

## 【综述】

## PET/CT 放射防护分析及防护现状

李卫国 李全太 李海亮

中图分类号:R142 文献标识码:A 文章编号:1004-714X(2011)04-0511-02

PET/CT 技术的发展突飞猛进,应用范围逐渐向全世界普及,与之对应的放射防护成为摆在放射工作者面前的难题。笔者旨在总结国内外有关 PET/CT 放射防护现状的基础上,对 PET 的放射防护进行详细分析并指出当前防护现状中的不足。

## 1 PET 与 PET/CT

PET 是当今影像学领域最先进的技术之一,代表了现代核医学影像技术的最高水平,被称为“活体分子生物学或生化断层显像”。在肿瘤、心血管系统、神经系统疾病等的早期诊断、定性诊断方面,有其他影像学检查方法不具备的独到之处。PET 是由发射正电子的放射性核素,如 $^{82}\text{Rb}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 、 $^{15}\text{O}$ 、 $^{18}\text{F}$  等发射正电子进行显像。这种正电子在组织中穿过一定距离(数毫米)后,与一个负电子相撞,发生湮灭辐射,发出方向相反、能量相等(511keV)的两个 $\gamma$ 光子,该两个 $\gamma$ 光子同时激活处于相对位置(180°)的两个探头,并在计算机的辅助下重建影像,显示注入体内的正电子核素标记的化合物在各种组织、脏器的断层分布,并间接反映其代谢特征<sup>[1]</sup>。但是 PET 缺点是影像分辨率低、 $\gamma$ 光子穿过人体时能量衰减明显,而 CT 可以弥补这方面的缺陷,二者结合即为 PET/CT,因为能提供解剖与功能的完美图像备受医学界青睐。

## 2 PET/CT 辐射产生过程及主要防护措施

PET/CT 检查包括较多环节,需要一个完整的建筑单位来安装整套设施。包括加速器室、药物合成室、药物分装室、质控室、注射室、药物摄取室(扫描等待室)、扫描室、诊断室以及候诊室。PET/CT 中心要求一台回旋加速器来制造放射性核素,最常用的放射性核素是 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 。放射性核素与葡萄糖、蛋白质、DNA 等结合在合成热室内完成,分装后经过无菌处理注射

入人体,经过一定时间药物摄取期后进行 PET/CT 扫描成像做出诊断。

产生放射线的源有<sup>[2]</sup>:①回旋加速器,回旋加速器在制造放射性核素时会产生中子、 $\alpha$ 、 $\beta$  等粒子以及中子慢化产 $\gamma$ 射线。②未屏蔽的放射性药物(存在于分装与运输阶段)。③已注射 PET 放射性药物的病人成为移动的放射源。④患者卫生间,患者排泄物具有放射性。⑤密封刻度源,质量保证体模。⑥CT 扫描仪。⑦放射性废物。放射防护即是针对这些源,采取一系列的措施尽可能地封闭射线。

主要措施包括:PET/CT 中心的选址适宜、布局合理、足够的墙体、门、楼层厚度等屏蔽,还有快速的操作过程,减少受照时间,另外符合实践的管理体系是辐射安全的重要保证。

## 3 PET/CT 防护要求

防护的目的是尽可能地减少职业人员、受检患者及公众受到的照射剂量,为此, PET/CT 中心必须严格管理,认真执行相关制度,工作人员必须掌握充分的防护知识,患者亦需要充分配合。

PET/CT 放射防护要求:①需要完善的管理制度,成立专门的负责小组,保证相关人员接受的射线剂量尽可能少,形成合理的诊治流程,并能解决意外泄漏事故。②PET/CT 中心尽可能独立存在,如与其他机构在同一建筑内,则应该远离妇产、儿科等敏感单位;保证不受周围其他辐射源的影响<sup>[3]</sup>;落址环境放射水平处于当地本底水平③布局合理:根据区域放射水平高低,划分为控制区、监督区和非控制区<sup>[4]</sup>,相应区域内的人员不可反复来往,工作人员在专属区活动,患者所在的注射室、摄取室专用卫生间、扫描室等房间距离较近,减少患者活动范围;药物注射前的患者及工作人员无需经过控制区即可间;控制区不可有无关人员滞留、经过,避免与其他科室直接相通。④尽量减少放射线的产生,应用半衰期短的药物、采取较短时间的操作。⑤工作人员应该经过培训和反复的练习,减少制备、传送、注射药物操作时间,快速引导患者完成相应步骤。

