

·剂量·防护·

CT 剂量指数的测定与国际辐射防护安全标准适用性研究

赵兰才 金 辉 侯长松

(卫生部工业卫生实验所, 北京 100088)

中图分类号: R141

文献标识码: B

文章编号: 1004-714X(1999)03-0145-02

X 射线计算机体层摄影装置(CT)在我国的应用日益普及。据 1998 年 10 月进行的不完全统计,我国已投入运行的 CT 机达 3500 余台,而且以每年约 300 台的速度增加。与欧美等经济发达国家不同,我国 CT 机配置种类繁多,更新速度较慢,新式的螺旋 CT 在大中型医院竞相配备,80 年代生产、近年引进的“二手”CT 仍约占基层医院总台数的二分之一。各类 CT 扫描的大量应用必将使国民的集体剂量负担明显增加。因此适当控制 CT 检查的频度,在保证影像质量的前提下降低患者的受照剂量,已成为当前辐射防护研究的新课题。

剂量指数(CTDI)与多层扫描平均剂量(MSAD)均为表征受检者剂量的性能参数,在多数照射和测量实践中由于采用的断层厚度(T)与断层间隔(I)相同,此时的多层扫描平均剂量在数值上等同于剂量指数。国际原子能机构(IAEA)等组织 1997 年出版的《国际电离辐射防护和辐射源安全的基本标准》^[1](IBSS)为不同种类的医疗照射推荐了指导水平,CT 检查 MSAD 的指导水平为 50mGy。为了掌握不同种类 CT 机的剂量水平并为制定有关管理标准提供依据,本文使用美国医学物理学家协会(AAPM)第 39 号报告^[2]、国际电工委员会标准(IEC60601-2-44/Ed.1)^[3]推荐或规定的方法对不同厂家生产、近年安装的 7 种新型 CT 机进行了测试。对测试或收集到约 757 台包括“二手”CT 在内的 CTDI 测试数据进行了分析,并就 IBSS 标准在我国的适用性等问题进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 检测对象

7 台新型号 CT 机分别由 GE、东芝、岛津、西门子、皮克、爱尔森、飞利浦等 7 家公司生产,近 1—2 年内分别在北京、广州、哈尔滨、石家庄等市的医疗机构安装使用,检测前经过生产厂家技术人员的严格调试,检测结果反映该装置的最佳状态;其它检测对象的生产厂家除上述 7 家外,还有日立、EMI 等公司,分属近 40 种型号,安装使用时间从 85 年到 96 年,检测前一般由使用单位自行调试,检测结果反映设备的通常运行状态。

1.2 检测工具

使用美国 Victoreen 公司生产的 CT 检测装置进行检测:660-6 型笔型 CT 专用电离室,其灵敏长度为 100mm;660-1 型剂量读数装置;76-414 型头部剂量模体,直径 160mm;76-415 型体部剂量模体,直径 320mm;两种模体均在与柱面平行的中心位置开有 13mm 圆孔,放置电离室后用于测定中心点剂量;距边缘 10mm 处对称开有 4 个同直径圆孔,放置电离室后用于测量表面剂量。

1.3 实验方法

1.3.1 测量

7 台新型号 CT 机测定前预先通知生产厂家派技术人员到现场按照出厂标准进行调试。按照文献^[2,3]推荐的方法进行扫描和测量。扫描条件:电压约 120kV,层厚 10mm,层间隔 10mm,其它参数采用头部或体部最常用的条件分别测定头部剂量与体部剂量,两者均测量模体中心点(中心剂量)及边缘 4 个点,每点测量 3 次,取其算术平均值作为该点测量结果。边缘 4 点的平均值称为表面剂量。其它普通 CT 机仅测定头部剂量,取中心点测量结果作为该机的剂量指数。

1.3.2 数据处理

本文采用如下定义计算 CTDI:沿垂直于断层平面从 -50mm 到 +50mm 对剂量曲线部分,除以标称层厚与单次扫描层数 N 的乘积^[3],即:

$$CTDI_{100} = \frac{1}{N \cdot T} \cdot \int_{-50mm}^{+50mm} D(z) dz$$

式中: T 为标称层厚; N 为每次扫描产生的断层数,对单次扫描此值取 1; D(z) 为模体内沿垂直于断层平面直线积分区域内 z 点的吸收剂量。

上述定义与过去沿用的定义^[2,4,5]不同之处在于,积分区间由 -70mm 到 +70mm 改为 -50mm 到 +50mm;与目前普通应用的 100mm 电离室的灵敏长度相同,测量结果无需校正即可用于计算。

