

微波电磁辐射对生物体的影响

夏红杰^{1,2} 王德文¹

¹ (军事医学科学院放射与辐射医学研究所 北京 100850)

² (武警总医院康复理疗科 北京 100039)

摘要 生物电磁学的研究最早可以追溯到1789年,人们对它的认识和利用随着科研水平的提高有了长足的进步,近年来国内国外的研究业已证明,电磁辐射对生物体的各个脏器均可造成不同程度的影响,其中中枢神经、内分泌、心血管、生殖、造血、免疫、视觉等系统为敏感器官,尽管各研究者的研究结论不尽相同。本工作就微波电磁辐射对各敏感器官作用效应的研究结果做一综述。

关键词 电磁辐射,生物体,辐射效应

中图分类号 Q691, R122, Q345

电磁辐射(Electromagnetic radiation, EMR 或称电磁波 Electromagnetic wave, EMW)广泛存在于人类生存环境和宇宙中,自然界存在电磁辐射已为人类所适应和接受,现代生活中电磁波有了更广泛的应用。手机作为新一代电子信息产品产品在人群中广泛普及,电磁产品和技术如微波炉,微波治疗仪器等在生产生活的各个领域应用方兴未艾^[1],微波武器作为新一代信息战武器研究和应用的热点正在各国的军事领域蓬勃展开。移动电话电磁辐射的发射频率为800~1800MHz,属微波波段,微波炉、微波治疗仪器发射频率以2450MHz使用的最多。相应的研究报道文献也以这几种频率的微波为多^[2,3],流行病学调查及动物实验证实,生物体各系统因其结构、功能不同,电磁辐射所产生的效应各异;不同物种因其具有各自独特的生物学个性,研究方法及其研究结果也不尽一致。以下分述各系统的研究方法及其结果。

1 中枢神经系统

中枢神经系统作为微波辐射效应的主要靶器官是微波辐射生物学研究中的热点之一。微波电磁辐射可能影响人的神经行为、认知能力,与脑肿瘤、神经衰弱及早老性痴呆的发生有关。马菲等^[4]进行的流行病学调查结果显示:某高强度微波军事作业场所的平均功率密度(Specific absorption rate, SAR)在1.1~21.2mW/cm²,日累计照射剂量在4.95~

95.4mWh/cm²,神经行为测试中情感状态减弱,微波影响神经元的生理功能,并通过影响 γ 氨基丁酸(γ -Aminobutyric acid, GABA)抑制系统的神经调节功能,导致中枢神经系统兴奋与抑制平衡失调,是阿尔海默氏病(Alzheimer disease, AD)及神经衰弱症状发生率增加的重要因素之一。另有实验^[2]证实长期暴露在全球通系统(Global system for mobile communications, GSM)1800MHz SAR为2.4W/kg微波辐射下,可减低鼠海马神经元突触间传导兴奋性的活力以及数量,辐射可选择性降低 α -氨基羟甲基恶唑丙酸(Amino-3-hydroxy-5-methylisoxazole-4-propionic acid, AMPA)受体和N-甲基-D-天冬氨酸(N-methyl-D-aspartate, NMDA)受体神经元的微小兴奋性突触后电流,可能与微波减低PSD95基因的表达有关。杨学森等^[5]观察电磁辐射对大鼠海马神经细胞丝裂原活化蛋白激酶(Mitogen-activated protein kinase, MAPK)家族基因及蛋白表达水平的影响,发现电磁辐射可在基因转录和蛋白质表达水平上对ERK和JNK 2条信号转导通路产生影响,认为ERK和JNK 2条信号转导通路可能参与了电磁辐射导致的中枢神经损伤。

但与上述相反的观点也很多,在功能方面Cosquer等^[6]进行了雄性Sprague-Dawley鼠plus迷宫实验证实了92年的实验结果^[7],全身暴露于2.45GHz电磁场下脑部SAR为0.9W/kg 45min,不引起鼠的焦虑反应。两实验均提示电磁场作用不会提高鼠皮

国家自然科学基金(30230360)资助

第一作者:夏红杰,女,1970年9月出生,1994年毕业于解放军第四军医大学临床医学专业,现为中国人民武装警察部队总医院中西医结合康复理疗科主治医师,军事医学科学院放射医学研究所在读硕士研究生,实验病理学专业
收稿日期:初稿2007-09-19,修回2008-05-12

