

# 回旋加速器运行期间的环境监测及辐射影响分析

包宝亮,刘彩平,刘子钰,王相成\*

(内蒙古医科大学附属医院核医学科,内蒙古 呼和浩特 010050)

**摘要:**目的:通过监测回旋加速器周围环境辐射剂量水平,评价其对环境、公众及相关工作人员的辐射安全性。方法:根据污染因子分析,用专用的辐射剂量监测仪器对回旋加速器开机状态下,机房外周围环境进行 $\gamma$ 、中子辐射剂量率监测。结果:在开机状态下回旋加速器机房门外周围环境 $\gamma$ 辐射剂量率为 $(27\sim 53) \times 10^{-8} \text{Gy/h}$ ,中子辐射剂量为 $(0.009\sim 0.019) \mu\text{Sv/h}$ 。结论:回旋加速器在开机状态下,不会对周围环境产生辐射影响,工作人员受到的年辐射剂量也远小于国家规定的个人年辐射剂量限制。

**关键词:**回旋加速器; $\gamma$ 辐射剂量率;中子辐射剂量率

**中图分类号:** R811.5

**文献标识码:** B

**文章编号:** 2095-512X(2020)06-0621-03

正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography/computered tomography, PET/CT),采用正电子核素作为示踪剂,通过病灶部位对示踪剂的摄取,了解病灶功能代谢状态,从而为临床提供疾病的生物代谢信息<sup>[1]</sup>。PET/CT显像必须要有示踪剂,而要生产PET检查所需的正电子放射性药物,医用回旋加速器是首选的设备<sup>[2]</sup>。而医用回旋加速器在轰击过程中会产生大量的放射性辐射(中子辐射和光子辐射),所以要做好防护措施的同时做好定期辐射监测,保障公众及工作人员健康安全<sup>[3]</sup>。

## 1 仪器设备原理及测量方法

### 1.1 回旋加速器基本原理及场地情况

射线装置是美国通用电器公司MINItraceTM医用回旋加速器,能量为9.6MeV。其基本工作原理为在周期性变化的电磁场中,沿着圆形轨道对带电粒子进行加速,轰击原子核,使其发生裂变,用以生产短半衰期的正电子放射性核素。比如:可生产放射性核素 $^{18}\text{F}$ 、 $^{11}\text{C}$ 、 $^{13}\text{N}$ 等,束流强度可达 $50 \mu\text{A}$ 。回旋加速器机房建筑面积为 $20 \text{m}^2$ ,四周防护墙密度 $\geq 3.6 \text{g/cm}^3$ 的钢筋混凝土与特种硅胶浇筑而成,防护墙厚度均为0.6m,自动控制连锁防护门为16mmPb(含8mm铅板,40mm厚防中子复合板)。回旋加速器机房与控制室内相隔一个操作室,机房电信号通过深0.5m的地下管道连接,在控制室内可通过监视器观

察回旋加速器工作情况。放射化学系统及药物合成主要由特制的放射性屏蔽制药室和合成热室组成,合成的药物装入铅罐内送往注射室窗口。

### 1.2 测量仪器

采用多功能辐射仪Umo LB123和Neutron Probe LB6411监测回旋加速器环境中 $\gamma$ 射线、中子辐射水平。Umo LB123周围剂量当量率测量范围为 $0.1 \mu\text{Sv/h} \sim 200 \text{mSv/h}$ ,Neutron Probe LB6411周围剂量当量率测量范围为 $0.01 \mu\text{Sv/h} \sim 150 \text{mSv/h}^{[4]}$ 。

### 1.3 测量方法

以生产正电子放射性核素 $^{18}\text{F}$ 为例,经回旋加速器核反应 $^{18}\text{O}(p,n)^{18}\text{F}$ ,产生放射性核素 $^{18}\text{F}$ ,设置束流强度为 $30 \mu\text{A}$ ,核素生产时间为1h。在此1h的轰击过程中关闭回旋加速器室防护门,用专用的中子/光子辐射测量仪对回旋加速器机房门外各点、靠近防护门外侧表面进行测量。测量时待显示计数率稳定时读取数据,同一个位置反复测量三次取平均值(见表1)。生产完的放射性核素自动传输到合成热室里,经过合成器合成核素 $^{18}\text{F}$ 标记葡萄糖产生代谢物:氟代脱氧葡萄糖(fludeoxyglucose,  $^{18}\text{F}$ -FDG)。合成大概需要20min,在此合成过程中,对合成热室表面周围环境及其他可能有放射性污染的位置进行 $\gamma$ 辐射剂量率现场监测(见表2)。对带有 $^{18}\text{F}$ 等放射性制剂操作环境产生的放射性沾污,对其造成的 $\beta$ 放射性表面污染进行现场监测。

