

不同功率微波辐射下牛晶状体非热效应定量研究

兰俊卿¹, 杜国宏¹, 代孝俊¹, 曹小仁², 杨 岚²

(1. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225; 2. 成都中医药大学, 四川 成都 610075)

摘要:为实现对生物体微波非热效应的定量表征,提出通过测量微波辐射过程中生物组织的介电系数变化来定量表征微波生物非热效应。将基于二端口微波对消电路原理,通过测量 S_{21} 参数以及晶状体的透光度和折射率变化,来定量研究不同辐射功率下牛晶状体的微波非热效应。研究表明 S_{21} 参数在一定程度上可以用来量化的表征处于不同状态的牛晶状体。并且微波辐射功率越大,晶状体受损程度越大, S_{21} 参数变化也越大。为定量研究眼睛和微波生物非热效应提供一种研究途径,同时相关研究成果也为针对微波生物非热效应的安全标准制定提供重要的参考数据。

关键词:生物微波非热效应;介电系数;牛晶状体;辐射功率

中图分类号:TN713

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcui.2019.01.008

0 引言

手机在给人们生活带来极大便捷的同时,也让人们越来越担心手机辐射是否会对人体的健康造成危害。到目前为止虽然相关机构和组织(国际非电离辐射防护委员会、美国电机及电子工程师学会等)已经制定了电磁辐射安全标准^[1-2],但是依然无法消除人们的担忧。这主要是由于现有电磁辐射标准都是基于微波生物热效应制定的,并没有将长时间低功率微波辐射下,生物体非热效应可能引起的健康风险考虑在内。虽然世界卫生组织已将相关研究定位为优先研究课题,并且研究人员通过大量实验和理论研究证明长时间、低功率微波辐射可能对生物体的神经系统、视觉系统、遗传功能等造成损伤^[3-8],却没有权威组织发布相关的安全标准。

造成标准难产的主要原因有:首先,目前绝大多数研究只局限在定性层面,缺少定量研究;其次,在制定辐射安全标准时,首先需要针对微波生物非热效应所引起的各种生理异常现象选定基本限制参量,然而非热效应不像热效应那样,可以使用 SAR 值来定量表征热效应。非热效应很难使用单一的物理量来定量表征负责的生理现象;第三,非热效应是多种因素影响的综合结果,不仅包括微波是辐射功率,还会受到辐射时间、辐射方式、生物体属性等的影响,体系复杂程度极高,研究难度较大。第五,在实验研究中:实验方案不够严谨;由于微波生物非热效应是多种因素共同作用

的综合结果,因此在实验设计过程中,往往顾此失彼。

基于以上的原因,以牛晶状体为研究对象,提出通过测量微波辐射过程中牛晶状体的介电系数变化来定量表征微波生物非热效应。选择介电系数作为基本限值参量的原因是:首先,介电系数反应的是物质的本质属性,理论上通过介电系数的变化可以表征任意微弱的生物非热效应;其次,实验已经证明当生物组织发生病变时,通常伴随着介电系数的变化。研究发现介电常数和电导率的变化最大可以达到 233% 和 577%,最小的也有 6% 和 4%^[9]。将基于二端口微波对消电路原理,通过测量 S_{21} 参数以及晶状体的透光度和折射率变化,来定量研究不同辐射功率下牛晶状体的微波非热效应,可以为定量研究眼睛和微波生物非热效应提供一种研究途径,同时相关研究成果也为微波生物非热效应的安全标准制定提供重要的参考数据。

1 不同功率微波辐射下牛晶状体微波生物非热效应定量研究

1.1 选择牛晶状体的原因

Dovrat 等^[3]通过实验研究发现,牛晶状体经过长时间微波照射或者加热后,内部会出现大量的泡状结构。加热导致的气泡主要产生在纤维组织中,而辐射导致的泡状结构却产生在晶状体的连接缝处。Dovrat 认为连接缝处泡状结构产生是由于微波非热效应导致的晶状体纤维细胞和接缝相互摩擦引起的,和由热效应引起的泡状结构的原因不同。实验还发现,泡状结

