

基站和无线网络射频暴露与健康

银 华,高芬芳,安 艳

中图分类号: R135.99 文献标识码: A 文章编号: 1004-714X(2009)03-0379-03

射频 (radiofrequency, RF)就是射频电流,它是一种高频交流变化电磁波的简称。将电信息源 (模拟或数字的)用高频电流进行调制 (调幅或调频)形成射频信号,经过天线发射到空中;远距离将射频信号接收后进行反调制,还原成电信息源,这一过程称为无线传输。二十世纪初,无线电技术的迅速发展,得力于人们对电磁波的不断深化认识,同时人们对电磁波的应用也不断扩大。自从电磁波发现以来,他的应用得到了飞速的发展。1895年俄国科学家波波夫发明了第一个无线电报系统,1914年语音通信成为可能。1920年商业无线电广播开始使用,20世纪30年代发明了雷达,40年代雷达和通信得到飞速发展,自50年代第一颗人造卫星上天,卫星通讯事业得到迅猛发展。如今电磁波已在通讯、遥感、空间探测、军事应用和科学研究等诸多方面得到广泛的应用。

目前全球已经有20%大约14多亿人口依赖于移动通讯技术,这样我们的生活就被日常存在的电磁场 (electromagnetic fields, EMFs)所包围,也被称为“电子污染 (electrosmog)”。因此,长期慢性暴露于各种低水平 RF源的健康问题逐渐成为人们非常关注的一个焦点话题。

1 RF暴露水平

通过无线摩尔斯电码、无线电通讯、电视和无线电话技术等, RF波长期以来已经广泛应用于不同方式的信息交换。无

线电波波谱范围从调幅 (AM)的0.5MHz到雷达的30000MHz。RF发射装置在家里、办公室和学校随处可见。表1概括了现代生活中各种 RF源对环境中的无线电波本底的贡献^[1]。有报道指出在美国^[2]和欧洲^[3]即便是在发射天线附近 RF水平也远远低于允许暴露标准。手机的普遍使用,使无线接入网络持续扩张,比如无线局域网 (WiFi)已经进入家庭、学校、办公区和社区。随着手机用户的增多,商业竞争的激烈,以及能够处理图像、音乐、视频流等多种媒体形式,提供包括网页浏览、电话会议、电子商务等多种信息服务的第三代数字通信 (3G)等新通信技术的要求,基站数量也随之增加。人们的生产生活中越来越多地依赖于移动电话技术,由于手机机体操作与身体近距离接触、大量的基站天线用于满足广大消费者的业务需要, RF暴露的健康问题就越来越引起公众、管理者和科研人员的关心。

电磁辐射大小取决于源的类型,根据 RF源或天线的有效辐射能决定,表2给出了不同 RF源的发射功率^[1],表3比较了 RF源和非 RF源的辐射能和电磁场^[1],电磁能流水平越高电磁波能量越高,高于手机波段 RF最大允许值的可见光和红外线的能量就远远高于手机。人体本身可以发射红外辐射能,通过“夜视”照相机可以观察到, RF能量约为0.003W/m²^[1]。表3中可以看出,手机和基站的电磁辐射能都远低于一般的电磁辐射能源和特殊的 RF源^[1]。