作者单位:山东省医学科学院放射医学研究所,山东 济南 250062  
作者简介:李卫国(1979~),男,山西吕梁人,主治医师,研究生在读。  
通讯作者:李全太,研究员,硕士生导师。

情可明显改善或痊愈<sup>[6,7]</sup>。

本文中一组病例通过一次 CT 扫描,利用侧位定位相测量 A/N 值;同时在轴位相观察腺样体肥大情况、鼻咽部气道狭窄、后鼻孔阻塞情况及中耳、副鼻窦是否受累等表现做出腺样体肥大的诊断并分度(图 1)。这样做的好处是在一次 CT 扫描的基础上最大可能地获取诊断信息,较之传统检查流程先行 X 射线片检查之后再行 CT 扫描可大大减少患儿接受的辐照剂量同时并不影响诊断的准确性。另外,本组 24 个病例中 14 例腺样体中度肥大且不伴明显的后鼻孔阻塞及咽鼓管狭窄患儿激素治疗后有效;而另 2 例伴有明显鼻后鼻孔阻塞及咽鼓管狭窄和 8 例腺样体重度肥大患儿激素治疗无效,均行腺样体刮除术后治愈。从中可以看出 CT 检查分度同临床治疗方法选择方面有明显的相关性,CT 检查分度轻且表现单纯的病例激素治疗常有效,而 CT 检查分度重或表现复杂的病例激素治疗效果不佳,多需要手术治疗才能取得较好疗效。

综上所述,我们认为对于儿童腺样体肥大患者行一次鼻咽部 CT 扫描,通过侧位定位相 A/N 值测量和轴位相的全面观察,做出腺样体肥大的诊断和分度可减少患儿 X 射线辐照剂

量,同时对临床选择治疗方法有重要的参考价值。

## 参考文献:

- [1] 廖晰,陈卫国,陈勇,等.儿童腺样体肥大的 X 线诊断分析(附 120 例报告)[J].实用放射学杂志,2007,23(9):1 239-1 241.
- [2] 王芳,邵剑波.儿童腺样体肥大的 CT 表现及测量方法研究[J].中国临床医学影像杂志,2008,19(6):381-384.
- [3] 孔维佳.耳鼻咽喉科学[M].北京:人民卫生出版社,2001:136.
- [4] 陈宏.腺样体指数在 CT 诊断儿童腺样体肥大方面的探讨[J].中国临床医学影像杂志,2009,20(10):770-772.
- [5] 王芳,邵剑波,沈杰峰.儿童腺样体肥大与相关疾病的临床影像学研究[J].放射学实践,2007,22(7):758-761.
- [6] 师廷明,张欧.儿童腺样体肥大诊断及非手术治疗[J].现代诊断与治疗,2009,20(3):159-162.
- [7] 谷庆隆,高帆,庞冲,等.丙酸氟替卡松鼻喷剂治疗儿童腺样体肥大的临床分析[J].北京医学,2009,31(8):468-470.

(收稿日期:2011-05-11)

⑥各辐射源所在房间如加速器室、药物摄取室、扫描室的地墙、上、下楼板必须有足够厚度,将屏蔽外的辐射剂量率尽可能降到约束值水平。⑦放射性废物必须经过充分衰变后转移、排放。⑧放射源所在区域必须有足够的空间,增加射线衰减距离。

