

PET/CT防护检测及评价

刘建军, 张 雷, 王 艳, 张奇志

中图分类号: R142 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)04-0385-02

【摘要】目的 对一台 PET/CT防护进行检测, 以评价该实践对职业人群和公众的辐射影响。方法 分析 PET/CT工作场所的辐射源项, 在最大工作条件或典型工作条件下, 检测中子、X射线和 γ 射线的外照射水平, 并根据检测结果估算职业人员和公众的年剂量水平。结果 各检测点的中子外照射未检出, X射线和 γ 射线外照射水平在 $0.08 \sim 47.5 \mu\text{Sv/h}$ 之间, 对职业人员和公众所致的最大附加年剂量分别为 $948 \mu\text{Sv}$ 和 $21.6 \mu\text{Sv}$ 。结论 该实践所致的工作人员和公众的照射剂量符合国家相关标准的要求。

【关键词】PET/CT防护; 检测; 评价

电离辐射技术在医学上的广泛应用是 20 世纪引人注目的杰出成就, 百年来放射诊断学技术不断发展, 新技术和新设备层出不穷, 极大地满足了临床诊断的多样性要求。PET/CT作为一种最先进的诊断学技术, 已在全国各地多家医院引进, 它包括一套回旋加速器和一套 PET/CT扫描系统。在其放射学实践中, 存在多种放射源项, 2006 年 9 月间, 我们对某医院新安装的一套 PET/CT的防护情况作了检测, 现将结果报告如下。

作者单位: 湖南省劳动卫生职业病防治所, 湖南 长沙 410007
作者简介: 刘建军, 男, 从事放射卫生防护工作。

3 讨论

多年来, 有关低剂量电离辐射对放射工作人员健康影响的调查研究较多。结果显示, 长期小剂量照射对人体健康会产生一定的损伤。人体造血系统是射线的敏感靶器官系统, 职业受照群体的外周血细胞效应一直是人们关注研究的重点之一。外周血象异常改变是放射损伤的早期主要的临床改变之一, 所以血象检查作为放射工作人员健康检查的主要项目。放射从业人员在日常的放射工作环境中工作对血细胞参数的影响, 也越来越多引起人们的关注, 不少学者对低剂量辐射对人体造血系统的影响进行了观察分析, 但结果不尽相同。据报道, 在我国现行的《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中规定的放射工作人员平均年剂量内工作人员, 其造血系统最显著的变化为白细胞总数下降, 且平均年受照剂量水平不同时结果不同, 相对高剂量组白细胞降低的发生率明显高于低剂量组, 而红细胞计数、血红蛋白及血小板计数基本上无差异^[1]。低剂量电离辐射可导致放射工作人员的白细胞、血红蛋白及血小板三项指标异常率增加, 特别是血红蛋白异常率^[2]。另外有报道, 不同时期外周血象及异常检出率的调查显示, 随着接触放射性年度的增加, 放射工作人员白细胞均值增加 ($P < 0.01$), 白细胞异常发生率明显下降, 且差异有显著性 ($P < 0.05$)^[3]。但也有调查报告表明, 放射从业人员与对照组人员的血细胞分析参数在总体上差异无显著性, 正常的放射工作环境不会对工作人员的造血系统功能产生明显的影响^[4]。

笔者通过对 1994 年及其 2004 年我省放射工作者体检结果进行统计分析显示, 不同时期放射工作人员外周血象的白细胞、血小板计数和血红蛋白三项指标的均值均在正常范围内。放射组白细胞和血小板均值随年度增加而增高, 2004 年度高于 1994 年度, 差异有显著性意义 ($P < 0.01$), 外周血白细胞、血小板异常检出率随年度增加而降低, 与侯殿俊等对放射工作人员外周血液学动态观察的结果相一致^[5]。这是否和近年来随着我省放射防护管理的加强, 放射环境的改善及放射工作者自我防护意识的提高, 放射工作人员受照剂量水平近十年间人均

1 材料与方法

1.1 检测设备 德国 BERTHOLD 公司生产 LB123 多功能辐射防护监测仪, 北京核仪器厂生产的 FJ-342G1 中子雷姆仪, 上述仪器均经中国计量科学研究院检定, 并处于有效期内。