CTDI 测量结果用有机玻璃体内的吸收剂量表示:

$$D = H \times F$$

式中: D 为剂量指数, mGy; H 为经温度、气压等

修正后的剂量仪读数; F 为在 120kV 扫描条件下(有效能量 70keV), 将照射量(R)转换为有机玻璃模体内吸收剂量的转换因子。

1.3.3 质量控制

剂量测量系统及模体为 1996 年以后购置, 按有关要求^[6]经三台比对及与瑞典 RII 公司产 PMX—

表 1 部分生产厂家 CT 机 CTDI 测试结果

生产厂家及 型号	CTDI(mGy)					
	头 部			体 部		
	中心	中心 / 100mAs	表面 均值	中心	中心 / 100mAs	表面 均值
岛津 CT— 7000TX	60	16	74	15	5.0	38
西门子 PLUS4	26	13	24	8.0	4.0	16
爱尔森 CT— TWIN	33	11	36	19	5.5	38
飞利浦 TOMOSCAN AV/ E1	56	11	58	18	3.6	36
GE 公司 HISPEED CT/ I	37	11	38	9.2	3.3	16
皮克 PQ5000V	67	17	64	12	4.8	30
东芝 Xpress/ GX	41	16	43	12	4.8	23
平均值	46	14	48	13	4.4	28

在常规扫描条件下, 受检 7 台 CT 机的头部中心剂量指数范围在 26 ~ 67mGy, 均值为 46mGy; 体部中心剂量范围为 8.0 ~ 19mGy, 均值为 13mGy。剂量指数与多种扫描条件有关, 影响最大的是管电流、扫描时间。为便于在相近扫描条件下进行比较, 表 1 还列出了每 100mAs 的剂量水平, 从头部检测结果来看, 皮克 PQ5000V 的 CT 机剂量最高, 而爱尔森 CT— TWIN、飞利浦 TOMOSCAN AV/ E1 与 GE HISPEED CT/ I 三种机型最低, 均为 11mGy/ 100mAs。

7 种新型 CT 机在本次测量条件下, 有 4 种型号达到了 IBSS 标准的推荐的指导水平, 而 CT— 7000TX、TOMOSCAN AV/ E1 与 PQ5000V 三种型号 CT 机的剂量指数超过了 50mGy。

新型 CT 机代表了 CT 机的发展趋势, 尽管降低剂量已成为放射学界和放射防护界共同关心的问题, 不少生产厂家也都声称采取了包括使用高效探测器等措施, 但测量结果表明这些措施尚未完全实用化, 近半数 CT 机仍不符合 IBSS 标准推荐的指导水平要求。

2.2 新旧装置的剂量水平比较

医疗机构使用的国外或其它单位已经使用过的 CT 机一般称为二手机, 二手机在医疗卫生机构特别是基层医院占有较大比例。在沿海开放省份约占二分之一, 内陆省份及经济欠发达地区已达三分之二, 本文测试或收集到 152 台二手机的 CTDI 测试数据列于表 2。同表述列出了表 1 中新型 CT 机的统计数据, 以资比较。

比较结果表明, 二手机的剂量指数远低于新装置。这是因为使用单位多为基层医院, 为了延长 X

III、SOLIDOSE 400 型剂量仪比对, 全部装置测量结果在 5% 以内符合。

2 结果和讨论

2.1 新型 CT 机的剂量水平

7 种新型 CT 机的型号、头部及体部检测结果见表 1。

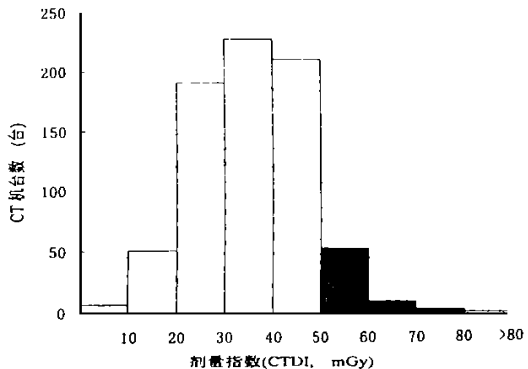
射线管的使用寿命, 多数单位降低了使用条件, 虽然旧装置从剂量指数上分析多数可以达到 IBSS 标准要求, 但使用过低的扫描条件往往降低了 CT 机的空间分辨力及低对比度分辨力等性能指标, 影响到影像的诊断质量。

表 2 新旧装置 CTDI 的比较

种类	台数	CTDI(mGy)
新装置	7	46
旧装置	152	37

2.3 总体剂量指数分布

对 757 台各种类型新旧 CT 机的测量结果进行统计分析, 剂量指数平均值为 35.9mGy。不同剂量指数区间的台数分布如附图。



附图 不同剂量指数的台数分布

如附图所示, 大部分 CT 机的剂量指数分布在 20 ~ 50mGy, 约占总台数的 83%。低于 10mGy 者仅 7 台; 而高于 50mGy 者(图中带斜线者)69 台, 占总台数的 9%。(下转 150 页)

换系数,取 0.7SvGy^{-1} ;

Q: 居留因子,室内取 0.87,室外取 0.13;

Da: 室内外空气吸收剂量率按人口加权平均值。

在居留因子的估算中,据调查资料表明,国内各类人群约有 89% 以上的时间是在室内度过的^[4],考虑到世界平均值和我国同类资料的取值,以及图书馆工作人员和读者在室内呆的时间较长,室外活动时间较短,在此处居留因子室内取 0.87,室外取 0.13。

