

文章编号: 1671-7104(2020)01-0092-03

MINItrace回旋加速器升级前后运行对比研究

【作者】 张晓锋¹, 高振江², 李帅¹, 杨建伟¹

1 郑州大学附属肿瘤医院 PET-CT中心, 郑州市, 450008

2 通用电气医疗集团有限公司, 郑州市, 450008

【摘要】 目的 对比GE MINItrace型回旋加速器升级前后性能指标。方法 回旋加速器升级以铌靶系统替代银靶系统、采用最新的射频控制及管理系统、更换GE新一代的离子源系统。回顾性分析升级前后12个月的生产效率和故障率。结果 升级后整机故障率下降86.2%, 平均产量提高45%。结论 升级后回旋加速器的系统故障率大幅降低, 生产效率有较大提高。

【关键词】 MINItrace; 回旋加速器; 铌靶; 离子源

【中图分类号】 R817.4

【文献标志码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1671-7104.2020.01.021

Analysis of Performance of the MINItrace Cyclotron before and after Upgrade

【Writers】 ZHANG Xiaofeng¹, GAO Zhenjiang², LI Shuai¹, YANG Jianwei¹

1 PET-CT Center, the Affiliated Cancer Hospital, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450008

2 General Electric Company, Zhengzhou, 450008

【Abstract】 **Objective** To compare the performance of the GE cyclotron MINItrace system before and after the upgrade. **Methods** The upgrade of the MINItrace system included replacing the silver target with the Nb syetem and adopting the latest RF control and management system and lastest ion source system. The failrue rate and production efficiency were retrospectively analyzed before and after the upgrade. **Results** After the upgrade, the cyclotron failure rate decreased by 86.2%, the average capacity increased by 45%. **Conclusion** After the upgrade of MINItrace cyclotron, the failure rate is sharply reduced, and the production efficiency is grately improved.

【Key words】 MINItrace, cyclotron, Nb target, ion source

0 引言

PET-CT有机融合了PET的功能成像和CT的解剖结构显像, 可提供靶器官的功能和解剖双重信息^[1-2]。随着PET-CT受检患者不断增加^[3], 要求回旋加速器制药系统不仅能提供越来越大量的正电子示踪剂, 还要有良好的系统稳定性。同时随着科研需求的不断增加, 对新型示踪剂的合成制备环节也提出了许多新的要求。

我院于2007年10月引进美国GE公司MINItrace型回旋加速器, 设备经过十余年的运行, 部分系统硬件存在老化问题, 尤其是射频系统不稳定、爆靶故障及离子源短路时有发生。这些对PET-CT检查的正常进行提出了非常严峻

的挑战。此外, 病人对于医院准时性、准确性等方面的要求不断提高, 放射性药物供应的及时性和稳定性就尤为重要。本院于2018年4月对MINItrace型回旋加速器升级为Qilin型。本研究回顾性分析了升级前后回旋加速器的运行情况, 以期回旋加速器的系统升级提供客观依据。

1 对象与方法

1.1 回旋加速器的原理与结构

回旋加速器的原理是离子源气体经电弧放电电离产生粒子束流, 该粒子束流在直流磁场和高频电压作用下获得足够动能, 经束流提取系统获得高能量的质子^[4], 轰击靶系统的原子核, 利用质子/中子(P/N)反应, 形成半衰期很短的正电子核素。

不同型号的回旋加速器结构有较大差异, 但

收稿日期: 2019-07-22

作者简介: 张晓锋, E-mail: 815897999@qq.com

通信作者: 杨建伟, E-mail: yjianw28@163.com

其基本组成单元^[5-6]一般有：靶系统、离子源系统、射频系统、真空系统、磁场系统、冷却系统、自屏蔽系统及诊断系统。

1.2 MINIttrace/Qilin升级简介

本次GE公司MINIttrace回旋加速器升级部分主要包括全面升级现有的软硬件平台，采用最新的射频控制及管理系统，更换GE新一代的离子源系统，新增最新的智能Smart Tool离子源实时调节工具，银靶系统升级为铌靶系统。

升级后的回旋加速器，可以获得更好的系统稳定性及更加安全的系统维护方式，有效避免系统维护中的辐射安全问题。相比MINIttrace系统，Qilin系统的射频稳定性、核素产量、保养维护周期等核心性能指标都有显著改善。

1.3 测量仪器

采用美国GE公司MINIttrace/Qilin型回旋加速器。活度检测仪器为美国CAPINTEC公司CRC-25R型活度计，仪器测量分辨率为0.01 MBq，系统线性2%以内，仪器在法定计量检定有效期内。