层内的苯二氮卓受体的数量,在焦虑方面的研究结果相反于前述的研究结果。Yuasa 等^[8]的实验是请12个志愿者使用高频手机30min,测试此电磁场下短潜伏期体感诱发电位(Somatosensory evoked potential, SEP),并与虚拟照射组对比,结果表明短潜伏期体感诱发电位及自我恢复功能均不受到手机电磁场的影响,这是第一个有关手机辐射对SEP影响的研究,其结果支持手机的安全性。在损伤机制方面,Thorlin 等^[9]应用900MHz SARs 3 W/kg GSM微波辐照两种体外培养的神神经胶质细胞,并标记培养细胞损伤的相关程序:细胞释放的白介素6(IL-6),肿瘤坏死因子 α (Tnf α),星型神经胶质纤维酸性蛋白(Glial fibrillary acidic protein, GFAP)表达,以及测定小胶质细胞反应标志物,巨噬细胞活化抗原ED-1和总蛋白的含量来研究手机射线的影响,实验结果认为手机微波射线对胶质细胞培养中损伤相关因子无影响,同时形态也不受影响。

不同的研究结果还有西班牙学者^[10],研究认为长时间使用手机可以轻微损伤听力,且与使用时间正相关,而另一些研究^[11,12]则证实不会影响听力和前庭器官功能。Jeong 等^[13]应用热金属实验研究60Hz极低频磁场对于痛觉过敏的影响,测定一氧化氮(Nitrous oxide, NO)和一氧化氮合酶(Nitric oxide synthase, NOS)表达水平来评估辐射对NO介导的痛觉的影响。结果显示辐射可以导致 Ca^{2+} 依赖的NOS活化,进而增加NO的合成导致痛觉过敏,说明极低频电磁场可以通过调节 Ca^{2+} 依赖的NOS促进NO的合成致痛觉过敏。

中枢神经系统具有多种细胞形态和多种功能效应,由于短期微波辐射生物效应和长期低剂量辐射效应研究中,无法建立可供比较的生物学模型,所以中枢神经系统的微波辐射效应还有待进一步开展研究。

2 内分泌系统

内分泌系统主要包括外周的肾上腺、甲状腺、甲状旁腺和性腺,以及与中枢内分泌有关的如下丘脑、海马、垂体、松果体和杏仁核等。多数的实验结果显示,经电磁辐射后的各内分泌腺均呈现抑制性表现。匈牙利研究者^[14]应用1800MHz GSM SAR 0.018~0.023W/kg辐照NMRI雄性鼠,测定血清睾丸激素、绒毛膜促性腺激素(The human chorionic gonadotropin, HCG)、类固醇水平,并进行睾丸、附睾、肾上腺、前列腺、垂体的组织学检查,发现辐照可引起免疫系统参数的细微改变,虽然改变尚在生理范围以内,但具有统计学意义。近年来性腺

的研究报道较多。流行病学调查发现,微波作业人员常见性欲减退、阳痿、精子减少、月经紊乱、胎儿性别比例失调等症状。关于机制方面的研究,Ozguner 等^[15]实验将Sprague-Dawley鼠用900MHz电磁场辐照,每天30min,每周5天共4周,辐照后生精管直径和幼稚生精上皮平均高度显著减低,血浆睾丸激素水平减低,结论认为睾丸形态的改变可能是导致激素水平改变的基础。国内研究结果显示^[16],电磁辐射能在转录水平影响睾丸间质细胞类固醇合成急性调节蛋白及细胞色素P450胆固醇侧链裂解酶mRNA的表达,从而降低睾酮的合成。腺体的结构和功能虽然不同,但均属于分泌上皮,总的变化大致相同。

血浆褪黑素(Melatonin)是松果体分泌的一种神经内分泌激素,它不仅参与生物周期性节律、神经-内分泌-免疫调节、镇静、催眠等,而且在脑缺血、AD、癫痫、失眠等多种脑部疾病中具有保护作用。近年来为探索癌症的治疗手段研究较多,但结果不尽相同。Graham 等^[17]应用60Hz磁场连续4个晚上共辐照48h,大鼠Melatonin下降,另有实验^[18]证实900MHz和1800MHz手机电磁辐射不会影响Melatonin水平。有的学者认为暴露强度和时间影响结果,有的认为物种敏感度不同,未来更进一步实验积累有可能强化这方面认识。