表 1 各种 RF源对环境中无线电波本底的贡献

RF源	频率 (MHz)	潜在暴露可能性
AM商业无线电通讯	0.5~1.7	普遍存在
电离层研究计划 (高频活动电离层研究计划 HAARP)	2.8~10	地方性存在
调频 (FM)商业无线电通讯	88~108	普遍存在
甚高频商业频段 (VHF 模拟)	54~88, 174~216	普遍存在
超高频商业频段 (UHF 模拟、数字)	512~700	普遍存在
海上移动通讯、用电波探测器探测、无线电导航	0.003~0.3	地方性存在
雷达 (空军、海军、警察、陆军)	10 000~33 000	地方性存在
毫米波雷达 (气象、军事)	~100 000	地方性存在
卫星传播 (全球定位系统 GPS 军事)	220~400	普遍存在
卫星传播 (电视)	4 000~6000	普遍存在
无线电报、国际短波广播	~50	普遍存在
模拟手机	806~890	普遍存在
手机、全球通系统 GSM (亚洲、欧洲)	890~960	普遍存在
数字手机	1850~1990	普遍存在
发射无线电: 呼机、航空、航海、火灾、急救、警察	900~950	普遍存在
固定微波接力线路 (计算机、电视、电话、军事)	> 30 000	地方性存在
无绳电话、儿童监护、无线电玩具、无线电遥感	27~60, 900, 2400, 5800	地方性存在
计算机监测、无线计算机连接、RF标签识别 (蓝牙、WiFi)	~1 900, ~2 500, ~5 700	地方性存在
遥控、照明调光器控制技术、开门器、监视装置	宽带	地方性存在
微波炉、电热疗机	2 450	地方性存在
工业、科技、医疗 (ISM) 频段数据传输器	~2 400, ~5400	地方性存在
噪声 (照明、太阳耀斑、荧光灯、霓虹灯、电线电晕放电等)	宽带	普遍存在

基金资助: 苏州大学放射医学与防护省级重点实验室开放课题资助项目 (KJS???)资助

作者单位: 1 苏州大学纺织与服装工程学院, 江苏 苏州 215021;
2 中国辐射防护研究院, 山西 太原 030006; 3 苏州大学医学部放射医学与公共卫生学院, 江苏 苏州 215123

作者简介: 银华 (1975~)男, 贵州省纳雍县人, 工程硕士, 研究方向 机电一体化、电磁辐射防护

通讯作者: 安艳, 研究员。

表 4列出了家庭和办公场所各种 RF能源的频率范围和最大输出能量^[4], 国际非电离辐射防护委员会 (ICNIRP)规定的电磁场公众允许暴露水平是 30~60V/m^[5]。国际上有两大主流标准, 一个是 ICNIRP标准^[5], 另一个标准是美国的电气电子工程师协会 (IEEE)标准^[6]。室内各种 RF源 20cm处最大电磁场均远低于 ICNIRP规定的电磁场公众允许暴露水平^[5]。美国、澳大利亚、加拿大和韩国采用 IEEE C95.1标准, 而欧盟、

日本等采用 ICNIRP 导则。

表 2 电磁波源发射功率

源	能量 (W)
手机机体	~0.6
灯泡 (可见或红外)	100
业余无线电天线	1 000
手机基站天线	1 200
AM 无线电台发射机	50 000
FM 无线电台发射机	100 000
UHF TV 发射机	1 000 000

表 3 广谱源电磁场入射能

源	辐射能量 (W/m ²)	电磁场 (V/m)
中午阳光	1 370	
距离 1500W 电热器 1m	480	
37℃ 黑色物质表面 (λ max~10μm)	520	
微波炉 RF 标准	50	140
距离 100W 灯泡 1m	8	
2GHz 手机标准	10	61
850GHz 手机标准	4.3	40
手机基站附近 RF 水平	0.05	4.3
城市平均 RF 水平 (TV 和无线电)		0.4~0.7
城市平均 RF 水平 (移动通讯)		0.1~0.3

表 4 室内各种 RF 能源的频率范围和最大输出功率

RF 源	RF 频率范围 (MHz)	最大输出 功率 (mW)	20m 处最大 电磁场 (V/m)
数字增强型无线通信	1 880~1 900	250	11.5
无线外网互联 (蓝牙)	2 402~2 480	100	3.1
无线局域网 (IEEE 802.11b/g)	2 400~2 484	100	3.9
无线局域网 (IEEE 802.11a/h)	5 250~5 350 5 470~5 725	200	3.9
无线个人计算机外网	27~2 400	10	<1.5
儿童监视装置	27~2 400	500	8.5
手机基站 RF	900~1 800	—	0.1~1.0