构在停止辐射后依然没有消失,说明非热效应会对晶状体产生不可逆的损伤。因此,眼睛作为最容易受到电磁辐射伤害的人体组织,得到了人们广泛关注^[10-11]。眼睛不像其他器官有皮肤和脂肪等组织的保护,而是直接暴露于微波电磁辐射下。其次,眼睛内的血液流动速度较慢,不能及时带走电磁热效应产生的热。第三,人眼除了角膜,其他各组织均不具有自我恢复能力。因此一旦受到损伤将无法恢复。所以,有必要针对微波辐射对眼睛可能造成的伤害进行研究。

1.2 牛晶状体摘取和培养

实验使用的晶状体全部来自年龄小于2岁的黄牛。所有黄牛都经过严格检疫,采自成都市青白江区宏晔屠宰厂。为获得完整的晶状体,采用了以下措施:(1)牛眼摘取:首先使用手术刀剔除牛眼睛周围的肌肉组织,将牛眼睛整体取出。(2)保存:使用生理盐水(含量为9%)清洗牛眼睛,清洗干净之后将其放置于含有生理盐水(含量为9%)的广口瓶中保存,如图1(a)所示。(3)运输:将广口玻璃瓶放入保温箱中,运回实验室。温度控制在2℃~8℃。整个运输过程约为1.5 h。(4)摘取晶状体:首先,在无菌条件下(无菌操作台),如图1(b)所示,剔除牛眼肌肉组织,暴露出干净的巩膜。其次,将其浸泡于氯霉素滴眼液中20 min,再用无菌生理盐水冲洗5次。第三,沿着巩膜边缘切开眼球,剪去角膜,撕开虹膜暴露并截取晶状体,如图1(c)所示。(5)牛晶状体培养:将取出的晶状体置于含有培养基(包含配置好的培养基(M199培养基、20%胎牛血清(Hyclone)))的6孔培养板中,如图1(d)所示。之后将载有牛晶状体的6孔板放入到恒温CO₂培养箱(SANYO MCO-15AC)中进行培养,3 h后开始正式实验。

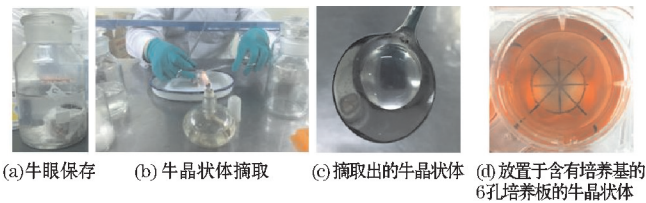


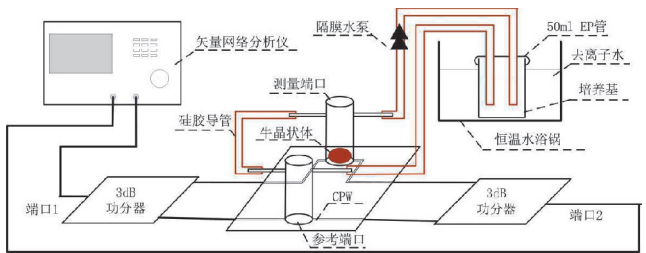
图1 牛晶状体的摘取和培养

1.3 新型高灵敏度牛晶状体介电系数变化测量装置设计

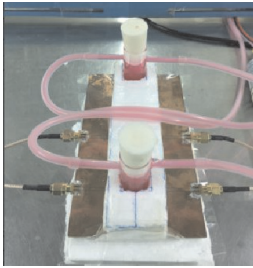
基于微波对消电路原理,实现对牛晶状的微波照射和介电系数变化测量,测量原理如图2(a)所示。矢量网络分析仪(R&S-ZVL)发射的信号从端口1进入,经过功分器之后分成幅度和相位都相同的两路信号,

两路信号分别经过测量端口和参考端口,再进入3 dB功分器,最后从端口2输出。通过调节测量端口所在支路(纵向上调整)的长度,可以实现测量端口和参考端口处微波信号幅度相同,相位相差180°。理想情况下,当测量端口和参考端口内物质相同时,端口2的输出信号为0。采用共面波导代替常用的微带线结构,相比之下,过共面波导的电磁辐射场分布更加集中在槽线周围,均匀性更好,更有利于精确探测牛晶状体介电系数的变化。该设计最突出的优点将微波照射和介电常数测量有机的统一起来,有效排除测量介电系数时所引入的微波辐射对实验结果的影响。