3 心血管系统

多数的观点认为中高功率电磁波引起心肌细胞的损伤,特别是窦房结、房室结、传导纤维的病变更为明显,轻者退变,重者坏死和凋亡。国内研究表明^[19,20],50mW/cm²的高功率微波(High power micro wave, HPM)辐射可造成心脏组织结构损伤,心肌纤维变性,HPM辐射后6h~7d内变性心肌范围呈进行性扩大并加重,7d见心肌肌浆凝聚,横纹消失,且随辐射剂量增加,心脏内分泌功能受损,大鼠血浆心钠素浓度于1~7d升高($p<0.01$ 或 $p<0.05$),且与辐射剂量呈正相关,心肌 β_1 肾上腺素受体(β_1 -AR)表达增强,参与了HPM辐射致心脏损伤的病理生理过程。在机理研究方面Bortkiewicz 等^[21]测试了63名22~67岁长期处于50Hz EMR环境下的人员,认为EMR能够影响心血管系统的植物神经调节功能,且与辐照强度水平正相关。Buchachenko^[22]的观点认为电磁场的影响与ATP酶有关,ATP作为主要的能源物质广泛地存在心肌及各种组织当中,尤以心肌中对生物体影响突出,线粒体内ATP的产生有赖于磷酸肌酸激酶和ATP酶内的镁原子核的自旋和 Mg^{2+} 离子瞬间磁场

变化,外部磁场和微波场能控制和影响离子自旋方式从而控制ATP的合成。

不同的观点也同样存在,Sait等^[23]证实50Hz电磁场对人类心率不造成影响,这样的结果不支持以往心动过速的观念。Mezei等^[24]通过尸检及其他相关信息进行了美国1986~1993年间国内疾病死亡率回顾调查(NMFS),分析是否从业于磁场环境的人心血管疾病(Cerebrovascular disease, CVD)死亡率的风险更大,结果是CVD的死亡率与磁场环境并无明确相关性。同样,热休克蛋白(Heat shock protein, Hsp)被认为对温度和应激条件最敏感,是机体在应激条件下合成的一种应激蛋白,在多种应激条件下都能够发挥保护作用,如缺血、缺氧、射线照射、重金属中毒等。Alfieri等^[25]应用50Hz EMR辐照24h后,血管内皮细胞热休克复制因子1(Heat shock factor 1, HSF1)出现短暂激活,但是无论HSP70 mRNA水平还是HSP70合成均无明显改变,基因复制不受影响,辐射仅增加可诱导的HSP70蛋白的堆积,其机理可能是通过提高其稳定性和HSP70 mRNA翻译来达到。实验认为Hsp不因电磁辐射因素而有明显改变,说明虽然可能辐射后出现热效应而造成一定的分泌水平的改变,但不影响整体的结构及功能。

电磁场影响有热效应和非热效应两方面,在心血管系统中两者均存在,是否可以认为较高频率场能引起结构改变,低频率场引起更多调节功能的变化,相关结论还有待更多的实验验证。

4 生殖

生殖损伤效应受多种因素影响,如功率、频率、受照时机等,Erogul等^[26]将27个志愿者的精子暴露在900MHz手机电磁辐射下,发现长时间的电磁辐射改变精子的结构和活动能力。王水明等^[27]的最新研究发现:精原细胞、精子细胞和精子是微波辐射非热效应最敏感的靶细胞。实验采用低频(0~100MHz)、高强度($n \times 10^4$ V/m)的电磁脉冲全身辐射小鼠,发现精原细胞、精子细胞和精子均表现出核膜间隙局部增宽,线粒体肿胀或灶性空化,内质网扩张,但不能确定精原细胞、精子细胞和精子损伤的先后关系。另有实验发现^[28],HPM辐照能够改变大鼠曲细精管基膜部和精原细胞的通透性,严重破坏血睾屏障的保护作用。机制研究发现HPM对大鼠的顶体酶反应有较明显的抑制作用,可能通过改变细胞内第二信使 Ca^{2+} 的浓度来影响其生殖细胞功能^[29]。