1.2 检测方法 在该工作场所及周围区域的防护测量时, 探测器灵敏体积中心在距地面 1m 高度处进行测试, 每个检测点检测 5 个数据, 求平均值后进行计算。本建设项目的辐射源项有多个, 分布在不同的房间, 不同时间内各处的辐射源项不同, 测量时, 分别选择各辐射源的最大工作条件或典型工作条件下进行检测。

年有效剂量逐渐下降, 尤其是近二年来明显降低^[6], 工作场所的放射剂量水平平均低于国家规定限量值时, 工作人员平均年受照剂量水平不同结果也不同有关, 需进一步探讨。放射组与对照组比较, 放射组白细胞均值低于对照组, 白细胞异常检出率仍高于对照组, 差别均有显著性 ($P < 0.01$), 而血小板均值高于对照组, 差别均有显著性 ($P < 0.01$), 血红蛋白含量无显著性差异。

以上结果表明, 尽管近年来放射工作场所辐射剂量水平低于国家规定限量值, 但放射工作人员仍存在一定的外周血细胞辐射效应。进一步加强射线工作者的健康管理、放射卫生监督监测, 改善放射工作人员作业环境, 加强个人防护, 将是一项长期的任务。另外, 由于低剂量长期电离辐射对人体的作用是一个比较缓慢的过程, 其作用机制以及所产生的后果还不确定, 因此必须对其进行长期的动态观察, 积累小剂量电离辐射对人体作用的效应资料, 以便探讨其作用机理。

参考文献:

- [1] 陈贵智, 郭晓琴, 杨树春, 等. 医用诊断 X 射线工作者对辅助敏感指标的观察[J]. 中国辐射卫生, 2005 14(1): 61-62
- [2] 陈正其, 姚洪章, 刘定理, 等. 低剂量电离辐射对放射工作人员健康影响的调查[J]. 中国辐射卫生, 2005 14(2): 124-126
- [3] 滕冲. 通州市 150 名放射工作人员健康状况分析[J]. 中国辐射卫生, 2003 12(1): 37
- [4] 陈建魁, 康树伟, 尹秀云, 等. 放射工作环境对放射工作人员血细胞参数的影响研究[J]. 中国辐射卫生, 2003 12(1): 32
- [5] 侯殿俊, 乔建伟, 李洁清, 等. 放射工作人员外周血液学动态观察[J]. 中国辐射卫生, 2003 12(2): 111-112
- [6] 田崇彬, 杨均芳, 程晓军. 河南省放射工作人员外照射个人剂量分析[J]. 中国辐射卫生, 2003 12(4): 220-222

(收稿日期: 2007-05-09)

1.3 剂量估算方法 对于某类人员某处的年附加剂量值,在该区域各检测点中取检测结果的最大值,除去本底值后,按下式对本工作场所致各类人员的年剂量进行计算:

$$H=(X-X_{\text{本底}})\cdot t\cdot U\cdot T$$

式中: H—某点某类人员处的年有效剂量, X—某处周围剂量当量率, X_{本底}—某处周围剂量当量率本底值, t—年实际工作时间, U—利用因子; T—居留因子。

2 结果与分析

2.1 一般情况 该医院位于某市高新区内, PET/CT中心位于建筑物的一层, 配备有临床、药剂、核医学、放射诊断和维修等各类工作人员 20人, 建筑面积 500m², 其西、北和顶部为普通医疗用房, 东、南两面均为空地, 该中心四周 50m 范围内无居民居住区。回旋加速器和 PET/CT机房相邻, 注射室四侧面分别为 PET/CT机房、候诊大厅、热室和缓释室。该场址环境天然 γ 辐射水平范围为 0.06~0.07μ Sv/h 属正常天然本底辐射水平。

2.2 辐射源项和工作程序

2.2.1 辐射源项 该医院的医用回旋加速器仅产生一种放射性元素 ¹⁸F 可以根据临床需要制成多种不同剂型的放射性药物。本工作场所还存在其他的放射源项, 在一个工作程序的不同时间内, 辐射源项有所变化, 详见表 1。从表 1可知, 该 PET/CT中心的辐射源项复杂, 不同的时间分布在多个地点, 射线种类和能量也各不相同。

表 1 某 PET/CT中心的辐射源项相关参数

辐射源位置	射线种类及其能量			说明
	中子	γ射线	X射线	
回旋加速器	5MeV	8MeV	—	工作时产生的泄漏辐射
放射性药物 ¹⁸ F	—	0.511MeV	—	半衰期为 110min ^[1]
受检者	—	0.511MeV	—	可移动, 检查结束后体内仍有辐射。
PET/CT扫描仪	—	0.511MeV	140kV	γ辐射来自于受检者