为保持牛晶状体的活性,设计了如图2(b)所示的石英端口(参考端口和测量端口完全一样)。实验利用硅胶导管将石英端口、隔膜水泵以及装有培养基的EP管(eppendorf tube)相连接,形成一个封闭的系统来隔绝外界污染。利用恒温水域锅对EP管内的培养基进行加热,再利用隔膜水泵实现培养基在EP管和端口之间的循环,保证在整个实验过程中,牛晶状体始终处于35℃恒温培养基中进行培养。通过选用聚苯乙烯泡沫塑料构建模具,将端口固定在射频板的指定位置上。由于每次实验之前都需要使用高压灭菌消毒锅对端口进行高温消毒,而射频板在高温下会发生形变,所以不能用胶水将石英端口和射频板永久固定。



(a)测量原理图



(b)测量端口

图2 射频传感器测量原理图和实物图

2 结果与讨论

2.1 传感器灵敏度实验测量

为测量传感器的敏感度,分别测量了在端口处放

置不同温度水和培养基(M199)情况下,传感器两端的S参数,结果如表1所示。 $S_{11} < -17\text{ dB}$, $-25.6\text{ dB} \leq S_{21} \leq -24.8\text{ dB}$,表明该传感器具有较高的测量灵敏度。

表1 S参数幅度和相位实验测量结果

	S_{21}		S_{11}	
	幅度	相位	误差	实验
水(11.5 ℃)	-24.8	-16	-17.3	122
水(27.5 ℃)	-25.3	-13	-17.4	126
培养基 M199(35 ℃)	-25.6	-10	-17.9	122

2.2 微波电磁辐射下,牛晶状体介电系数的测量

研究0.9 GHz微波辐射下,辐射功率为10 dBm和13 dBm时^[3],微波对消电路 S_{21} 幅度变化情况。功率的实验持续75 h,以1 h为周期,每小时辐射50 min,间隔10 min。每小时测量一次 S_{21} 参数。图4为实验过程中 S_{21} 幅度变化情况。

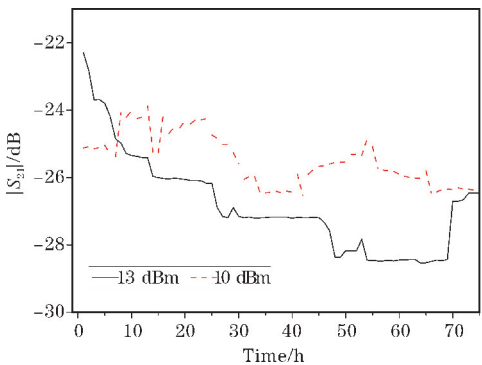


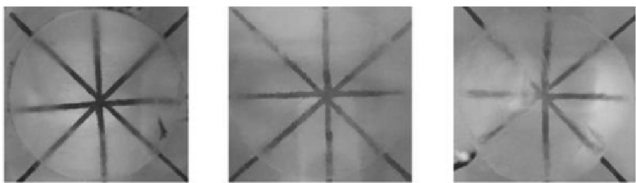
图3 S_{21} 幅度变化情况

如图3所示,在两种辐射功率下, S_{21} 幅度随着时间发生明显的震荡变化,总体上呈现减小趋势。然而,两种辐射功率下 S_{21} 幅度的变化范围相差较大。当辐射功率为10 dBm时, S_{21} 幅度变化约为2.5 dB,而在13 dBm时, S_{21} 幅度变化达到了6 dB。 S_{21} 的变化说明着累计辐射量的增加,牛晶状体的介电系数发生了变化。并且累计辐射剂量越大,牛晶状体的介电系数变大幅度也越大。图3结果还表明在辐射功率较大的时候,测量系统的灵敏度较高,达到了-28 dB。

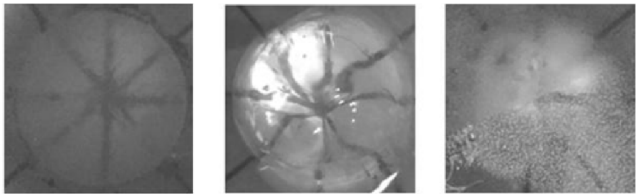
其次,通过研究晶状体的透光度以及折射率来研究实验过程中微波辐射对于晶状体造成的损伤。图4为不同功率微波辐射下,晶状体透光度变化情况。

