

某正电子发射扫描仪和回旋加速器系统的放射防护评价

范六一 丁崇海 张 茹

(山东省卫生防疫站, 济南 250014)

中图分类号: R147; X591 文献标识码: B 文章编号: 1004-714X(2000)01-033-02

正电子发射扫描仪(Positron Emission Tomograph, 简称 PET)是目前最先进的核医学影像设备, 它以其快速、准确的定位定性诊断, 精细的结构图象, 给出先于组织器官变化的代谢改变, 是诊断疾病的最先进的科技手段。

1995 年, 国内首家引进的 PET 机, 目前已诊断了 4 000 余例病员, 从放射防护的角度出发, 我们对该机进行了监测。该机型号为 TRACE, 瑞典产, 美国 GE 公司经销。

1 PET 中心所具有的配套设施

1.1 回旋加速器室

该室为生产放射性同位素的专用设施。PET 诊断所用的核素均为短寿命核素, 回旋加速器室是必需设备。它的主要原理为质子在电磁场作用下加速, 轰击靶材料, 通过核反应而生产放射性核素。该加速器的生产原料为富集 $H_2^{18}O$, $H_2^{16}O$, 主要产物为 ^{18}F , ^{13}N (^{18}F 主要用于代谢显象, ^{13}N 用于血流灌注显象)见表 1。

表 1 生产的主要核素

靶材料	靶体积	核反应	产物	Tl/2 (min)	照射 时间 (min)	产额 (GBq)
$H_2^{18}O$	1.2ml	$^{18}O(p, n)^{18}F$	^{18}F	110	60	4
$H_2^{16}O$	1.2ml	$^{16}O(p, n)^{13}N$	^{13}N	10	5	3

从其核反应看, 在加速过程中, 构成核辐射场的主要产物为 ^{18}F 和伴随产生的中子、中子活化产物及其中子慢化过程中产生的高能 γ 光子。

在轰击过程中, 对外界可能引起的外照射来自于穿过屏蔽体和加速器室的中子和高能 γ 射线, 加速器室内的活化产物气体是放射性污染的主要来源。

1.2 制药间

由回旋加速器生产出的核素, 通过一个特别通道传送进入制药合成系统。在系统内经过 50 分钟的合成, 测其活度后给病人注射。由于是短半衰期核素, 所以合成完毕需马上给病人注射。在此合成过程中, 主要照射途径为光子穿过合成箱容器对工作人员形成的外照射和药物合成过程中残存的放射性气溶胶。

1.3 注射间、病人准备室、PET 扫描间

PET 中心布局见图 1。按合理布局要求, 注射间应位于

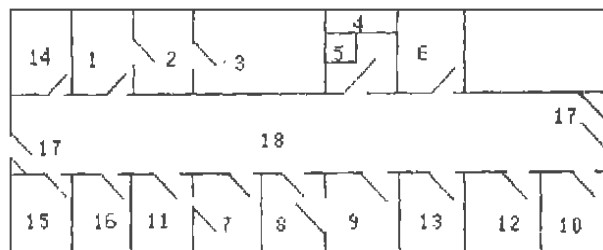


图 1 PET 中心布局图

1 回旋加速器室控制室 2 回旋加速器室 4 ECT 分装 5 制药系统 6 操作室 7 PET 机房 8 PET 机房 9 ECT 控制室 10 注射间 11 PET 控制室 12 高干休息室 13 放免室 14 诊断室 15 交班室 16 休息室 17 医院走廊 18 室内走廊

作者简介: 范六一(1952~), 女, 山东东平县人, 主管医师 主要从事放射卫生防护与管理。

制药间的近邻, 以保证核医学工作场所的三区制的划分, 防止交叉污染, 最大限度的缩小可能发生的放射沾染事故。

注射间是高活室, 注射后的病人随时放出的 γ 光子可能对工作人员造成照射。

注射完药物后, 病人经过一段时间的物体内分布, 即可进入 PET 扫描间。

在制取和使用过程中, 注射时液体的泄漏亦可对工作场所和工作人员体表造成污染。

2 防护监测结果

2.1 加速器及其周围环境

测试条件: 加速器能量为 16.8MeV, 电流强度 422A, 电压 39kV, 束流强度 $20\mu A$ 。监测结果见表 2

表 2 加速器周围环境监测结果($\mu Sv/h$)

监测地点	照射量率	监测地点	照射量率
制药间北侧墙	0.77	室外走廊	0.08
加速器室外窗	2.04~2.27	二楼病房(楼下为加速器室)	0.12~0.15
加速器室外墙	0.38		0.08~0.19
			(215室)
加速器室外	0.15	控制室	0.12~0.25