2 RF调制

调制是指用一个信号 (调制波) 去控制一个电振荡 (载波, CW) 的参量过程。通过调制 (调频、调相、调幅) 可将信息加载于无线电波之上。随着手机技术的不断发展, 调制方式也越来越复杂, 那么高频调制 RF 波是否比正弦 RF 波更具健康危害潜能? 基础物理在各个系统的应用尤其是在生物学方面的应用, 指出调制不可能导致意想不到的 RF 与离子、分子、细胞或器官系统的相互作用^[7]。调制通过频率传播来携带 RF 信号, 但是网络 RF 信号的频率带宽只占载波中心范围很窄的一部分, 调制电磁波主要是高频载波而不是低频调制方式。表 5 列出了各种 RF 场的调制特征^[8]。

电磁场与生物体的相互作用是从物理到生物的一个复杂过程。电磁场的生物效应需要依靠生物学和医学的研究结果来验证, 关于手机频率范围 RF 调制和一般 RF 暴露致肿瘤作用, Elder 等^[9]综述了使用啮齿类动物的 36 篇研究报道 (表 6)。根据 RF 调制类型、频率和能量的不同, 36 篇论文共报道了 68 个独立实验, 所用的实验动物主要为大鼠和小鼠, RF 频率范围 435—9 400MHz。大多数实验结果是阴性, 近来几个实验设计更好的实验仍是没有观察到 RF 的致肿瘤作用。虽然, 表 6

中有 7 个阳性结果的实验报道, 但是作者都没有得出实验剂量—效应关系以及实验的一致性和可再现性。

到目前为止, 根据手机 RF 对人体的可能作用机制尚不清楚调制 RF 导致不利作用的具体途径。

表 5 各种应用中 RF 场调制特点

技术	典型调制	比率、带宽 /载波频率	峰 /平均 振幅	应用 {带宽频率 (GHz)}
AM 广播	振幅	很小, << 1	~2	AM 无线电 {~0.001}—
FM 无线电、电视	频率	很小, << 1	~1	FM 无线电 {~0.1}
移动通讯	脉冲和频率	很小, << 1	~10	UMTS GSM TDMA CDMA {~0.4—2}
雷达	脉冲	适中, < 1	100	机场雷达 {~4}
超宽带、展带	短脉冲	大, ~1	100	军事应用 {~2—20}

表 6 RF 调制致肿瘤的动物实验报道情况

中心频率 (MHz)	调制类型	实验次数	肿瘤发生	
			上升	不变
800~9 400	CW	15	3	12
915	AM	5	0	5
836~903	FM	4	0	4
435~2 450	PW	3	1	2
848~1 763	CDMA	5	0	5
849	DAMPS	1	0	1
836	FDMA	1	0	1
900~902	GSM	22	3	19
836~1 500	TDMA	9	0	9
1 616	金衣	2	0	2
5 680	UWB	1	0	1
试验总数		68	7	61

