是它研究的对象,生命活动的每一个方面都是它涉及的领

域,它不仅能够从某一角度解释生命活动的现象和本质,而且也推动物理学的巨大发展。生物物理学有着巨大的发展潜力,相信随着时间的推移,它的分支会更多,研究内容会更加丰富。21 世纪的到来,给生物物理学的发展带来了机遇,同时也带来了挑战,我们期待着它的辉煌。

为 1.7cm; 915MHz 的, 为 3cm. 透入深度还随组织含水量的增加而减小(因水分子为有极分子, 它能大量吸收微波能量). 微波频率越低在组织界面的反射越强. 频率为 1000~10 000 MHz 的微波, 在空气与皮肤、皮肤与脂肪、脂肪与肌肉界面, 大约有 60% 被反射.

二、微波的生物效应

当微波作用于生物体时, 在生物控制系统的作用和调节下, 生物体必然要建立新的平衡状态以适应外界电磁环境条件的变化, 因此也就必然产生某些生物效应. 微波的生物效应主要是由微波的热效应, 其次是非热效应所引起的.

1. 微波的热效应

微波对生物体的热效应是指由微波引起的生物组织或系统受热而对生物体产生的生理影响.

热效应主要是生物体内有极分子在微波高频电场的作用下反复快速取向转动而摩擦生热; 体内离子在微波作用下振动也会将振动能量转化为热量; 一般分子也会吸收微波能量后使热运动能量增加.

如果生物体组织吸收的微波能量较少, 它可借助自身的热调节系统通过血循环将吸收的微波能量(热量)散发至全身或体外. 如果微波功率很强, 生物组织吸收的微波能量多于生物体所能散发的能量, 则引起该部位体温升高. 局部组织温度升高将产生一系列生理反应, 如使局部血管扩张, 并通过热调节系统使血循环加速, 组织代谢增强, 白细胞吞噬作用增强, 促进病理产物的吸收和消散等.

2. 微波的非热效应

微波的非热效应是指除热效应以外的其他效应, 如电效应、磁效应及化学效应等. 在微波电磁场的作用下, 生物体内的一些分子将会产生变形和振动, 使细胞膜功能受到影响, 使细胞膜内外液体的电状况发生变化, 引起生物作用的改变, 进而可影响中枢神经系统等. 微波干扰生物电(如心电、脑电、肌电、神经传导电位、细胞活动膜电位等)的节律, 会导致心脏活动、

脑神经活动及内分泌活动等一系列障碍. 对微波的非热效应, 人们还了解的不很多.

当生物体受强功率微波照射时, 热效应是主要的(一般认为, 功率密度在 $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以上者多产生热效应; 在 $10\text{mW}/\text{cm}^2 \sim 1\text{mW}/\text{cm}^2$ 者多产生微热效应. 且频率越高产生热效应的阈值强度越低); 长期的低功率密度 ($1\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下) 微波辐射主要引起非热效应.

根据生物体受微波照射后产生反应的部位和时间, 微波的生物效应又可分为直接效应(微波进入部位的组织或器官的局部效应)、间接效应(亦称远位效应, 即远离微波进入部位的组织或器官发生的反应)和远后效应(即微波作用后很长时间甚至后代发生的效应).

三、微波诊断

微波诊断是微波在医学上应用的主要内容. 它是 80 年代初刚起步的一个重要物理诊断技术. 微波诊断有有源诊断和无源诊断两大类.

1. 有源诊断法

这种诊断方法是利用人工微波源辐射的微波照射人体后进行测量诊断的, 故称有源诊断法. 也叫主动测定法.

人体组织或器官的任何病变将导致其介电特性发生变化, 使射向病变组织或器官的微波的传输特性(反射、折射、吸收等)随之发生变化. 因此, 人们通过微波的反射或透射情况(强度和相位变化情况)可获得有关病变的医学信息. 例如, 微波肺水肿肺气肿诊断仪、微波心电图仪、重病微波呼吸监测仪等均属有源微波诊断仪器.