## 2 结果

收稿日期:2020-07-05;修回日期:2020-11-12

作者简介:包宝亮(1979-),男,内蒙古医科大学附属医院核医学科工程师。

通讯作者:王相成,副主任医师,硕士研究生导师,E-mail:38961213@qq.com 内蒙古医科大学附属医院核医学科,010050

### 2.1 回旋加速器周围辐射剂量

监测回旋加速器运行时周围各处光子和中子的剂量率(见表1)。

表1 回旋加速器周围辐射剂量分布

测量点描述		γ辐射剂量率 (10 <sup>-8</sup> Gy/h)	中子辐射剂量 率(μSv/h)
一般环境	外走廊	10~12	0
回旋加速器	机房门外左上	37~50	0.013~0.019
	机房门外右上	50~53	0.013~0.015
	机房门外左下	28~31	0.013~0.014
	机房门外右下	38~40	0.015~0.017
	机房门外中间	27~30	0.009~0.018
	机房墙外左侧	33~44	0.02~0.04
	机房墙外右侧	43~54	0.05~0.07
	控制室	13	0.001

### 2.2 合成热室辐射剂量

监测合成热室辐射剂量(见表2)。

表2 合成热室周围辐射剂量分布

测量地点	测量点描述	γ辐射剂量率 (×10 <sup>-8</sup> Gy/h)
合成热室	热室地沟	52~58
	操作间风道	24~44
	热室铅窗	22~24
	分装热室外表面	23~25
	分装热室铅门表面	22~23
	通往衰变池的管道表面	17~25
	铅罐手柄(内有FDG)	80~90
	铅罐侧面(空罐)	15~16

### 2.3 放射性制剂工作场所表面污染

监测放射性制剂工作场所表面污染(见表3)。

表3 放射性制剂工作场所表面污染监测

监测地点	工作场所分区 及测量点描述	β放射性物质 监测结果Bq/cm <sup>2</sup>
更衣室	一更 鞋	0.14~0.23
	二更 墙	0.10~0.17
	地面	0.16~0.17
	三更 墙	0.23~1.00
	地面	0.51~0.90
合成热室	合成柜表面	0.13~0.14
	热室铅玻璃	0.15~0.16
	分装柜表面	0.12~0.13
	分装铅玻璃	0.13~0.16
	地面	0.27~0.28

### 3 讨论

从监测结果可知,在开机状态下回旋加速器机房门外γ辐射剂量率为(27~53)×10<sup>-8</sup>Gy/h、中子辐射剂量为(0.009~0.019)μSv/h、机房墙外出线口γ辐射剂量率为(33~54)×10<sup>-8</sup>Gy/h、中子辐射剂量为(0.02~0.07)μSv/h。在回旋加速器停止运行时,这些地方γ辐射剂量为13×10<sup>-8</sup>Gy/h、中子辐射剂量为0.001μSv/h。所以,在回旋加速器运行状态下,机房门外γ辐射剂量率、中子辐射剂量率最高监测值超一般环境3.1倍和18倍。机房墙外出线口处γ辐射剂量率、中子辐射剂量高出一般环境3.2倍和69倍。合成热室周围γ辐射剂量率与一般环境监测水平相当。药物合成和分装热室的工作柜、地面、质控操作间工作台、墙壁、地面、地沟、风道、药物传递区的衰变池的管道和通风口,均超过β放射性表面污染标准值。

根据测量发现PET/CT回旋加速器在运行状态下,按月平均接诊量200人算,年接诊量为2400人,所受到的较大辐射剂量的主要有制药室、注射室。制药室工作人员在自动制药过程结束后,将药品(18F-FDG)装入铅罐,并手提到注射室窗口,每接诊1个人操作铅罐转运时间为3min,若按每年接诊2400人计算,则全年最多需120h。铅罐手柄γ辐射空气吸收有效剂量率为900nGy/h,附加γ辐射剂量率为780nGy/h,年有效附加剂量为0.16mSv/a。注射室工作人员在铅屏风台前给受诊者注射药品,对1个人注射量为1mL,全过程最多需3min,若按每年接诊2400个人计算,则全年需120h。注射室台前γ辐射吸收剂量率最大值为14400nGy/h,附加γ辐射剂量率为14280nGy/h,年有效附加剂量为0.30mSv/a。

### 4 结论

根据个人辐射剂量监测统计,扫描PET/CT的技师及护理人员所受年有效剂量约为1.22mSv,回旋加速器操作人员所受年有效剂量约为0.5mSv,符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》对工作人员年有效剂量的限值不超过5mSv/年附加剂量的规定要求。部分工作场所辐射水平较高,建议对防护屏蔽做好整改以外,还要制定事故状态下的应急处理预案,应对可能发生的环境辐射水平异常增大及放射性药物的不慎洒落等情况发生。同时工作人员应增强防护意识,佩戴个人剂量计,(下转第637页)

功能稳定具有重要作用,在童年期,大脑处于生长发育阶段,营养需求高,锌的缺少可能造成大脑神经细胞正常放电被抑制或出现异常放电,从而诱发或加重癫痫。有研究发现,相比较正常的儿童,原发性癫痫患儿的末梢血锌含量明显更低,提示锌含量可能与癫痫疾病有一定联系。铁元素是人体另一重要微量元素,其含量较为丰富,在人体中促进部分神经递质与血红蛋白的合成,参与神经系统与血液系统的调节,当机体缺乏铁含量时,可能降低相关神经递质活性,从而对神经系统功能造成影响,继而诱发甚至加重癫痫病情。李振宏研究发现,血清锌、铁的含量与BECT变异型的发病具有密切联系,佐证了本文观点。但目前相关研究较少,结果的真实性与可行性还需要在未来进一步做大样本、长时间的研究加以验证。