#### 4 防护评价的方法

4.1 选址、布局及各功能单位防护评价 根据以上要求,对 PEC/CT 中心的选址、布局进行评价。

4.1.1 加速器室 加速器室需要安装通风设备,足够的排风功能,如:1 330m<sup>3</sup>/h,将产生的瞬时放射源如中子、 $\alpha$  粒子、 $\beta$  粒子、放射性气溶胶等及时排出。加速器应该有良好的自屏蔽,使相关人员所受剂量在国家规定的限值内,束流路径上减少可被活化的金属的材料的应用;应有连锁装置并经常检查其运行正常与否;配备废液池,限制废液直接排放<sup>[5]</sup>。

4.1.2 合成热室、分装室、质控室 拥有自动化系统完成药物合成、分装、质控是非常理想的。如无自动系统,应配备操作中使用的铅屏风、铅衣、铅手套、铅眼镜、长距离操作工具等有效防护装备。

4.1.3 注射室 注射器铅外套、防护小车、屏风。

4.1.4 PET/CT 扫描室 PET/CT 扫描机头应尽量远离控制室,减少操作员受到的辐射剂量。

4.1.5 放射性废水排放 至少两个足够体积如 5m<sup>3</sup> 废水处理池交替使用,废水池内的水需存放超过 10 个半衰期后排至室外。

4.1.6 有适当面积和空间 各功能单元应该有相当的空间,增加放射线的距离衰减,减少屏蔽防护成本。

4.2 屏蔽厚度要求 在 PET 中心建设前需进行预评价,需要计算室外达到剂量约束值时屏蔽材料的厚度。计算方法可借鉴参考文献[6]。

4.3 常规监测评价 在常规检查或控制评价时,按照以上要求及数值对 PET/CT 中心现场进行评价,防护效果需用 X、 $\gamma$  巡测仪、中子仪检查,选择 PET 中心内外有代表性的多个关注点进行剂量当量率检测,并记录下来以备分析。职业人员的接受的有效剂量可用热释光剂量仪或电子计量仪等仪器测量,满足剂量约束值即可。

4.4 其他防护评价 PET/CT 中 CT 部分发出的 X 射线因能量低、穿透能力低于患者体内发出的光子,其防护不单独考虑,另外加速器产生的气溶胶、放射性气体半衰期短,室内通风良好,对相关人员辐射剂量影响小,可以忽略不计。但应定期监测通风设施并监测各种粒子产生的剂量。

#### 5 当前的防护现状

当前的众多文献调查结果证明职业人员和公众人员接受的辐射剂量值均在国家标准范围内<sup>[7]</sup>;赵海敏、朱朝晖、金河天<sup>[8-10]</sup>等人对某些 PET/CT 中心、加速器室、工作人员及公众进行调查发现相应的测量值均符合国家限值。但监测时选择的关注点大多不全面,如毗邻机构,尤其是垂直上、下的房间内人员的剂量很少受人关心。有的 PET/CT 中心无自动装置制备、合成药物,需要人工操作,而操作中使用铅防护衣帽、围裙和铅眼镜等个人防护用品对  $\gamma$  射线基本无防护作用,许多医院工作人员使用了一些简单的防护措施,可起到一定作用;研究表明在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<sup>[11]</sup>,屏蔽注射器可降低 25% 的手受照剂量<sup>[12]</sup>。另外减少工作负荷、减少检查患者数目,减少患者在 PET/CT 中心的滞留时间,是业内普遍认可的有效减少待积剂量的方法。普通的隔离工具如外壳手套、长距离工具可以避免体表污染。

#### 6 PET/CT 检查中需要解决的问题

PET/CT 中心建设前必须经过严格的预评价,并按预评价建议规划、建设;合理的管理制度必须得到贯彻,遵守检查流程;当前从业人员大多为其他专业人员改行,对 PET/CT 防护

知识不足,应做好从业人员的放射防护知识培训工作<sup>[13]</sup>。提高操作技巧以减少操作时间是非常有效的防护方式;不可忽视对患者的检查前培训,熟练操作流程,很快配合摆位等操作,有助减少放射时间;仪器性能改善,自动化提高,以及成像软件发展都有希望减少辐射剂量。