3 RF的潜在健康危害

3.1 癌症 许多细胞水平的研究都没有发现 RF 场对 DNA 的损伤, 包括动物实验在内的生物资料, 目前为止尚无 RF 场暴露导致癌症危险度上升的报道^[10]。就基站本身而言, RF 水平远远低于与文献中报道的观察到任何生物作用的暴露水平。世界卫生组织 (WHO) 下属的国际癌症研究机构 (IARC) 正在组织在 13 个国家之间使用相同的调查方法开展一项有关手机使用与癌症的综合性调查研究, 项目名称叫“对讲机 (INTERPHONE)”, 采用病例对照研究调查区域内 30—59 岁之间的手机使用者头颈部肿瘤的发生情况。由于 RF 暴露水平根据每一位接受调查的人员自己每天使用手机时间的记录来估算, 因此是可信的。调查资料来源于所有接受调查人员的大量数据, 所以结果是相当有统计学说服力的。比如 Schönmäke 报道^[11]对北欧 4 国和英国采用相同的调查程序, 对手机使用者和听神经瘤危险度之间关系进行的 6 个人群的病例对照研究, 结果终生使用模拟或数字型手机与听神经瘤危险度无关。最近来源于 INTERPHONE 的调查指出对日本^[12]、德国^[13]以及北欧 5 国中期的分析结果^[14]均未发现手机使用与听神经瘤或脑瘤危险度之间关系。虽然有一些关于手机使用与肿瘤尤其是头部肿瘤的报道, 但是这些研究都无法给出 RF 暴露与健康危害的直接证据^[15-16]。英国 1 项连续 4 年的跟踪调查指出长期正常使用手机与常见的头部肿瘤神经胶质瘤危险度无关^[17]。德国的 1 项调查虽然指出神经胶质瘤危险度上升, 但是并无统计学意义, 作者指出手机使用者神经胶质瘤或脑膜瘤危险度均无额外升高^[18]。还有一种研究方法就是比较短期内疾病发生率的趋势与手机使用频度之间的相关性, 如果听神经瘤发生率上升与

手机使用频度之间是平行或是滞后的情况下, 这种短期的趋势很有可能与 RF暴露有关。但是对英格兰和威尔士地区听神经瘤发生趋势的调查表明并不滞后于使用手机流行期^[19]。有些流行病学调查研究商业无线电发射塔附近测量的 RF暴露水平的潜在癌症危险度, 这些研究结果都没有得出发射机 RF暴露与癌症或其它健康危害有关的阳性结果^[20]。

3.2 非肿瘤健康危害 有报道指出 EMF暴露与心血管功能改变相关, 但是该资料来源于广播电台的话务员^[21], 即职业暴露。但是对于公众暴露于非常低水平的基站 EMF目前尚无有关导致健康危害的明确证据^[22, 23]。

3.3 潜在的神经行为作用 自愿者暴露于手机的低水平 RF场对大脑的功能和神经行为影响的研究表明, 可以导致非特异性综合症, 常见的是失眠、疲劳、头晕、消化障碍、注意力难集中。但是, 通过严密设计或双盲调查 RF暴露却与上诉症候群无关。因此, 认为这些症候群的产生很有可能来源于事先存在对暴露于 RF的恐惧心理, 而非 RF暴露本身引起。到目前为止, 暴露水平相当于手机接近人头部时, 只是有一些轻微的或者暂时的不良影响的报道, 而对于健康危害尚无明确报道^[24], 而手机基站对公众的 RF暴露水平远远低于手机接近人头部时的暴露水平。

Fox^[25]等综述了电磁波超敏反应, 正在开展的一个通过相对盲目或双盲激发的广泛系统研究个体对于 EMF存在引起的潜在超敏反应, 中期分析结果未发现 EMF对超敏反应具有加强作用, 也就是说微电磁场可能不是导致神经系统症候群的主要起因^[26-28]。Markova等^[29]比较了 EMF超敏反应患者和正常病人血细胞中淋巴细胞对 GSM手机 RF的反应, 未发现任何差异。Seiv^[30]的研究同样指出目前尚无手机电磁辐射暴露对人类神经行为损害的有确实根据的证据。但, 重要的是我们一定要认识到人类超敏反应这一多种非特异性症候群。近来 WHO发行了与手机基站和其它 EMF设施 RF场有关的非特异性症候群情况说明书^[31]。另外, Fox^[32]小组发表了一篇在英国连续分析电磁波超敏反应的文章。

到目前为止尚无基站或无线网络信号发射系统导致短期或长期健康危害的证据。事实上, 人体从 FM无线电波和电视频率(约 100MHz)吸收的 RF能量要比从基站频率(1—2GHz)吸收能量大约高 5倍以上, 并且无线电和电视广播站已经存在 50多年。

