

【医疗照射】

PET-CT 扫描诊断中职业照射与公众照射剂量估算

杨 晴¹, 王美霞²

中图分类号: R144.1 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2011)03-0319-02

【摘要】 目的 从环境保护的角度论证 PET-CT 应用的正当性和对环境可能的影响。方法 通过对 PET-CT 扫描诊断流程进行分析, 识别出放射性产污环节及污染因子, 并以某医院 PET-CT 中心为例, 对职业照射及公众照射剂量进行估算。结果 PET-CT 应用中职业照射和公众照射年有效剂量均低于根据最优化原则设置的剂量约束值。结论 职业照射剂量和公众照射剂量可控制在根据防护与安全的最优化原则设定的剂量约束值以下的尽量低水平。

【关键词】 PET-CT; 污染因子; 职业照射; 公众照射; 剂量估算

近年来, 各地应用正电子发射计算机断层/X 射线计算机断层成像系统(Positron Emission Tomography & Computed Tomography, PET-CT) 进行放射诊疗的医用辐射项目逐渐增多, 为了解 PET-CT 应用中, 项目对辐射环境的影响程度, 特以具有代表性的某医院 PET-CT 项目为实例, 对工作人员与公众所受剂量进行估算, 并根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2001) 和最优化原则设定的剂量约束值进行比较, 从环境保护角度论证 PET-CT 应用的正当性和对环境可能的影响。

1 扫描诊断流程及污染因子识别

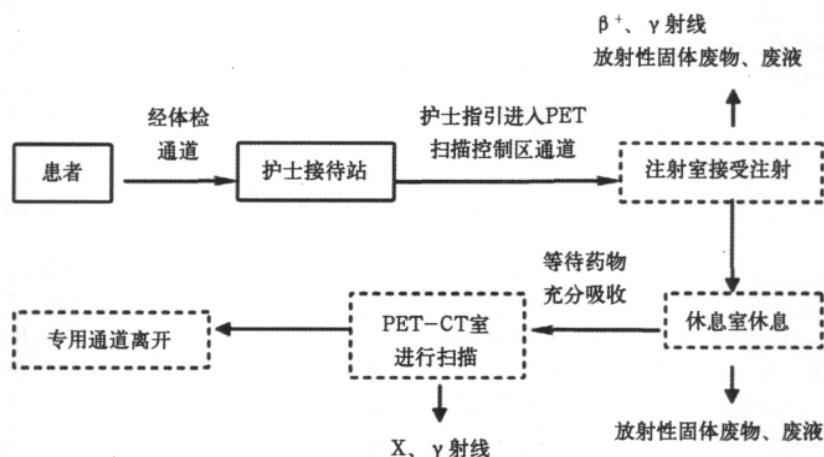


图 1 PET-CT 扫描诊断流程图及放射性污染因子识别

2 剂量估算

PET-CT 中心通常建有导引台、候检室、分装注射室、休息

作者单位: 1 广东省环境辐射监测中心, 广州 510300; 2 广东省职业病防治院, 广州 510300

作者简介: 杨晴(1980~), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为环境辐射监测与评价。

¹¹C、¹³N、¹⁵O、¹⁸F 等放射性核素作为正电子示踪剂被标记在生物活性物质中如 ¹⁸F-FDG(¹⁸F-氟脱氧葡萄糖), 这些活性物质不具有挥发性, 上述放射性核素在衰变中释放出的 β⁺ 粒子与周围物质中的自由电子湮没转化成一对 γ 光子(在人体内 β⁺ 粒子的射程不超过 10mm)^[1], 因此在 PET 扫描诊断中, 放射性污染因子为: γ 射线、β 表面污染和含有放射性核素的废液及固体废物。

CT 属于 X 射线诊断装置, 可通过通断高压管的电源来控制 X 射线的产生, 因此在 PET-CT 扫描诊断中, CT 对工作人员及机房四周的公众产生的放射性污染因子为 X 射线^[2,3] 见图 1。

室、扫描室、控制室、放射性废物贮存室、专用淋浴间、卫生间等。功能布局遵守患者在受检及工作人员在检查过程中从高活性区域到低活性区域不交叉的原则。放射性核素分装注射、PET-CT 扫描, 设置相互独立的岗位, 由不同工作人员分开执行; 从事放射性核素分装注射的工作人员在分装注射完放射性核素, 淋浴后从专用出口离开 PET-CT 中心。

防护意识淡薄, 今后还要加强放射防护知识的宣传普及^[2]。

4 建议

临床医生应增强责任意识, 减少不必要的医疗照射。依据国家法规、标准, 结合本单位的实际情况, 建立健全放射防护管理制度和操作规程, 并确保制度能够贯彻执行。应加大监督执法力度, 督促医疗机构依法开展放射防护工作。加强放射卫生法律法规和防护知识的培训和宣传普及, 使

医疗机构负责人、放射工作人员和公众提高认识, 达到保护受检者、放射工作人员和公众健康的目的。

参考文献:

- [1] 靳军, 王昊, 朱珉, 等. 某口腔医院 X 射线装置防护状况调查与分析[J]. 中国辐射卫生 2008, 17(1): 46.
- [2] 杨伟华. 北京市海淀区牙科 X 射线机调查分析[J]. 中国辐射卫生 2006, 15(3): 333.