从图4中可以看出,随着辐射剂量的增加,晶状体的透光度逐渐变差。而且相比之下辐射功率越大,损伤越强。综合考虑图3和图4的研究结果,可以表明 S_{21} 参数在一定程度上可以用来量化表征处于不同状态的牛晶状体。为定量研究眼睛和微波生物非热效应

提供一种研究途径,同时相关研究成果也为针对微波生物非热效应的安全标准制定提供重要的参考数据。



(a) 10 dBm辐射功率下牛晶状体第1天至3天透光度和折射率



(b) 13 dBm辐射功率下牛晶状体第1天至3天透光度和折射率

图4 晶状体透光度和折射率变化情况

3 结束语

基于二端口微波对消电路原理,以牛晶状体为研究对象,通过测量微波辐射过程中牛晶状体的介电系数变化、以及晶状体的透光度和折射率变化来定量表征微波生物非热效应。结果显示随着牛晶状体吸收的微波辐射剂量不断增加,晶状体的透光度逐渐变差, S_{21} 参数呈现震荡下降的趋势。并且辐射功率越大,晶状体受损程度越大, S_{21} 参数变化也越大。研究结果表明 S_{21} 参数在一定程度上可以用来量化表征牛晶状体的受损程度。为定量研究晶状体和微波生物非热效应提供一种研究途径,同时相关研究成果也为针对微波生物非热效应的安全标准制定提供重要的参考数据。

参考文献:

[1] IEEE Standard. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz-Amendment 1: Specifies Ceiling Limits for Induced and Contact Current, Clarifies Distinctions between Localized Exposure and Spatial Peak Power Density[J]. IEEE Std C95. 1a-2010 (Amendment to IEEE Std C95. 1-2005), 2010, C1-9.

[2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)[J]. Health Phys,1998 (74):494-522.

- [3] Dovrat A, Berenson R, Bormusov E, et al. Localized effects of microwave radiation on the intact eye lens in culture conditions [J]. *Bioelectromagnetics*, 2005(26):398–405.
- [4] 黄卡玛, 刘永清, 唐敬贤, 等. 电磁波对化学反应的非热作用及其在电磁生物非热效应机理研究中的意义[J]. *微波学报*, 1996(2):126–132.
- [5] Lan J, Hong T, Liang X, Du G. Evaluation of microwave microdosimetry for human eyes with glasses exposed to wireless eyewear devices at phone call state [J]. *Progress in Electromagnetics Research M*, 2018(63):71–81.
- [6] 王保义, 黄卡玛, 徐润民, 等. 低强度微波辐射对人细胞非热生物效应的研究[J]. *中国医学物理学杂志*, 1995(1):9–14.
- [7] World Health Organization. WHO research agenda for radiofrequency fields, 2010.
- [8] 夏玉静. 小功率微波对人体健康影响的国内研究进展[J]. *中国职业医学*, 2001, 28(2):49–50.
- [9] Joines W T, Zhang Y, Li C, et al. The measured electrical properties of normal and malignant human tissues from 50 to 900 MHz [J]. *Medical physics*, 1994, 21(4):547–550.
- [10] Lan J Q, Liang X, Hong T, et al. On the effects of glasses on the SAR in human head resulting from wireless eyewear devices at phone call state [J]. *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, 2018(136):29–36.
- [11] 严翠先, 吴子俊, 何烈纯. 电子通讯设备微波作业人员眼晶状体的混浊状况[J]. *职业与健康*, 2010, 26(1):32–33.

Quantitative Study of Nonthermal Effects of Microwave on Bovine Lens under Different Radiation Power

LAN Junqing¹, DU Guohong¹, DAI Xiaojun¹, CAO Xiaoren², YANG Lan²

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610075, China)

Abstract: This project proposes to quantitatively express the nonthermal biological effects of microwave by measuring the variation of dielectric coefficient of biological tissue. Bovine lens is chosen as research objects. This project would design and development a set of dielectric coefficient measurement system and controlled microwave radiation equipment based on principle of microwave cancellation circuit. This project would set up the corresponding relation between the S_{21} and different radiation power. The results show that S_{21} could be used to quantitatively express the state of Bovine lens. Moreover, the larger the radiation power, the greater the impact on the health state of Bovine lens and S_{21} . This project would provide a new research approach for quantitative research of nonthermal biological effects of microwave and provide important experimental and theoretical basis for the establishment of standards.

Keywords: nonthermal biological effects of microwave; dielectric coefficient; Bovine lens; radiation power