药物选择和剂量计算需要更加合理。PET 的发展一定程度决定于正电子显像剂的研制与应用<sup>[14]</sup>。应用在临床的放射性核素包括<sup>82</sup>Rb、<sup>11</sup>C、<sup>13</sup>N、<sup>15</sup>O、<sup>18</sup>F、<sup>18</sup>F-FDG 是目前广谱的示踪显像剂,广泛应用于肿瘤、脑和心肌代谢中<sup>[15]</sup>,其余核素很少应用。<sup>11</sup>C、<sup>82</sup>Rb 的半衰期短,产生的射线少;<sup>11</sup>C 在肿瘤、炎症的鉴别上优于<sup>18</sup>F-FDG<sup>[16]</sup>,<sup>82</sup>Rb 在心肌灌注显像上,诊断价值也优于<sup>18</sup>F-FDG,还有其他的放射素均有自己独特的功能。国内的医生在计算剂量时,仅考虑体重因素,不考虑代谢特点、特定检查器官,剂量与图像的关系,这是不科学的,因此进一步探讨药物选择和剂量的精确计算是一件急迫而繁重的任务。

更加重要的是,结合国际上推荐的操作规范,制定一个符合我国现状的国家标准,对 PET/CT 在建设、运行中进行指导,是放射防护的重要保证。

#### 参考文献:

- [1] 李立伟. PET/CT 的应用与发展. <http://petct.blog.sohu.com/63876826.html>.
- [2] IAEA. Radiation Protection In Newer Imaging: PET/CT[R]. Safety Reports Series, No. 58.
- [3] Radiological Protection Institute of Ireland. The Design of Diagnostic Medical Facilities Using Ionizing Radiation[M]. 2nd edn, Dublin.
- [4] Methe BM. Shielding design for a PET imaging suite: a case study[J]. Health Phys, 2003, 84(5): 83-88.
- [5] 张虎军,张超群,杨晴,等. 医用回旋加速器放射防护[J]. 医疗卫生装备 2007, 28(5): 71-72.
- [6] Mark T. Madsen, Jon A. Anderson, James R. Halama et al. AAPM Task Group 108: PET and PET/CT shielding Requirements[J]. Med, Phys 2006, 33(1).
- [7] 杨军,吴建伟,艾书月,等. PET-CT 的质量控制和质量管理[J]. 医疗卫生装备 2006, 27(9): 71-73.
- [8] 赵海敏,朱建国,杨国仁,等. PET/CT 检查中<sup>18</sup>F-FDG 所致辐射剂量的研究[J]. 中华医学杂志 2008, 28(5): 347-348.
- [9] 朱朝晖,刘忠恕,田开珍,等. 某医院 PET/CT 及医用回旋加速器机房的辐射防护监测[J]. 中国辐射卫生 2007, 16(1): 49-50.
- [10] 金河天,陈大伟,汤鹏飞,等. PET/CT 中心注射护士受照剂量估算[J]. 吉林医学 2009, 30(6): 571-572.
- [11] Fiona O. Roberts, Dishan H. Gunawardana, Kunthi Pathmaraj, et al. Radiation Dose to PET Technologists And Strategies to Lower Occupational Exposure[J]. J Nucl Med Technol, 2005, 33(1): 44-47.
- [12] Biran T, Weininger J, Malchi S, et al. Measurement of Occupational Exposure for A Technologist Performing <sup>18</sup>F FDG PET Scans [J]. Health Physics 2004, 87(5): 539-544.
- [13] 刘建军,张雷,王艳,等. PET/CT 防护检测及评价[J]. 中国辐射卫生 2007, (16) 4: 36.
- [14] Saha GB, MacIntyre WJ, Go RT. Cyclotrons And Positron Emission Tomography Radiopharmaceuticals for Clinical Imaging[J]. Semin Nucl Med, 1992, 22(3): 150-161.
- [15] 川玲. 正电子药物在 PET/CT 显像中的应用[J]. 海军总医院学报 2008, 21(1): 36-38.
- [16] 罗家伦. <sup>11</sup>C 标记的放射性药物在 PET/CT 中的应用[J]. 安徽医学 2009, 30(7): 4.

(收稿日期:2011-03-05)