2.2 制药间及其周围环境

该制药间与 ECT 分装室合二为一, 总面积为 $3.5 \times 7.2m^2$, 室高 2.8m。此间又同时兼废物贮存间, 分装与制药间有一铅屏分隔, 监测结果见表 3

表 3 制药间周围环境监测结果

监测部位	室内	药物合成箱	控制室	固体废物箱
	合成前	合成时		
照射量率 ($\mu Sv/h$)	0.77	0.08	16.58~83	0.12~0.15
				65.7

在制药间, 回旋加速器轰击完的核素进入制药系统合成前, 有一个短暂的传送过程, 此时距传送盒 1 米的瞬时剂量为 $36.04\mu Sv/h$, 同时监测制药室中心为 $1.12\mu Sv/h$, 控制室为 $1.12\mu Sv/h$, 走廊内为 $0.13\mu Sv/h$ 。

2.3 注射间、PET 扫描间

注射间是病人接受药物注射的地方, 应划归为污染区, PET 扫描是根据病人体重决定用药量的, 所用剂量在 $(1.85 \sim 3.7) \times 10^8 Bq$ ($5 \sim 10 mCi$) 之间。在 PET 扫描前, 医生需要给扫描病人摆位, 注射和摆位是工作人员受照主要途径之一。见表 4

表 4 注射室、扫描室监测结果

监测部位	注射车	注射车	注射车	工作人员
(内有 $5mCi^{18}F$)	(手部位置)	(铅屏蔽后)	(铅屏蔽后)	(穿铅衣后)
照射量率 ($\mu Sv/h$)	225~267	19	53.47	250
监测部位	病人注射	PET 扫描床边	PET 操作室	
	$6mCi^{18}F$ (病人注射后 1 小时)	(扫描室内 $7mCi^{18}F$)		
照射量率 ($\mu Sv/h$)	380	109	0.12~0.15	

3 放射防护评价

3.1 外照射防护评价

3.1.1 加速器室

评价一个外照射屏蔽的优劣,应从实际监测结果和有关技术参数综合考虑。放射性同位素 ^{18}F 以 β^+ 为主要衰变方式,其铅半值层为5mmPb,水泥半值层为3.6cm。该加速器室屏蔽墙为水泥加砖混合而成,总厚度为150cm,从理论上讲是安全的^[1]。它的实际监测值是 $0.38-2.27\text{Sv/h}$,可以认为,该屏蔽墙在屏蔽 γ 射线方面是符合防护要求的。

3.1.2 制药间、注射间及PET扫描室

该PET中心共生产两种短寿命同位素, ^{18}F 与 ^{13}N ,其中 ^{13}N 的 $T_{1/2}$ 仅为10min,且用量较小,主要产物为 ^{18}F 。因此,以 ^{18}F 为主要监测对象。

^{18}F 的铅半值层为5mm,表4的监测结果所示,病人注射处为 380Sv/h (刚刚注射过药物),注射后1小时为 109Sv/h ;这两个数值提示工作人员的瞬时受照剂量。现将不同工种工作人员年受照剂量对照如下,见表5。

表5 放射工作人员不同工种年受照剂量

工种	年受照剂量(mSv/年)
注射、摆位、制药(4人)	1.62~2.07
PET诊断(7人)	0.4~0.87
X线诊断、光子刀(4人)	0.15~0.59

在注射间,负责注射的工作人员穿用0.5mm铅当量的普通铅衣,监测结果见表4。在有注射车的情况下,工作人员的手部受照剂量在 256Sv/h ,对于 ^{18}F 为主要操作药物来讲,该屏蔽厚度不足。

3.2 其它放射性污染的评价

如前所述,气态放射性污染主要是加速器室被中子活化的气体和药物合成过程中残存的放射性气溶胶物质。这些物质可能因吸入而对工作人员造成内照射。而在药物制取使用过程中的泄漏有可能对工作场所造成污染。

PET中心采用的办法是在加速器停止轰击后24小时方可进入该室。因此,室内的气溶胶和其它气体可以忽略。但在药物制取过程中残存的气溶胶物质未见有适当的防护措施。

值得提出的是PET中心室内走廊,完全为软性铺垫,如有打洒、泄漏,清除污染相当麻烦。

3.3 综合布局评价

从给出的布局图来看,PET中心的布局是不合理的。依据核医学工作所三区制划分原则,分装、给药、注射为控制区。标记、扫描、放射性药物、废物贮存为监督区。办公室、走廊为非限制区^[2]。

该中心的分装、制备位于走廊中心,注射室位于走廊一侧,分装制备好的药物要经过走廊方可进入注射室。而病人注射完药物后,又无专用的候诊室,仅在走廊内备有几个候诊椅,形成控制区、监督区、非限制区的交叉。病人在候诊时无专用排