2.2.2 工作程序 无检查禁忌症的患者(或受检者)进入注射室, 在此接受含放射性核素 ¹⁸F 的药物注射后, 静卧 50min 以便药物在体内分布均匀, 然后进入 PET/CT机房进行显像扫描, 最长时间为 30min。显像扫描结束后, 在缓释室停留观察约 30min 观察无异常后, 从缓释室离开 PET/CT中心。每个患者(或受检者)在接受一个完整的检查程序过程中, 在 PET/CT中心的各个屏蔽室内停留的时间至少为 110min。这样, 注入其体内的放射性核素经过了一个半衰期。在该检查程序中, 护士通过注射屏蔽车给患者(或受检者)注射经放射性核素标记的药物。患者(或受检者)进入 PET/CT扫描室后, 由技师对其进行摆位、定位(时间不超过 2min), 因此, 在一个完整的检查程序中, 接受药物注射的受检者将对注射人员、PET/CT摆位人员产生照射, 同时, 他们停留期间, 将因其所停留的不同位置而对其周围环境产生额外辐射。

2.3 工作时间 根据工作需要, 回旋加速器每周最多工作两次, PET/CT每周工作两天, 每次最多检查患者(或受检者)7名, 给每位患者扫描显像的最长时间为 30min。故每周最大工作时间为 7h。PET/CT机在平时还作为普通 CT扫描, 工作 3d 每天 8h 共计 24h 故其周最大工作时间为 31h。护士通过注射屏蔽车给每位患者(或受检者)注射放射性核素标记的时间不超过 2min。PET/CT扫描技师对其每位患者(或受检者)进行摆位、定位的时间不超过 2min。其他各工作场所的工作时间详见表 2。上述工作时间均为该医院提供。

2.4 环境辐射水平现场检测结果及评价 该 PET/CT中心工作场所回旋加速器室机房外各检测点中子均未测出, 对每一区域的检测结果在各检测点中取最大值, 除去本底值, 按照 1.3 所述方法, 对本工作场所致各类人员的受照剂量进行计算, 结

果见表 2。从表 2可以看出, 本建设项目机房周围各检测点辐射水平相差悬殊, PET/CT摆位工作人员由于需要接近体内含放射性药物的受检者, 故所受到的剂量最大, 附加年剂量最大值为 948.6μ Sv。如果该摆位工作人员同时还兼做 PET/CT扫描操作, 则其年剂量值尚须另加 263.5μ Sv。故该工作场所对职业人员附加的年剂量最大值为 1.12mSv。对公众所致的最高附加年剂量为 21.6μ Sv。上述剂量值均远低于国家标准的要求。

表 2 本项目所致的各类人员的附加辐射水平¹⁾

工作场所	检测位置	最大检测值 (μ Sv/h)	周工作 时间(h)	受照 人群	计算参数		剂量估 算值(μ Sv)
					U	T	
回旋 加速器	门诊大厅等	0.08	6	公众	1	1/16	本底水平
	热室等	0.08		职业	1	1/16	本底水平
PET/CT 扫描室	候诊室	0.14	31	公众	1	1/4	21.6
	门诊大厅	0.14		公众	1	1/8	10.8
	操作室	0.24		职业	1	1	263.5
	二楼	0.14		公众	1	1	5.6
	室内定位位置	47.5		职业	1	1	948.6
注射室	候诊厅	0.18	24	公众	1	1/8	21.6
	二楼	0.14		公众	1	1/16	5.6
	注射车屏风后	15.0		职业	1	1	75
		0.15		公众	1	1/8	5.2
缓释室	候诊室	0.15	7	公众	1	1/8	120.4
	护士处置室	0.43		职业	1	1/8	26.8
	内走廊	0.76		公众	1	1	21.6
	备用间	1.24		职业	1	1/16	4.0
	二楼	0.22		公众	1	1/16	4.0