有源微波医学成像是医学成像技术的一个新成员. 它是将微波照射到人体后, 通过测定透过或反射的微波的强度(振幅)和相位而进行成像的. 它主要用于获得形态图像, 目前以透射法为主. 这种微波成像有两大类, 一种是普通微波透视仪(类似于 X 线透视机); 一种是微波计算机断层成像仪, 即微波 CT(类似于 X 线 CT). 这里仅介绍一下微波 CT 的情况.

透射型微波 CT 通过比较射入被检体前的微波信号(标准信号)与透过被检体后的微波信号的强度(振幅)和相位,使被检体组织对电磁波的电学常数分布图像化。目前通常用滤波反投影法实现图像重建。与 X 线 CT 不同的是,微波 CT 能够充分利用电磁波的相位信息。利用微波测量方法可测出微波透过被检体的衰减常数 α 和相位常数 β ;利用介电常数和电导率跟衰减常数和相位常数的关系,又可计算出被检组织或器官的介电常数和电导率。这些参数均可作为成像参数以图像的形式表示出来。由于这些参数因组织的不同而不同,故它们的分布图像就代表了人体组织的形态图像。

因人体组织的电学常数与温度有关,故可将电学常数转换为温度,从而可将电学常数的微波 CT 转换为一种微波热 CT,来观察体内各断层面的温度分布(即体内断层热象图)。由于对温度分布的测定其空间分辨率不需要像形态图像那样高,所以微波热 CT 在临床上具有一定的实用意义。

微波 CT 与其他医学影像相比具有以下特点:①与 X-CT 相比,微波 CT 对软组织中的肌肉、脂肪之类电导率明显不同的组织更具识别能力;②由于癌组织与正常组织的微波衰减常数之差远大于 X 线的衰减常数之差,故微波 CT 比 X-CT 更易分辨出癌组织(对癌症的确诊率可达 70% 以上);③与超声成像相比,微波 CT 更易获得肺部图像,有利于肺部疾病的诊断(超声在存在空气的肺部衰减很大,一般不能获得肺图像);④微波热 CT 可获得体内断层热象图,这是其他成像方法所不能及的;⑤微波 CT 检查对人体无创无损,是一种很安全的医学成像方法。

2. 无源诊断法

这种方法是利用测定人体本身辐射的微波来诊断疾病的方法。因为它不需要外加人工微波辐射源,故称无源诊断法,亦称被动测定法。利用人体热辐射的微波波段获取热象图来诊断疾病的方法就是一种无源诊断法。目前的微波热象仪主要用来获取人体体表的微波热象图。

利用它可以发现红外热象仪所不能发现的某些疾病。

四、微波治疗

利用微波治疗疾病已经有几十年的历史。早期的微波治疗主要是对某些炎症进行微波治疗。现在的微波治疗包括以下几方面:

1. 微波透热治疗

适当功率的微波对人体能够产生消炎、消肿、镇痛、止血、解痉等良好作用。目前认为,其机理是由于微波的热效应使血液循环加速,刺激器官功能,促进新陈代谢,而起到促进组织再生、消炎止痛、解痉等作用。因此,微波常用来治疗肌肉劳损、关节痛、慢性鼻炎、膀胱炎、前列腺炎、宫颈炎、子宫功能性出血、痔疮、牙病、支气管炎、中耳炎、神经炎、乳腺炎、肩周炎、风湿病和挫伤等。所用的仪器是微波治疗仪。

作为微波热疗的一个特殊方面是微波治疗肿瘤。肿瘤组织比正常组织含水量高,因此肿瘤组织中微波的热效应比正常组织显著得多。而肿瘤组织对热的耐受性又较差,通常在 $42.0\sim 43.5^{\circ}\text{C}$ 即可抑制肿瘤细胞的生长甚至导致其死亡。因此,我们就可以利用微波的热效应使肿瘤患处局部升温到能抑制肿瘤细胞生长甚至使其死亡的温度范围,以治疗肿瘤。现在应用微波可治疗皮肤癌、鼻咽癌和骨转移癌等。将微波热疗与其他治癌方法配合使用往往会显示出更满意的效果。微波治癌仪比一般微波治疗仪的功率大得多,一般为 $150\sim 500\text{W}$,而后者仅几十瓦即可。常用的微波频率为 2450MHz (厘米波)和 915.434MHz (分米波)。