1.4 统计学处理

数据采用SPSS 22.0处理，计数资料采用“均数±标准差”表示，组间比较使用配对 t 检验，检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 MINIttrace/Qilin性能指标对比

2.1 离子源系统

离子源的微控Smart Tool智能调节技术可以在新离子源位置调整中避免不必要的开腔调节，大大减小了离子源不必要的损耗。配合二代离子源技术，可以在工作条件不变的情况下得到更好的离子源效率。

升级后的离子源系统提供了实时离子源调节的能力，确保束流时刻拥有最好的集中度和准确度，动态最优化产能。日常示踪剂生产中，可以根据离子源状态，实时调整位置，确保离子源时刻处于最佳工作状态，减少轰击时间，延长离子源寿命。

2.2 射频系统

射频控制系统在升级后由专用的计算机电路

替代以前的数个集成电路板。一方面一体化的设计有助于提高其整体的稳定性，另一方面对射频参数的控制更为精确，有效提高束流的加速效率，同时对射频参数的故障判断也更加个性化，能更加准确地判断射频的运行状态。

2.3 靶系统

Qilin全新铌靶系统配置全水冷系统，相比MINIttrace银靶系统所配置的氮冷/水冷复合系统，冷却能力有大幅提高。由于铌靶系统没有氮冷系统，大幅降低了轰击过程中因氮冷压力问题导致的爆靶可能。此外靶室容量由MINIttrace系统的2 mL提高到2.7 mL，靶水体积增加产量也大幅增加。铌靶系统在临床上将成为趋势^[7-8]。

2.4 大幅提高生产能力

MINIttrace/Qilin在前两代MINIttrace的基础上通过改善离子源、射频控制系统、射频加速系统、靶系统等子系统的工作效率，可以提高靶上有效束流，将靶上束流提高40%，由原来的最大有效靶束流35 μA 提高到50 μA ，靶产率随有效靶电流的增大而提高^[9]。换言之，如果仍然使用原有的工作负荷，即产量不变，靶系统承受的工作压力就会减小40%~50%以上。因此仅对于束流负荷的变化上，对靶膜等耗材来讲如果采用相同的工作条件可以延长40%~50%的寿命。

3 MINIttrace/Qilin运行对比

3.1 MINIttrace/Qilin升级前后产量对比

MINIttrace由于射频不稳定，离子源打火，银靶系统所配置的氮冷/水冷复合系统靶膜容易爆靶等原因，在日常工作中，轰击电流一般不超过35 μA 。升级后的Qilin系统可以有效提高靶上束流，将靶上有效束流提高到50 μA 。笔者回归性分析升级前后产量对比，轰击产品 ^{18}F 离子均经QMA柱子捕获经活度计测量。测量结果见表1。

结果表明在轰击条件（35 μA ，60 min）下MINIttrace的 ^{18}F 离子产量为803~839（822.50±10.61）mCi，Qilin为1 246~1 310（1 263.01±9.19）mCi。对两组数据进行配对 t 检验，得出两组之间差异具有显著性， P

<0.05 ($t=-85.86$, $P=0.000$)。在轰击条件 ($35\ \mu\text{A}$, $90\ \text{min}$) 下MINItrace的 ^{18}F 离子产量为 $1\ 148\sim 1\ 198$ ($1\ 163.60\pm 18.38$) mCi, Qilin为 $1\ 756\sim 1\ 832$ ($1\ 774.50\pm 14.85$) mCi。两组之间差异具有显著性 $P<0.05$ ($t=-164.04$, $P=0.000$)。表明在相同的轰击条件下加速器升级以后 ^{18}F 离子产量提高约45%;在轰击条件 ($35\ \mu\text{A}$, $60\ \text{min}$) 下MINItrace的 ^{18}F 离子产量为 $803\sim 839$ (822.50 ± 10.61) mCi, 在轰击条件 ($50\ \mu\text{A}$, $60\ \text{min}$) 下Qilin的 ^{18}F 离子产量为 $1\ 658\sim 1\ 728$ ($1\ 691.50\pm 12.06$) mCi。表明轰击束流 $50\ \mu\text{A}$ 比 $35\ \mu\text{A}$ 时增加约100% ($t=-143.43$, $P=0.000$)。更高产量的正电子核素可以满足更多患者受检所需,大幅缩短了受检病人预约等待时间,更有利于临床工作的开展^[10]。

表1 MINItrace/Qilin升级前后 ^{18}F 离子产量对比Tab.1 Comparison of ^{18}F production of the MINItrace cyclotron before and after upgrade