(收稿日期: 2011-02-15)

2.1 职业照射

2.1.1 职业照射途径 在放射性核素分装注射等环节,若操作不当,放射性核素可能会通过吸入、吸入、伤口及皮肤浸入等途径对工作人员造成内照射,本文仅考虑外照射引起的剂量。

由图 1 PET-CT 扫描诊断流程图可见,职业照射的外照射途径主要为:①在放射性核素分装注射环节,工作人员会受到 γ 射线的外照射(β^+ 粒子射程短、与自由电子湮没的过程短,因此可不考虑 β^+ 粒子的外照射影响);②在 PET-CT 扫描环节中,工作人员扫描前对患者摆位,扫描结束后帮患者离开时,会受到 γ 射线的外照射;对患者进行扫描时,工作人员在控制室内可能会受到泄漏的 X、 γ 射线的外照射^[4]。

2.1.2 工作条件的设定 该院 PET-CT 扫描室辐射防护设计参数为:机房面积为 51.5m²,机房四周墙体 30cm 混凝土、天棚 20cm 混凝土、防护门 2.5mmPb、观察窗 2.5mmPb,螺旋 CT 机球管离操作室观察窗的距离为 4m,患者离操作室观察窗的距离为 2.0m。

¹⁸F 衰变产生的 γ 射线能量为 0.511MeV,宽束 γ 射线的 TVT(十分之一值屏蔽层厚度)厚度为:铅 1.6cm,混凝土 25.8cm。CT 管电压为 150kV,宽束 X 射线的 TVT 厚度为:铅 0.96mm,混凝土 7.0cm^[5]。

该院 PET-CT 防护性能检测数据显示距焦点 1m 远处球面上漏射线的空气比释动能率为 0.18~0.20mGy/h,根据《X 射线计算机断层摄影机房放射卫生防护标准》(GBZ165-2005)的相关规定,距焦点 1m 远处球面上漏射线的空气比释动能率应小于 1.0mGy/h,从偏保守角度出发,取为 1.0mGy/h。

该院应用 ¹⁸F-FDG 进行 PET-CT 扫描诊断,年工作 220d,每天最大患者数为 20 人,每人最大给药活度为 370MBq(10mCi,本文按该活度进行剂量估算),每次注射用时 30s(操作距离取为 0.5m),两名工作人员轮换进行放射性核素分装注射;患者注射放射性核素卧床休息 45min 后进入 PET-CT 扫描室,扫描前工作人员帮患者摆位用时 2min,扫描结束后帮患者离开用时 1min(与患者平均接触距离取为 1m),PET-CT 扫描用时 10min(其中 CT 扫描用时 3min),4 名工作人员轮换进行 PET-CT 扫描操作。

2.1.3 典型受照剂量估算

2.1.3.1 分装注射

$$H = \frac{A \cdot \Gamma_{\delta}}{r^2} \quad (1)$$

式中: H : 距离点源 r m 处的空气比释动能率, μ Gy/h; A : 放射性活度, mCi; Γ_{δ} : 空气比释动能率常数, μ Gy \cdot m²/mCi \cdot h^[5]。

放射性核素 ¹⁸F 的空气比释动能率常数为 5.1 μ Gy \cdot m²/mCi \cdot h^[3],由公式(1)可以计算出无屏蔽时离患者(看作点源)0.5m 处的空气比释动能率为 204 μ Gy/h,则每名工作人员因药物分装注射受到的年有效剂量为 3.7 mSv。

2.1.3.2 PET-CT 扫描

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

式中: A : 经时间 t 后剩余的活度, mCi; A_0 : 原有活度,即 $t=0$ 时的活度, mCi; λ : 衰变常数; t : 衰变时间, min。

$$P = \frac{W \cdot T \cdot n}{10^{\frac{S}{TVT}} \cdot d^2} \quad (3)$$

式中: P - 目标点剂量率值, μ Gy/h; S - 屏蔽当量; TVT - 十分之一值屏蔽层厚度; W - 距源 1m 处剂量率, μ Gy/h; T - 居留因子,无量纲; d - 距防护计算点的距离, m; n - 安全系数,无量纲^[5]。