生殖系统方面也存在不同的实验结果,

Nikolova等^[30]将鼠的胚胎干细胞置于50Hz GSM 1.71GHz的场强下,定量放射同位素聚合酶链式反应(Polymerase chain reaction, PCR)显示低频电磁场下的中枢胚胎干细胞的凋亡相关基因bcl-2,bax的复制受到影响,经射频照射的细胞孤束核受体Nurr1基因下调,同时上调bax水平,但低频高频均不影响线粒体功能、核凋亡、细胞增殖及染色体突变,磁场暴露可短暂地影响鼠中枢源性胚胎干细胞凋亡和细胞周期基因复制水平,但这些反应与细胞生理变化不相关,提示了翻译和转录水平存在代偿机制。Komatsubara等^[31]也做了相似的动物实验,应用连续和脉冲2.45GHz高频电磁场辐照鼠的胚胎组织衍生的m5S细胞,发现不引起染色体的异常。这样的实验结果提示虽然表面上辐射可能不引起生殖的最终结果,甚至也不会引起子代的繁育质量和数量,但在基因水平上有可能受到影响,而这种影响在增殖过程中受到了良好的代偿机制调节,未能造成不可逆的损害。但辐照时间、强度或其他附加条件、因素对研究结果的影响,还需要深入探索。

5 造血系统

造血系统因其敏感性高,且对生物体的影响大而成为研究的重点之一,中小功率电磁辐射照射后早期即可观察到外周血红细胞、白细胞、血小板有不同程度损伤。高功率照射后更明显,多数人的白细胞降低,也引起多核细胞、淋巴细胞、嗜酸细胞增多。日本因二战而成为辐射的高暴露区,Kabuto等^[32]进行日本儿童白血病的流行病学调查,调查了54%的日本儿童,其中1999~2001年间0~15岁的儿童新发急性淋巴细胞白血病及急性骨髓白血病的有312例,这些发病儿童其居室环境的辐射强度明显高于对照组,证实高磁场显著提高儿童白血病的风险性。彭瑞云等^[33]发现猕猴经 6×10^4 V/m电磁脉冲辐射后可使其骨髓中造血细胞数目减少,形态结构欠佳,各系细胞以成熟细胞为主,幼稚细胞少见,造血细胞凋亡和坏死并存,但以凋亡为主;骨髓中造血细胞DNA含量减少,核仁组成区相关蛋白含量减少,细胞增殖能力降低,造血细胞凋亡率增加。伤后3d骨髓中造血细胞的数量、形态,DNA和核仁组成区嗜银蛋白(AgNOR)含量及增殖能力基本恢复至照前水平。如果持续进行辐照是否造成白血病需进一步实验证实。

核酸水平具有相反的实验结果,Luceri等^[34]等应用单细胞凝胶电泳研究低频电磁辐射(50Hz)对淋巴细胞的影响,分别评估了人的13,971和DBY747酵母细胞的6,212寡核苷酸链的基因表达,

结果认为低频电磁场不会导致这两种真核细胞的DNA损伤,不影响其基因表达。同样Chemeris等^[35]的单碱性细胞凝胶电泳实验结果证实了高能微波(8.8GHz、SAR1.6 kW/kg~300 MW/kg)辐照40min的人全血白细胞和独立的淋巴细胞,未发现有统计学意义的明显DNA损伤,也未出现DNA链断裂、碱基不稳定和不完全的切除修复点。基因未受损但存在细胞数量减少现象,是否其中存在其他调节因素可能会成为下一步研究的重点。

6 免疫

免疫系统对电磁波较为敏感,主要引起免疫抑制反应、功能下降,早期可见外周血淋巴细胞减少,T细胞及其亚群比例失调,免疫球蛋白下降,白细胞吞噬功能减弱,外周血淋巴细胞凋亡率增高,淋巴组织(脾、淋巴结、胸腺等)淋巴细胞变性、凋亡和坏死。国内的流行病学^[36]对29名HPM从业人员的外周血T淋巴细胞酸性非组蛋白进行染色分析,提示HPM下调T细胞的免疫活性,抑制机体的免疫功能。白细胞是免疫系统的初级防御细胞,Polak等^[37]认为,电磁场可减少白细胞的数量、引起细胞代谢异常,并影响其增殖而且具有使白细胞染色体增殖异常,染色体缺失,DNA无序合成等影响,同时改变细胞动力及自然杀伤细胞NK活性。