泄厕所,与工作人员共用位于走廊外的公厕,有可能对公众环境造成污染。

4 总结与建议

本文报道了我国首台PET机的使用防护情况,对于国内近年引进的PET设备有参考价值与提示作用。

4.1 以150cm的屏蔽墙做回旋加速器室的屏蔽,对于能量为16.8MeV的PET设备,可满足屏蔽要求。

4.2 ^{18}F 是PET中心生产使用的主要核素,其铅半值层为5mm,如沿用普通铅围裙和铅防护注射车作屏蔽物,可能引起工作人员受照剂量过大。

4.3 PET中心是开放性放射性工作场所,应按《临床核医学放射卫生防护标准》要求,严格划分三区制,避免工作人员和病员的过量照射。固体废物应有独立贮存场所。

4.4 设单独注射间和病人准备室,病人专用排泄场所和单独的废水贮存处理系统。

4.5 制药间设独立排风设施,不得与其它高活室混用。

4.6 工作人员的年受照剂量有进一步研究的必要。

4.7 根据表1核反应得知,在生产放射性核素的同时,产生相同分额的中子,其发射率可由靶的产额估计,辐照时间T后的 ^{18}F 产额A,应为:

$$A = Y_0(1 - e^{-0.693T/T}) \quad [3]$$

A为 ^{18}F 产额

Y_0 为中子产额

t为生产 ^{18}F 需要的时间(min)

T为 ^{18}F 的半衰期(min)

在 ^{18}F 产额为4GBq的情况下,带入上式, $Y_0 = 12.6 \times 10^{10}\text{n/s}$ 。

但由于中子的监测未同时进行,本文未涉及到中子屏蔽防护的讨论,但在实际防护评价中,应予以考虑。

4.8 鉴于PET中心使用、生产放射性药物的方式、种类、用量的一致性,丹麦技术大学D. E. Paulsen的报道认为:放射性气溶胶和其它气体污染的照射可以忽略^[4]。

参考文献:

- [1] 中国计量测试学会电离辐射专业委员会. 辐射剂量学常用数据[M]. 北京:中国计量出版社.
- [2] GB 16360—1996, 临床核医学放射卫生防护标准[S].
- [3] 杨国山,等. 正电子发射扫描仪和回旋加速器建设中的防护评价[J]. 中国辐射卫生, 1999, 8(1): 21
- [4] D. E. Paulsen, Dose to the Staff in the Center for positron Emission Tomograph at the University Hospital in Copenhagen. Master Thesis at the Department of Electrophysics at the Technical University of Denmark 1995.

收稿日期: 1999—07—06

关于文稿中数字的使用

文稿中数字的使用,中华预防医学会对系列杂志提出以下要求:1、必须使用阿拉伯数字场合①表示公元、世纪、年代、年、月、日、时刻时,如20世纪90年代,1998—10—18T18—08—06(1998年10月18日8时8分6秒)。1998年不能写成“98”年,1990~1998年也不能写成“1990~98年”。②表示物理量时,如 21m^3 ,3d(天)等;③一般计数单位前的数字,如116名放射医生等;④计数及数据表示,如60余人次,80%,8.5等;⑤表示型号、编号、序号及标准代号等。2、须用汉字数字场合①固定词语中的数字,如二氧化硅,星期三,第一位等;②相邻三个数字连用(中间不加顿号)表示概数时,如五六十个、几百万分之一等;③表示非公历纪年表示节日、事件中的数字,如五四运动等;④整数一至十,如果不是出现在具有统计意义的一组文字中可用汉字,但要照顾上下文,求得局部一致,如一个人、三本书、四种产品等。3、数值范围号一律采用浪纹号“~”表示,不能采用半字线“—”和二字线“——”,也不宜使用一字线“一”。18%~25%不得写成18~25%;“ $3 \times 10^9 \sim 5 \times 10^9$ ”不得写成“ $3 \sim 5 \times 10^9$ ”,但可写成“ $(3 \sim 5) \times 10^9$ ”;表示单位相同的数值范围可将前一数字后单位符号省去,如“ $10\text{mmol/L} \sim 15\text{mmol/L}$ ”应写成“ $10 \sim 15\text{mmol/L}$ ”。4、公差表示“ $73.6\text{mg/m}^3 \pm 16.5\text{mg/m}^3$ ”可写成“ $(73.6 \pm 16.5)\text{mg/m}^3$ ”,但不能写成“ $73.6 \pm 16.5\text{mg/m}^3$ ”。“ $(55 \pm 4)\%$ ”任何时候,均不得写成“ $55 \pm 4\%$ ”,也不宜写成“ $55\% \pm 4\%$ ”。一组单位相同的量值并列出现时,除最后一个数值外,前面的数值单位均可省去。如“0.71mg, 0.34mg, 0.61mg”可写成“0.71, 0.34, 0.61mg”。关于数字的用法请作者在写稿时注意。

本刊编辑部