轰击系统	n	F离子产量		
		35 μA , 60 min	35 μA , 90 min	50 μA , 60 min
MINItrace	30	822.50 ± 10.61	$1\ 163.60\pm 18.38$	/
Qilin	30	$1\ 263.01\pm 9.19$	$1\ 774.50\pm 14.85$	$1\ 691.50\pm 12.06$
t 配对	30	-85.86	-164.04	/
P		<0.001	<0.001	/

3.2 MINItrace/Qilin升级前后故障率对比

回顾性分析升级前MINItrace于2017年4月1日到2018年3月31日(12个月)的整机故障率及升级后Qilin于2018年4月11日到2019年4月10日的整机故障率见表2。结果表明升级前射频系统故障一年多达27次,射频不稳导致停机问题在升级后得到根本性解决,离子源及靶膜更换次数减少表明升级后离子源及靶膜的使用寿命变长。升级前MINItrace系统二级水冷系统异常发热致管道变形爆管,升级后尚未有异常发生。Qilin系统整机故障率较升级前下降86.8%。详见表2。

表2 MINItrace/Qilin升级前后故障率对比

Tab.2 Comparison of failure rates of the MINItrace/Qilin before and after upgrade

故障系统	Qilin	MINItrace	故障处理	故障下降(%)
射频系统	1	27	调节射频	96.3
离子源	3	6	更换离子源	50
靶	1	4	更换靶膜	75
二级水冷	0	1	更换水冷管道	100
整机故障	5	38	/	86.8

Qilin各系统升级后故障率较升级前均有明显降低,尤其是射频系统,根本性解决了射频不

稳定导致的意外停机。Qilin整机稳定性大幅提高,为临床工作的顺利开展提供了有效保障。

4 结论

Qilin在MINItrace的基础上通过改善离子源、射频控制系统、靶靶系统等子系统的工作效率,系统故障率明显降低,系统稳定性大幅提升,相应的维护保养周期大幅提高。离子源、靶膜的寿命延长降低了更换耗材费用,节省了运行成本。升级后的靶容量及有效靶电流增加,同样的轰击条件较升级前产量提高约45%,可以更好地为临床服务。

更好的系统稳定性及更加安全的系统维护方式,更长的保养维护周期也有效降低了系统维护中的工作人员辐射剂量。

该型号回旋加速器升级耗时约需10 d,周期短可放在长假进行。升级无须做新场地及环评等,对场地没有破坏、升级耗时短。可有效解决放射性药物供应及时性和稳定性的问题,为PET-CT检查流程顺利进行提供药物保障。

参考文献

- [1] 张晓锋, 杨建伟, 李鹏, 等. 行PET-CT检查的食管癌患者及相关人员受辐射剂量的估算[J]. 郑州大学学报(医学版), 2017, 52(4): 381-384.
- [2] YUSUKE I, KAZUNORI N, YOSHIHITO T, et al. Methods of CT dose estimation in whole-body ^{18}F -FDG PET/CT[J]. J Nucl Med, 2015, 56(5): 695-700.
- [3] 汪静, 李思进. 2018年全国核医学现状普查结果简报[J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2018, 38(12): 813-814.
- [4] 杨学文, 李帅, 李剑明. 医用回旋加速器的粒子产生与运动机制分析[J]. 医疗卫生装备, 2018, 39(9): 79-81.
- [5] 潘中允, 屈婉莹, 周诚, 等. PET-CT诊断学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2009.
- [6] 刘兰, 朱艳, 陈跃. ECLIPSE医用回旋加速器升级前后的运行分析[J]. 中国医疗装备, 2017, 32(9): 53-55.
- [7] PHAM V H, LEE S H, LI Y L, et al. Utility of tantalum(Ta) coating to improve surface hardness in vitro bioactivity and biocompatibility of Co-Cr[J]. Thin Solid Films, 2013, 536(6): 269-274.
- [8] SIIKANEN J, OHLSSON T, MEDEMA J, et al. A niobium water target for routine production of [^{18}F]Fluoride with a MC 17 cyclotron[J]. Appl Radiat Isotopes, 2013, 72: 133-136.
- [9] EBERL S, ERIKSSON T, SVEDBERG O, et al. High beam current operation of a PETtrace™ cyclotron for ^{18}F -production[J]. Appl Radiat Isotopes, 2012, 70: 922-930.
- [10] SOWA A R, JACKSON I M, DESMOND T J, et al. Futureproofing [^{18}F]Fludeoxyglucose manufacture at an academic medical center[J]. EJNMMI Radiopharm Chem, 2018, 3(12): 2-12.