关于电磁辐射对免疫功能的影响有很多矛盾报道,有实验研究发现^[38],长期工作在50Hz工频电场环境的人员的外周血T淋巴细胞的IL-2活性明显高于对照组,血清IgG水平提高,并可使B淋巴细胞产生IgG的能力增强。其结论认为工频电场可上调人的免疫活性。相反的实验结果只能解释为实验条件不同,但是否意味着频率就是免疫活性的相关因素呢,如果答案肯定,是否就可以利用不同的电磁波对不同疾病病人给予治疗,这将为电磁场治疗手段更新带来一线曙光。

7 视觉

水分子呈极强的极性,是吸收电磁辐射的最好介质。含水量高的生物器官,如眼球易吸收能量,所以眼球是电磁辐射损伤的靶器官,其中晶状体对电磁波尤为敏感,Dovrat等^[39]的实验观察牛的晶状体受微波辐射2周以上发现有非常显著的影响,1GHz mW级辐照超过36h对晶状体的光学功能有影响,辐射中断有自我恢复出现,显微镜下见其相互作用的机理完全不同于温度升高造成的白内障反应,相对于后者其显著的不同之处出现于晶状体与

其周边结构的结合处附近,这被假定为晶状体周边纤维摩擦的结果。如果不同于热效应的结果,非热效应的机理研究将作为下一步的重点。另有实验表明^[40],电磁辐射可引起家兔视网膜细胞的凋亡、线粒体的肿胀,光感受器细胞的变性,膜盘组织的结构破坏等。发现家兔视网膜组织睫状神经营养因子CNTFmRNA的表达显著性增强,且表达量与辐射时间之间存在时效关系。

视觉系统的损伤效应因其具有特定的组织结构而不同于其他组织,尚未见到辐射不会影响其结构功能的报道。

8 结论

因为电磁辐射的频率、波长和能量范围极宽(即频率为 $3\times 10^4\sim 3\times 10^{12}$ Hz,波长为 $10^4\sim 10^{-6}$,能量为 $10^{-10}\text{eV}\sim 10\text{MeV}$),电磁辐射对生物体的效应因其不同而表现不一,有关生物学表现和机理研究目前还存在很多不清楚的部分,甚至存在着很大的差异性,这是因为受实验条件和模型等多方面限制。就生物体辐射损害效应方面而言,大量实验均认为电磁波的危害程度与场强和作用时间有关,即与生物体接受辐射的总剂量有关,接受剂量越大,发病率越高,所产生的变化也越严重,大量实验证实低频低功率电磁辐射造成的损伤效应小且轻微,相反高频高功率辐射引起的效应相对明显,但也有很多相对性存在,譬如低频电磁辐射在某些条件下也可以对生物体产生非常严重的损伤,高频电磁辐射不一定在任何条件下对生物体都产生非常严重的损伤,如目前明确的被定为可疑致癌物的就是低频。然而前述的实验也有倾向于低频辐射可以提高机体免疫力的结果。

相同实验却呈现不同实验结果,其原因可能有几个方面:(1)“窗”特性。电磁波与机体相互作用产生热效应和非热效应,热效应的机理及实验结论相对清晰,而非热效应的机理复杂,目前还未形成定论,这也成为何以各学者实验结果各异说法不一的原因。众所周知,电磁场非热效应的特点包括“窗”特性,其中包含频率窗、功率窗、时间窗,换言之生物靶系统只对特性上或作用方式上符合一定条件的一种或一组电磁波作非热效应响应,而不对其他电磁波产生相应的效应,这可以作为解释各研究者得出不同结论的基础。(2)实验条件限定。因为研究目的不同,不同的实验者选择的实验条件各异。表现在辐射源的频率高低、功率大小、脉冲或连续,辐照时间长短、间隔方式、辐照部位为全身或局部以及结果采集方式、标记物均不同,

另外被实验的物种也有很大区别,哺乳动物与非哺乳动物作为研究对象的结果存在不同。重要的是出发点的不同,研究流行病学的、形态学的、功能方面的、探究机理的有如此多的不同之处,得出不同的结果是可以想象的。(3)实验允许误差,这是不可避免的。

另外,高能微波武器多数工作在 1~300GHz 范围内,输出功率在 GW 级以上,作为军事领域的进展性研究公开发表的文献相对较少。生活中的电磁辐射近年来才被认识和研究,因而存在很多不明确的机制和现象,有待进一步实验和探索。