4 小结

综上所述, 根据当前国际、国内使用的电磁辐射防护标准, 基站 RF暴露以及手机 RF水平还没有导致健康危害的确凿证据。但是并不说明在现有的防护标准基础上就是安全的。电磁场作用于生物体(细胞和生物介质)能引起热效应(thermal effect)即使其温度升高, 并由此而引起的生理和病理变化, 同时电磁场也可以通过使生物体温度升高的热作用以外的方式改变生理生化过程, 即非热效应(non-thermal effect)^[33], 也称为场的特异性效应。电磁场对生物体的热效应已得到了确认。目前在国际上具有代表性的电磁辐射防护标准为 ICNIRP等则和 IEEE C95.1^[34], 均是在电磁场热效应的基础上制订出最大容许暴露水平或限值水平的, 并没有完整包含非热效应在内的电磁场生物效应。国内现行电磁辐射防护标准包括“卫生标准”和“环保标准”, “卫生标准”对非职业人员(公众)可能受到的工频电磁场的照射没有给予应有的考虑, 而“环保标准”没有充分考虑到不同频率的电磁场对人体热作用的不同以及近场与远场的区别。由于移动通信基站和广播电视发射设备等电磁辐射源已进入人们的日常生活, 生活在这些区域的人群可能受到长期、低强度电磁场的照射。现行的国内外的基于短时热效应的电磁辐射防护标准已不适用于变化的新形势。因此, 应综合考虑电磁场的热效应、非热效应和流行病学的最新研究成果, 制订适合目前新形势的国家电磁辐射防护标准。同时,

RF对人类健康危害也有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Valberg PA, van Deventer TE, Repacholi MH. Workgroup report: base stations and wireless networks—radio frequency (RF) exposures and health consequences [J]. *Environ Health Perspect* 2007; 115(3): 416—424.
- [2] Burch JB, Clark M, Yost MG, et al. Radio frequency non-ionizing radiation in a community exposed to radio and television broadcasting [J]. *Environ Health Perspect* 2006; 114: 248—253.
- [3] Foster K. Radio frequency exposure from wireless LANs utilizing Wi-Fi technology [J]. *Health Physics* 2007; in press.
- [4] Kijhn S, Kramer A, Lott U, Kuster N. Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Radiation from Wireless Devices in Home and Office Environments [EB/OL]. Available: http://www.whoint/peh-emf/meetings/archive/baw_kuster/Pdf/ [accessed 7 October 2006], 2006.
- [5] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz) [J]. *Health Phys* 1998; 74(4): 494—522.
- [6] IEEE International Committee on Electromagnetic Safety (SCC39). IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields 3kHz to 300GHz [M]. USA: The Institute of Electronics Engineers, 2006.
- [7] Valberg PA. Modulated RF Energy: Mechanistic Viewpoint on the Health Implications [EB/OL]. Available: http://www.whoint/peh-emf/meetings/archive/valberg_baw/Pdf/ [accessed 7 October 2006], 2006.
- [8] Foster KR, Repacholi MH. Biological effects of radiofrequency fields: does modulation matter? [J]. *Radiat Res* 2004; 162: 219—225.
- [9] WHO. WHO EMF Research Database [DB/OL]. Geneva: World Health Organization. Available: <http://www.whoint/peh-emf/research/database/en/> [accessed 7 October 2006], 2006.
- [10] Vijayalakshmi Obe G. Controversial cytogenetic observations in mammalian somatic cells exposed to radiofrequency radiation [J]. *Radiat Res* 2004; 162: 481—496.
- [11] Schoemaker MJ, Sverdlow AJ, Ahlbom A, et al. Mobile Phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Inter-Phone case control study in five North European countries [J]. *Br J Cancer* 2005; 93: 842—848.
- [12] Takebayashi T, Akiba S, Kikuchi Y, et al. Mobile Phone use and acoustic neuroma risk in Japan [J]. *Occup Environ Med* 2005; 63: 802—807.
- [13] Berg G, Spallek J, Schuz J, et al. Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: interphone study group Germany [J]. *Am J Epidemiol* 2006; 164(6): 538—548.
- [14] Lahkola A, Auvainen A, Rajanen J, et al. Mobile Phone use and risk of glioma in 5 North European countries [J]. *Int J Cancer* 2007; 120(8): 1769—1775.
- [15] Ahlbom A, Green A, Kheifets L, et al. Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure [J]. *Environ Health Perspect* 2004; 112: 1741—1754.
- [16] Lonn S, Ahlbom A, Hall P, et al. Long-term mobile Phone use and brain tumor risk [J]. *Am J Epidemiol* 2005; 161: 526—535.
- [17] Hepworth SJ, Schoemaker MJ, Muir KR, et al. Mobile