综上所述,BECT变异型发病的原因可能与患儿血清锌低表达、血清铁低表达有关,应引起临床重视。

## 参考文献

- [1]Gkampeta A, Fidani L, Zafeiriou D, et al. Benign epilepsy with centrotemporal spikes: Relationship between type of seizures and response to medication in a Greek population[J]. *J Neurosci Rural Pract*, 2015; **6**(4): 545-548
- [2]Incecik F, Altunbasak S, Herguner O M, et al. Prognostic significance of failure of the initial antiepileptic drug in children with benign childhood epilepsy with centrotemporal spikes[J]. *Brain Dev*, 2015; **37**(1): 66-70
- [3]林磊, 王晓英. 伴中央颞区棘波良性癫痫变异型儿童智商影响因素分析[J]. *中国儿童保健杂志*, 2017; **25**(3): 284-287
- [4]张若欣. 影响伴中央颞区棘波的儿童良性癫痫的不良预后的相关因素研究[D]. 2018: 11-15
- [5]中国抗癫痫协会. 临床诊疗指南. 癫痫病分册[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 12-18
- [6]Mayes S. Similarities and differences in Wechsler Intelligence Scale for Children-Third Edition (WISC-III) profiles: support for subtest analysis in clinical referrals[J]. *Clin Neuropsychol*, 2004; **18**(4): 559-572
- [7]黄启坤, 华青. 卡马西平诱导儿童伴中央颞区棘波的良性癫痫出现癫痫性电持续状态的初步研究[J]. *癫痫与神经电生理学杂志*, 2015; **24**(1): 14-18
- [8]刘楠, 周涛, 朱建萍, 等. 良性癫痫伴中央颞区棘波变异型的临床特点及治疗策略[J]. *中国小儿急救医学*, 2017; **24**(3): 228-232
- [9]武运红, 张临霞, 孙惠苗. 儿童良性癫痫伴中央颞区棘波变异型11例临床分析[J]. *山西医药杂志*, 2017; **46**(17): 2090-2092
- [10]宁泽淑, 杨理明, 江志, 等. 儿童良性癫痫伴中央颞区棘波变异型12例临床分析[J]. *临床儿科杂志*, 2015; **33**(5): 470-472
- [11]Malfait D, Tucholka A, Mendizabal S, et al. fMRI brain response during sentence reading comprehension in children with benign epilepsy with centro-temporal spikes[J]. *Epilepsy Res*, 2015; **117**(15): 42-51
- [12]Grochoski R, Liberalesso P B N, Zeigelboim B S, et al. Benign partial epilepsy of childhood with centrotemporal spikes and SLEEP disorders[J]. *JECN* 2015; **21**(1): 19-23
- [13]Parisi P, Paolino M C, Raucci U, et al. "Atypical forms" of benign epilepsy with centrotemporal spikes (BECTS): How to diagnose and guide these children. A practical/scientific approach[J]. *Epilepsy Behav*, 2017; **75**(1): 165-169
- [14]张月华. 儿童睡眠中癫痫性电持续状态相关的癫痫综合征[J]. *中国实用儿科杂志*, 2013; **28**(2): 85-88
- [15]马媛, 孟宪坤, 陈牧. 癫痫患儿末梢血中锌、铜水平变化及意义[J]. *山东医药*, 2017; **57**(29): 49-51

(上接第622页)

工作场所安装环境检测仪,实时密切观察辐射剂量变化,减少所受附加剂量<sup>[8]</sup>。

## 参考文献

- [1]任庆余. 医用回旋加速器辐射剂量检测与评价. 医疗卫生装备[J]. 2014; **35**(4): 84-85
- [2]许起惠. 某医用回旋加速器系统验收监测监督性监测数据比较. 海峡科学[J]. 2019; **146**(2): 38-40
- [3]颜和平. MINtrace 回旋加速器放射防护设计及探讨[J]. 中国医疗器械信息. 2018; **24**(14): 121-123
- [4]王娟. PET/CT工作场所及医用回旋加速器机房辐射水平监测与分析. 中国辐射卫生[J]. 2014; **23**(6): 504-505
- [5]史蕾. 关于PET/CT和回旋加速器项目辐射防护的探讨. 科技创新导报. 2018; **27**: 179-180
- [6]催菲. 能医用回旋加速器防护屏蔽计算. 兵团医学[J]. 2019; **15**(1): 50-52
- [7]张虎军. 医用回旋加速器辐射防护. 医疗卫生装备. 2007; **28**(5): 71-72
- [8]王凤. 20MeV 医用回旋加速器对环境辐射的影响与分析. 医疗卫生装备[J]. 2016; **37**(6): 101-104