参考文献

- 1 王德文主编. 现代军事病理学. 北京: 军事医学科学出版社, 2002. 598-627
WANG Dewen. Modern military pathology. Beijing: Military Medical Scientific Publishing House, 2002. 598-627
- 2 Xu S, Ning W, Xu Z, *et al.* *Neurosci Lett.* 2006, **398**(3): 253-257
- 3 王强, 曹兆进, 白雪涛, 等. 环境与健康杂志, 2005, **22**(5): 329-333
WANG Qiang, CAO Zhaojin, BAI Xuetao, *et al.* *J Environ Health*, 2005, **22**(5): 329-333
- 4 马菲, 熊鸿燕, 张耀, 等. 第三军医大学学报, 2004, **22**(4): 2048-2051
MA Fei, XIONG Hongyan, ZHANG Yao, *et al.* *Acta Acad Med Mil Tert*, 2004, **22**(4): 2048-2051
- 5 杨学森, 龚茜芬, 张广斌, 等. 中国公共卫生, 2005, **21**(6): 693-672
YANG Xuesen, GONG Qianfen, ZHANG Guangbin, *et al.* *Chinese Journal of Public Health*, 2005, **21**(6): 693-672
- 6 Cosquer B, Galani R, Kuster N, *et al.* *Behav-Brain-Res*, 2005, **156**(1): 65-74
- 7 Lai H, Carino M A, Horita A, *et al.* *Bioelectromagnetics*, 1992, **13**(1): 57-66
- 8 Yuasa K, Arai N, Okabe S, *et al.* *Clin Neurophysiol*, 2006, **117**(4): 900-905
- 9 Thorlin T, Rouquette J M, Hamnerius Y, *et al.* *Radiat Res*, 2006, **166**(2): 409-421
- 10 Garcia Callejo F J, Garcia Callejo F, Pena-Santamaria J, *et al.* *Acta Otorrinolaringol Esp*, 2005, **56**(5): 187-191
- 11 Uloziene I, Uloza V, Gradauskiene E, *et al.* *British Medical Council Public Health*, 2005, **19** (1): 39-44
- 12 Pau H W, Sievert U, Eggert S, *et al.* *Otolaryngol Head Neck Surg*, 2005, **132**(1): 43-49
- 13 Jeong J H, Kum C, Choi H J, *et al.* *Life Sci*, 2006, **78**(13): 1407-1412
- 14 Forgacs Z, Kubinyi G, Sinay G, *et al.* *Magy Onkol*, 2005, **49**(2): 149-151
- 15 Ozguner M, Koyu A, Cesur G, *et al.* *Saudi Med J*, 2005, **26**(3): 405-410
- 16 周文, 杨进清, 王虚步, 等. 解放军预防医学杂志, 2004, **22**(6): 413-415
ZHOU Wen, YANG Jinqing, WANG Xubu, *et al.* *J Prev Med Chin P L A*, 2004, **22**(6): 413-415
- 17 Graham C, Cook M R, Sastre A, *et al.* *Pineal Res*, 2000, **28**(4): 1-8
- 18 Koyu A, Ozguner F, Cesur G, *et al.* *Toxicol Ind Health*, 2005, **21**(1-2): 27-31
- 19 潘敏鸿, 彭瑞云, 高亚兵, 等. 中华放射医学与防护杂志, 2006, **26**(3): 298-302
PAN Minhong, PENG Ruiyun, GAO Yabing, *et al.* *Chin J Radiol Med Prot*, 2006, **26**(3): 298-302
- 20 潘敏鸿, 彭瑞云, 高亚兵, 等. 军事医学科学院院刊, 2006, **30**(1): 37-39
PAN Minhong, PENG Ruiyun, GAO Yabing, *et al.* *Bull Acad Mil Med Sci*, 2006, **30**(1): 37-39
- 21 Bortkiewicz A, Gadzicka E, Zmyslony M, *et al.* *Int Occup Med Environ Health*, 2006, **19**(1): 53-60
- 22 Buchachenko A L, Kuznetsov D A, Berdinskii V L, *et al.* *Biofizika*, 2006, **51**(3): 545-552
- 23 Sait M L, Wood A W, Kirsner R L. *Physiol Meas*, 2006, **27**(1): 73-83
- 24 Mezei G, Cher D, Kelsh M. *Ann Epidemiol*, 2005, **15**(8): 622-629
- 25 Alfieri R R, Bonelli M A, Pedrazzi G. *Radiat Res*, 2006, **165**(1): 95-104
- 26 Eroglu O, Oztas E, Yildirim I, *et al.* *Arch Med Res* 2006, **37**(7): 840-843
- 27 王水明, 王德文, 彭瑞云, 等. 生殖医学杂志, 2003, **12**(4): 197-201
WANG Shuiming, WANG Dewen, PENG Ruiyun, *et al.* *J Reprod Med*, 2003, **12**(4): 197-201
- 28 黄晓峰, 王春梅, 王爽, 等. 中华放射医学与防护杂志, 2006, **2**(3): 186-188
HUANG Xiaofeng, WANG Chunmei, WANG Shuang, *et al.* *Chin J Radiol Med Prot*, 2006, **2**(3): 186-188
- 29 曾丽华, 郭国祯, 任东青, 等. 强激光与粒子束, 2005, **8**(2): 1267-1272
ZENG Lihua, GUO Guozhen, REN Dongqing, *et al.* *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, **8**(2): 1267-1272