Phone use and risk of glioma in adults: case—control study [J]. BMJ 2006 332 883—887.

[18] Schuz J, Bohler E, Berg G, et al. Cellular Phones, cordless Phones, and the risks of glioma and meningioma (NTERPHONE study group, Germany) [J]. Am J Epidemiol 2006 163 512—520.

[19] Nelson PD, Toledano MB, McConville J, et al. Trends in acoustic neuroma and cellular phones: is there a link? [J]. Neurology 2006 66 284—285.

[20] Jauchem JR. A literature review of medical side effects from radio—frequency energy in the human environment involving cancer tumors and problems of the central nervous system [J]. J Microw Power Electromagn Energy 2003 38 103—123.

[21] Vangebova K, DeYanov C, Israel M. Cardiovascular risk in operators under radiofrequency electromagnetic radiation [J]. Int J Hyg Environ Health 2006 209 133—138.

[22] Feychting M. Non—cancer EMF effects related to children [J]. Bioelectromagnetics 2005 26(suppl 7): S69—S74.

[23] Feychting M, Ahlbom A, Kheifets L. EMF and health [J]. Annu Rev Public Health 2005 26 165—189.

[24] Cosquer B, Kuster N, Cassel JC. Whole—body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter 12—am radio—induced access to spatial cues in rats [J]. Behav Brain Res 2005 161 331—334.

[25] Fox E. Health Effects of Mobile Phone Base—Stations: Human studies EB/OL. Available: http://www.who.int/y-peh—inf/meetings/archive/fox_bsw/Pdf/ [accessed 7 October 2006], 2006.

[26] Rubin GJ, Das Munshi J, Wesely S. Electromagnetic hypersensitivity: a systematic review of provocation studies [J]. Psychosom Med 2005 67(2): 224—232.

[27] Rubin GJ, Das Munshi J, Wesely S. A systematic review of treatments for electromagnetic hypersensitivity [J]. Psychother Psychosom 2006 75 12—18.

[28] Rubin GJ, Hahn G, Everitt BS, Cleare AJ, Wesely S. Are some people sensitive to mobile phone signals? Within participants double blind randomized provocation study [J]. BMJ 2006 332 886—891.

[29] Markova E, Hillert L, Malmgren L, et al. Microwaves from GSM mobile telephones affect 53 BP1 and gamma—H2AX foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons [J]. Environ Health Perspect 2005 113 1 172—1 177.

[30] Seiz H, Stinner D, Eikmann T, et al. Electromagnetic hypersensitivity (EHS) and subjective health complaints associated with electromagnetic fields of mobile phone communication: a literature review published between 2000 and 2004 [J]. Sci Total Environ 2005 349 45—55.

[31] WHO. Electromagnetic Hypersensitivity EB/OL. Geneva: World Health Organization. Available: <http://www.who.int/med/acentre/factsheets/fs296/en/> [accessed 7 October 2006], 2006.