注: 1)表中检测结果值包含本底值。检测时工作条件: PET/CT机 120kV 235mA, 1s。注射室内有两个服药患者, 缓释室内有一个服药患者。

3 讨论

3.1 PET/CT机简单工作原理与用途 PET机是利用正电子湮没效应(双光子)获取脏器信息的一种核医学断层显像系统。带正电子发射的放射性药物标记化合物注入人体后, 其正电子即与组织中的负电子结合, 产生湮没辐射, 发出两个能量相等、方向相反的 γ 光子(光子能量为 511keV), 在体外用成对配套的探测器接收这些信息, 经计算机处理就可重建出这些标记化合物在体内的断层图像, 高精度地显示人体的代谢及生化活动, 并获得各种参数和代谢影像。但是在空间分辨率上, PET图像比 X射线 CT图像差, 解剖定位困难, 最理想的是将这两个图像融合, 使它们相互取长补短, 获得更全面的诊断信息。PET/CT将螺旋 CT和 PET一前一后组合起来构成复合系统, 一次扫描可得到两种图像。这两套扫描装置既可联合使用, 又可独立使用。

3.2 PET/CT机的辐射危害 放射诊断学的主要目的是进行人体解剖显像, 利用放射性药物的诊断技术在核医学中得到了广泛应用^[2], 在进行临床核医学操作时, 受照射剂量的大小取决于所采取的预防措施, 包括注射时使用注射器屏蔽, 在实施注射及在给患者和照相机定位时, 工作人员必须接近患者, 此时所受到的照射相对较高^[3], 笔者所得结果也证实了这一点。此外, 引用本数据时应该明白, 对职业人员和公众的年剂量为理论估算值, 在实际操作中, 临床情况可能会发生变化, 职业人员的年剂量应该以个人剂量监测值为依据, 故应该加强个人剂量监测, 做好个人剂量记录, 并将记录保存到职业人员退休后 30a。

3.3 PET/CT放射防护 PET/CT机作为一种最先进的医疗设备, 在我国各地陆续引进, 尽管回旋加速器本身具有良好的自屏蔽作用, 但在一个完整的检查程序过程中, 辐射源项复杂, 除常见的中子、X射线外, 还有 ¹⁸F发出的能量为 0.511MeV的 γ 射线, 在铅中的 TLV为 2m²h⁻¹, 活度为 3.7×10¹⁰Bq(1Ci)的

不同方法计算医用诊断 X射线机房屏蔽厚度的比较

易艳玲, 卓维海, 郑钧正, 刘海宽

中图分类号: R142 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2007)04-0441-02

【摘要】 目的 比较用不同方法计算医用诊断 X射线机房的屏蔽厚度。方法 用查图法、查表计算法与经验公式计算法分别对不同面积 X射线诊断机房的主、副防护墙的屏蔽厚度进行计算, 并分析比较。结果 不同方法所得屏蔽厚度计算结果对不同机房面积和不同防护墙均有一定差异; 主防护墙屏蔽厚度的相对偏差虽小, 但绝对偏差较大; 而副防护墙屏蔽厚度的偏差趋势同主防护墙相反。结论 为实践放射防护的最优化, 有必要进一步探讨更为恰当和简便的屏蔽防护设计方法。

【关键词】 医用诊断 X射线机; 机房; 屏蔽设计; 计算

随着医用诊断 X射线的日益广泛应用和普及, 其机房的放射防护屏蔽设计越来越受到放射卫生防护人员和医院相关人员的重视与关注。医用诊断 X射线机房屏蔽厚度计算, 必须确保机房四周的辐射水平能满足相应国家标准规定的放射防护要求^[1-3]。通常把用来屏蔽有用 X射线束的墙体称为主防护墙, 而副防护墙则是指用来屏蔽包括散射线和漏射线的实体墙。笔者归纳了三种常用于计算医用诊断 X射线机房防护屏蔽厚度的方法, 并对不同方法的计算结果进行分析比较。

1 医用诊断 X射线机房屏蔽厚度的常用计算方法

按照屏蔽厚度计算所采用的方式不同, 常用的计算方法可归类分为查图法、查十分之一值层衰减厚度 (TVT)表计算法 (以下简称查表计算法)和经验公式计算法。查图法是指根据核算的透射比数值从相关衰减曲线图中直接查出所需的屏蔽厚度; 查表计算法是先从相关表格中查出相应管电压的 TVT值, 再根据透射比数值算出所需的屏蔽厚度; 经验公式计算法是依据前人总结归纳出的经验公式, 用一系列有关参数直接计算所需屏蔽厚度。