- 30 Nikolova T, Czyz J, Rolletschek A, *et al.* Federation of American Societies for Experimental Biology Journal, 2005, **19**(12): 1686-1688
- 31 Komatsubara Y, Hirose H, Sakurai T, *et al.* Mutat Res, 2005, **587**(1-2): 114-119
- 32 Kabuto M, Nitta H, Yamamoto S, *et al.* Int J Cancer, 2006, **119**(3): 643-650
- 33 彭瑞云, 崔雪梅, 高亚兵, 等. 中国医学物理学杂志, 2003, **3**(5): 183-185
PENG Ruiyun, CUI Xuemei, GAO Yabing, *et al.* Chin J Med Phys, 2003, **3**(5): 183-185
- 34 Luceri C, Filippo C D, Giovannelli L, *et al.* Radiat Res, 2005, **164**(3): 277-285
- 35 Chemeris N K, Gapeyev A B, Sirota N P, *et al.* Bioelectromagnetics, 2006, **27**(3): 197-203
- 36 尹金玲, 张天许. 中国工业医学杂志, 2005, **18**(5): 305-306
YIN Jinling, ZHANG Tianxu. Chin J Ind Med, 2005, **18**(5): 305-306
- 37 Polak A, Franek A, Taradaj J, *et al.* Pol Merkuriusz Lek, 2006, **20**(117): 350-354
- 38 许溟宇, 赵锐, 黄瑾, 等. 中华劳动卫生职业病杂志, 1999, **17**(6): 335-337
XU Mingyu, ZHAO Rui, HUANG Jin, *et al.* Chin J Ind Hyg Occup Dis, 1999, **17**(6): 335-337
- 39 Dovrat A, Berenson R, Bormusov E, *et al.* Bioelectromagnetics, 2005, **26**(5): 398-405
- 40 汪峰, 周学君, 余争平, 等. 眼外伤职业眼病杂志, 2006, **8**(4): 569-572
WANG Feng, ZHOU Xuejun, YU Zhengping, *et al.* Chin J Ocular Trauma and Occupational Eye Disease, 2006, **8**(4): 569-572

Effects of electromagnetic radiation on organism

XIA Hongjie^{1,2} WANG Dewen²

¹(Institute of Radiation Medicine, Academy of Military Medical Sciences, Beijing 100850, China)

²(Department of Integrated Traditional Chinese Medicine and Western Medicine for Rehabilitation, General Hospital of Chinese Peoples Armed Police Force, Beijing 100039, China)

ABSTRACT The study on bio-electromagnetics can be traced back to as early as 1789, The understanding of its nature and application has been increasing with technological development studies at home and abroad. It has been suggested that electromagnetic radiation can induce different injury to human organs including central nervous system, incretion, cardiovascular system, procreation, hematopoietic system, immunity, vision and so on. However, the studied results obtained by scientists with different method and bio-model show very complex and some show inconsistent. This paper is to summarize the studies of effects on various organs by microwave.

KEYWORDS Electromagnetic radiation, Organism, Radiation effects

CLC Q691, R122, Q345