2.3.2 年有效剂量

在北京市,宇宙辐射电离成分所致人均年有效剂量约为 $250\mu\text{Sv}$ ^[5,9],中子成分产生的年有效剂量暂取文献^[7]中我国居民所受的人均年有效剂量值 $57\mu\text{Sv}$ 。医学图书馆工作人员同样受到宇宙射线的照射,故宇宙射线致人均年有效剂量取 $307\mu\text{Sv}$ 这一数值,其集体年有效剂量为 $2.76 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。通过上述计算,综合上述两种方法的结果得出:图书馆工作人员受到地球 γ 辐射所致的人均年有效剂量为 $481\mu\text{Sv}$,集体年有效剂量为 $4.32 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。天然贯穿辐射所致的人均年有效剂量为 $788\mu\text{Sv}$,集体年有效剂量为 $7.09 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。

3 小结

通过对解放军医学图书馆的调查结果表明,使用 HZNF-1 便携式智能辐射仪测量瞬时剂量率,同时使用热释光法测量累积剂量,两者的结果在某些

方面有一定的差异,但总的说来,两者是相一致的。综合两种方法的结果得出:图书馆工作人员受到地球 γ 辐射所致的人均年有效剂量为 $481\mu\text{Sv}$,集体年有效剂量为 $4.32 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。天然贯穿辐射所致的人均年有效剂量为 $788\mu\text{Sv}$,集体年有效剂量为 $7.09 \times 10^{-1}\text{man. Sv}$ 。

参考文献:

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. New York: United Nations, 1993.
- [2] 郭勇,金冈年,梁德明,等.电离辐射与人类生活.第一版.北京:原子能出版社,1990,18.
- [3] 北京环境保护科学研究所.北京市特殊环境天然放射性水平的调查.1989.
- [4] 侯悦.军队卫生学.第4版.北京:人民军医出版社,1998,159.
- [5] 潘自强,郭明强,崔广志,等.中国天然辐射本底水平和居民剂量估算.辐射防护,1992,12(1):251-259.
- [6] 北京环境保护科学研究所.北京市环境陆地 γ 辐射剂量水平调查.1989.
- [7] 潘自强.中国国民剂量初步评价.辐射防护,1997,17(2):81-101.

收稿日期:1999-03-09

(上接 146 页)

2.4 IBSS 标准的适用性

IAEA 等 6 个国际组织对 CT 多层扫描平均剂量 (MSAD) 的推荐水平为 50mGy ,在检测中由于层厚和间隔相等,MSAD 在数值上等同于 CTDI^[7],由对图 1 的分析可知,757 台 CT 机中 91% 的 CT 机符合推荐水平要求。因此,从总体应用状况来看,IBSS 标准的推荐水平在我国是适用的。

从 7 台新型 CT 机中有 3 台超过了 50mGy 的指导水平。在使用 CT 装置检查的照射实践中,剂量学指标首先应服从于影像质量保证要求。随着 CT 机日益向功能化发展;在某些特殊的诊断中需要较大剂量的照射,应被视为允许的。IBSS 标准中指出:如果可靠的临床判断指明要求采用大的照射,则可以灵活地加以应用^[1]。因此,我国在制定相关标准和法规时应与 IBSS 同样将 50mGy 定为指导水平,不应定为强制执行的剂量限值。

此外,为了满足影像质量保证的要求,仅仅给出指导水平的上限是不够的,过低的剂量将严重影响空间分辨率及低对比度分辨率等性能指标。从剂量分布数据并结合临床照片评估结果分析,剂量指数应保持在 $20 \sim 50\text{mGy}$ 为宜。

(徐家兴教授、章宗穆教授、李铁教授、吴毅教授等参加部分工作并给予指导,以周连江、王黎云等教授为首的检测组提供了部分数据,谨此致谢。)

参考文献:

- [1] 国际原子能机构.国际电离辐射防护和辐射源安全的基本标准(安全丛书 No. 115),维也纳,1997,20-266.
- [2] AAPM Report No. 39. Specification and acceptance Testing of computed tomography scanners. 1993. NY.
- [3] IEC 60601-2-44. Ed. 1; Particular requirements for the safety of X-ray equipment for computed tomography. 1998.
- [4] IEC 1223-2-6; Constancy tests—X-ray equipment for computed tomography. 1994.
- [5] 尉可道. CT 剂量的测量及其表达.中华放射医学与防护杂志,1997,17(5):347.
- [6] 中华人民共和国国家计量技术规范.产品质量检验机构计量认证技术考核规范(JJG 1021-90).北京:中国计量出版社,1990.
- [7] 吴毅,杜国生,田中青. X 射线计算机断层摄影 (CT) 受检者剂量检测方法的研究.辐射防护,1998,18(3):185.

收稿日期:1999-05-25