2. 微波针灸

现代微波技术与传统的中医针灸技术相结合形成了微波针灸治疗方法。它用聚焦的微波束照射刺激有关穴位,达到治疗目的。微波针灸既具有针刺的刺激作用,又起到对穴位的理疗作用。现代科学研究表明,人体经络是皮下组织存在的低电阻通路,穴位又是这些低电阻通路上的低电阻点。这些良导体同时又是良导热体。将会聚成窄束的微波照射穴位时,由

于微波的热效应,使穴位温度升高,其热量可沿经络传递,产生温针作用和温补效应。另一方面,微波也可沿经络传导,通过生物化学-生物电磁效应使刺激作用以波动形式在体内传播。可见,微波针灸所诱导的刺激作用不限于局部照射区域,可沿经络在体内传导,而充分发挥微波的作用。

微波针灸操作简单,针感明显而持久,病人无痛苦。

3. 微波手术刀

微波用于外科手术中,是利用微波的能量切开组织。所用的装置称为微波手术刀。微波的热效应可使切口邻近的组织温度升高直至血液凝固。利用微波手术,切口不需缝合,可减少失血和缩短手术时间。微波手术刀的使用使部分切除脾脏成为可能。

微波除了可用来诊断治疗疾病外,还可用于基础医学研究的某些方面;美国人还提出了微波节育的新方法。

五、微波防护

合理应用微波会给人类造福,但不加控制的微波辐射也会给人类健康带来不良影响。因此在利用微波时要进行必要的防护。微波防护也是微波医学的一个组成部分。

鉴于微波应用范围的日益扩大,特别是近些年来微波在工农业生产、军事、医学及日常生活等领域中的应用日益广泛,微波辐射对机体的影响已越来越引起医学界的重视。研究表明,大剂量的微波全身照射会对机体产生不良影响(故不允许大剂量微波全身照射);大剂量微波辐射对实质性器官也有不良影响。机体中含水分多的血液、淋巴液和某些组织器官如中枢神经、眼晶体、睾丸、卵巢、肾、肝、胃、肠等对微波比较敏感,易受损伤。对于长期小剂量接触微波辐射的人员一般不会引起组织器官的器质性改变,但对中枢神经系统功能状态会有一定影响,有的会出现头痛、头晕、嗜睡、疲劳、全身无力、记忆力减退等不良反应。微波诊断中所用的微波不会对机体产生不良反应。

微波防护主要是指对接触微波辐射的工作人员和接受微波治疗的患者非治疗部位的防护。

对长期从事微波工作的人员来说,制定微波安全剂量标准是必要的。目前我国通用的微波安全剂量是 $300\mu\text{W}\cdot\text{h}/\text{cm}^2$ 。微波操作人员的自身防护至少应做到如下几点:①经常检查微波设备,避免微波意外泄漏;②尽量远离微波辐射源;③使用微波防护衣(由涂银的尼龙网格制成)、防护鞋、防护袜、防护手套及防护眼镜(涂二氧化锡膜的眼镜)等来减弱微波照射。

对于微波透热治疗中的微波防护,应注意做到如下几点:①医院应设立专门的微波治疗室。这种治疗室应用吸收微波的特殊材料建成;并应设立金属屏蔽网。这样可防止微波对工作人员的影响(医护人员在治疗室外工作)和对邻近电子仪器和通讯设备的干扰。②对接受治疗者的非治疗部位需注意防护(可用铜网、防护镜等)。在对头面部、会阴部或下腹部治疗时,应特别注意对眼睛、睾丸或卵巢的防护。行腹部治疗时应严格掌握剂量。

目前微波医学正在逐渐成为现代医学中一个日益引人注目的分支。可以预料,它的发展前景将是十分广阔的。