由公式(1)、(2)计算出患者休息 45min 后,离患者 1m 处的空气比释动能率为 38 μ Gy/h; PET-CT 扫描结束后离患者 1m 处的空气比释动能率为 36 μ Gy/h,则每名工作人员在摆位和帮患者离开过程中,受到的 γ 射线外照射年有效剂量为 2.1mSv。

由公式(3)(居留因子 T 为 1,安全系数 n 为 2),计算出

PET-CT 控制室内离防护门 30cm、观察窗 30cm 处 γ 射线空气比释动能率为 2.87 μ Gy/h, X 射线空气比释动能率为 0.27 μ Gy/h; 离防护墙 30cm 处 γ 射线空气比释动能率为 0.28 μ Gy/h, X 射线空气比释动能率为 0.056 μ Gy/h。

从偏保守角度出发,取 γ 射线空气比释动能率为 2.87 μ Gy/h, X 射线空气比释动能率为 0.27 μ Gy/h,则在 PET-CT 扫描期间,控制室内每名工作人员受到 γ 射线外照射的年有效剂量为 0.53mSv,受到 X 射线外照射的年有效剂量为 0.015mSv。

则每名工作人员因扫描前帮患者摆位、PET-CT 扫描期间和扫描后帮患者离开,受到的年有效剂量为 2.6 mSv。

2.2 公众照射 该院对工作场所进行分区管理,将分装注射室、注射候检室、VIP 候检室、PET-CT 扫描室、PET-CT 控制室和走廊划为控制区,禁止公众及其他无关人员进入;将 PET-CT 中心围墙四周 1m 范围内划分为监督区,设置明显的电离辐射警示标识。上述措施的应用,有效的降低了公众照射的风险和强度。

患者离走廊一侧防护墙的距离为 3m,墙体为 30cm 混凝土,从偏保守角度出发,取放射性活度 A 为 10mCi、公众居留因子 T 为 1/16、安全系数 n 为 2,由公式(1)、(3)计算出,经过墙体的屏蔽之后,墙外 30cm 处的空气比释动能率为 0.04 μ Gy/h。取每名患者走廊内停留 6min,在此过程中墙外公众可能受到的年有效剂量为 0.018mSv。

2.3 剂量估算验证 应用 6150AD 型 X- γ 辐射剂量率监测仪对该院 PET-CT 中心进行了 X- γ 辐射剂量率现场测量,测量结果表明工作人员放射性核素注射时的操作位处(离患者 0.5m,离地高 1m 和 1.5m 处,有铅玻璃防护)空气比释动能率为 2.1~12.5 μ Gy/h, PET-CT 扫描前帮患者摆位及扫描后帮患者离开时的操作位处(离患者 1m,离地 1m 处)的空气比释动能率为 1.2~3.8 μ Gy/h; PET-CT 扫描时控制室内操作位处空气比释动能率为 120~135nGy/h,在室内环境背景水平范围内。现场测量数据表明,本文提出的剂量估算是偏保守的,从保护人体健康、保护环境的角度是可行的。

3 结论

PET-CT 具有多层螺旋 CT 高空间分辨率,图像显示解剖结构清晰的特点,弥补了 PET 图像空间分辨率的不足;同时,具有 PET 的功能成像、灌注成像及时间-代谢四维成像的优势,大大提高了多层螺旋 CT 的诊断价值,尤其是对肿瘤性疾病的诊断价值^[6]。本文以某医院应用 ¹⁸F-FDG 进行 PET-CT 扫描诊断为例,对 PET-CT 扫描诊断中职业照射与公众照射剂量进行了估算,结果表明,在该院 PET-CT 中心设定的工作条件下,工作人员和公众受到的外照射年有效剂量可以达到根据防护与安全最优化原则设定的剂量约束值以下的尽量低的水平, PET-CT 的应用符合辐射防护正当性要求。

参考文献:

- [1] 陈云富,刘蕊,王文志. PET/CT 常用示踪剂 ¹⁸F-FDG 的作用原理、特性及应用[J]. 中国医疗设备, 2008, 23(10): 78-80.
- [2] 孙涛,韩善清,汪家旺. PET/CT 成像原理、优势及临床应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2010, 27(1): 1581-1582.
- [3] 赵海敏,朱建国. PET/CT 检查临床应用及辐射防护的现状与进展[J]. 中国辐射卫生, 2007, 16(3): 369-370.
- [4] 张巍,王倩,夏春冬. 某微型回旋加速器和 PET-CT 的辐射防护监测与评价[J]. 中国医学装备, 2008, 5(12): 6-11.
- [5] 赵兰才,张丹枫. 放射防护实用手册[M]. 济南: 济南出版社, 2009: 334-341.
- [6] 李霞,胡道予. PET-CT 融合扫描技术的原理和临床应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2003, 22(6): 521-523.

(收稿日期:2010-11-07)