[32] Eltiti S, Wallace D, Zougkou K, et al. Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire [J]. Bioelectromagnetics 2007 28 137—151.

[33] 刘亚宁. 电磁生物效应 [M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2002 34—48.

(收稿日期: 2009—03—04)

【工作报告】

三维水箱系统和剂量分布仪测量结果比较

周献锋, 曹兴江, 张乙眉, 余宁乐

中图分类号: R144 文献标识码: D

肿瘤放射治疗是治疗和控制肿瘤的主要方法和手段之一。据世界卫生组织统计, 肿瘤发病率有逐年上升的趋势, 因此近年来我省各医院购置了肿瘤放射治疗的大型医用设备, 如医用直线加速器、X刀等, 对这些设备医院必须配备专门的医学物理人员进行严格的质量保证和质量控制, 才能保证对病人实施按计划的治疗, 从而提高肿瘤治愈率和控制率。

新修订的卫生部 46 号令《放射诊疗管理规定》已发布实施, 进一步明确了从事放射治疗工作的医疗机构应配备剂量扫描装置, 并按照国家相关标准规范定期进行照射野的均整度、对称性, 光野与照射野之间的边界偏差等指标进行检测。

过去对医用加速器的质量保证和质量控制大部分医院是用剂量仪和小水箱来进行的, 不但耗时费力, 而且精确性差, 特别是新安装机器验收或机器大修后的检测和为治疗计划系统采集准备大量的物理数据时, 此问题尤为突出。近年来由于三维水箱测量系统和剂量分布仪在检测工作中的普及运用, 为质量保证检测工作节省了大量人力物力。由于三维水箱测量系统和剂量分布检测原理不同, 两者的检测结果是否存在差异, 剂量分布仪能否在日常检测中作为三维水箱的替代, 我们对此进行了比较和探讨。

1 仪器和方法

1.1 仪器 ① Varian CLINAC 23EX 直线加速器。②三维水箱

系统: IBA bluephantom 三维水箱系统, 定位精度: $\pm 0.13\text{ mm}$; 重复性误差: $\pm 0.03\text{ mm}$; 灵敏度: $0.1\text{ nA} \sim 2\text{ nA}$; 电离室: 0.05 cm^3 (0.5 cc)。三维水箱由计算机控制的自动快速扫描系统、电离室、控制盒、计算机和软件组成, 对射线在水中相对剂量分布进行快速自动扫描, 自动折算出射野的均整度、对称性、光射野的偏差等参数。③剂量分布仪检测系统: 美国 Profile 1170 型剂量分布仪检测系统, 可实时检测出等剂量线并即时计算平坦度、对称性、光射野一致性等; Profile 1170 为一维线阵列共有 46 个半导体探头, 探测器间距均等为 5 mm , 线阵列长为 2215 mm 。

1.2 三维水箱检测方法 按检测规范放置三维水箱, 注入足够的水, 使水面在 $\text{SAD}=100\text{ cm}$ 处, 用 6 MV 光子线, 剂量率为 300 cGy/min 跳数为 100 MU 照射野开至 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 在水下 100 mm 参考深度处测量。测量射线在 Crossline (X 轴) 和 Inline (Y 轴) 两个面上的 Profile 的剂量场分布, 测量结果自动存入计算机进行处理分析, 见表 1。

1.3 剂量分布仪检测方法 按操作规范放置剂量分布仪, $\text{SSD}=100\text{ cm}$ 处, 用 6 MV 光子线、剂量率为 300 cGy/min 跳数为 100 MU 照射野开至 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$, 测量射线在 X 轴和 Y 轴两个方向的 Profile 的剂量分布, 测量结果自动存入计算机进行处理分析, 见表 1。

1.4 射野均整度和对称性 射野均整度和对称性是描述射野剂量分布均匀性的两个重要指标。均整度定义为在参考深度处, 射野的 80% 宽度内最大、最小剂量的比值。而关于中心轴