1.1 查图和查表计算法

1.1.1 主防护墙屏蔽厚度计算 射线穿过屏蔽墙体前后的辐射量值之比, 俗称透射比 B, 其表达式为:

$$B = H_w d^2 / WUT \tag{1}$$

式中, H_w 为依相关国家标准设定的周剂量限值, d 为 X射

线机源点离考察点的距离, W 为周工作负荷, U 为利用因子, T 为居留因子。

根据 1 式计算出透射比 B 用查图法可直接从相应透射比衰减曲线图查得所需的主防护墙屏蔽厚度。但不同文献中的透射比曲线图形状和精度不一^[3-5]; 且对于透射比较大的数据, 难以查出准确的屏蔽厚度。因此, 一般又可先查相应的 TVT 表, 再根据下面公式来计算主防护墙的屏蔽厚度 (Δ):

$$\Delta = TVT \cdot E(B^{-1}) \tag{2}$$

1.1.2 副防护墙屏蔽厚度计算 先分别按相应公式计算漏射线和散射线所需的屏蔽厚度, 再比较二者大小; 如二者计算结果相差不到一个 TVT 则在较大数值上加上一个半值层减弱厚度 (HVT), 如差别大于一个 TVT 则取较大者。

1.1.2.1 漏射线屏蔽厚度 ($\Delta_{漏}$) 计算

$$\Delta_{漏} = TVT \cdot E(W_L / d_{sc}^2 H_w) \tag{3}$$

式中, W_L 为离 X射线线焦点 1m 处每周漏射线的比释动能率; d_{sc} 为 X射线机源点到考察点的距离; T 为居留因子。

1.1.2.2 散射线屏蔽厚度计算 先用下式计算出散射线的透射系数 (B_s), 再用一半的 B_s 从透射比衰减曲线图中查出所需的屏蔽厚度, 或用查 TVT 表及用公式 2 来计算所需的屏蔽厚度。

$$B_s = 400 \cdot H_w \cdot (d_{sc} \cdot d_{sc})^2 / (SWTF) \tag{4}$$

式中, d_{sc} 为患者体表散射点到考察点的距离; d_{sc} 为 X射线机源点到患者体表散射点间的距离; S 是散射面积为 400cm² 时离散射体 1m 处散射线的照射量与入射照射量之比; F 为患者体表散射面积 (一般取 400cm²)^[3]; H_w 和 W 的意义同公式 1。

1.2 经验公式计算法 经验公式计算法实际上是把 X射线

作者单位: 复旦大学放射医学研究所, 上海 200032
作者简介: 易艳玲 (1979~), 女, 江西宜春人, 在读博士研究生 研究方向: 辐射防护与剂量学。
通讯作者: 卓维海

在空气中 1m 处的剂量当量率为 6.327μSv/h^[4], 在操作中, 一般用于放射诊断学防护上的铅防护衣帽、围裙和铅眼镜等个人防护用品对这些基本无防护作用, 因而, 工作人员在操作中使用防护注射车和屏蔽注射器进行操作, 可屏蔽大部分剂量^[5, 6], 研究表明, 使用屏蔽注射器可降低 25% 的受照剂量^[6]。此类项目的工作人员在多为其他专业人员改行, 对设备的操作和诊断工作熟悉, 对 PET/CT 防护知识不足, 大多没经过放射防护知识培训, 应做好从业人员的放射防护知识培训。

参考文献:

[1] IAEA Basic Medical Radiation Safety Training Package Part B Radiation Protection in Nuclear Medicine [J].
[2] KUUKKA JT, BRITTON KE, CHENGGAZIV U, et al. Future development in nuclear medicine instrumentation: a review [J]. Nucl Med Commun 1998; 19: 3-12

[3] UNSCEAR Source and effects of ionizing radiation Volume 1 source [J]. New York: UN 2000
[4] GROENEWALD W, WASSERMAN Constant for calculating ambient and directional dose equivalents from radionuclide point sources [J]. Health Physics 1990; 58: 655-658
[5] ROBERTS FQ, GUNAWARDANA DH, PATHMARAJ K, et al. Radiation dose to PET technologists and strategies to lower occupational exposure [J]. J Nucl Med Technol 2005; 33(1): 44-47
[6] BRAN TAIMA, WENNGE, JOLIE, MALCHISHALOM, et al. measurement of occupational exposure for a technologist performing 18F FDG PET scans [J]. Health Physics 2004; 87(5): 539-544

(收稿日期: 2007-01-09 修回日期: 2007-09-10)