

基于含镱探测器的 PET/CT 无源日常质量控制技术的实验验证与分析

梁国栋 胡佳琦 马健 夏凡

东软医疗系统股份有限公司, 沈阳 110000

通信作者: 夏凡, Email: xia-f@neusoftmedical.com

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20191113-00258

Experimental verification and analysis of PET/CT daily quality control technology without external radioactive source based on lutetium detector

Liang Guodong, Hu Jiaqi, Ma Jian, Xia Fan

Neusoft Medical Systems Co., Ltd, Shenyang 110000, China

Corresponding author: Xia Fan, Email: xia-f@neusoftmedical.com

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20191113-00258

PET 常规质量控制(简称质控)按测试的频度分为日常质控、周质控、月质控、年质控等。PET 日常质控是每天扫描计划执行前都要进行的 PET/CT 状态检测过程,通过晶体计数水平、探测器块(detector block,简称 Block)的计数一致性、定时准确性等检测内容,及时发现设备的问题,保证图像质量,以确保 PET/CT 设备安全稳定地运行。

传统日常质控需要外置的放射源,称之为有源日常质控。有源质控在实施过程中存在以下弊端:(1)有源质控需要使用外置放射源,放射源购置、使用以及废弃都需要备案,流程繁琐;放射源价格贵,采购周期长且依赖进口,造成诸多不便,医院的使用成本高、管理负担重。(2)有源质控模体有放射性,技师在对设备进行质控的过程中,会受到一定的电离辐射。(3)有源质控采用的模体质量大,摆放位置要求高,技师的操作难度大。(4)进行有源质控需要技师每天早上提前上班,延长了工作时间,增加了工作负荷。

为了解决上述问题,可应用于 NeuWise PET/CT 的无源质控技术(wise-source free quality control technology)被研发出来。本研究拟在机器正常状态和异常状态条件下均分别进行无源质控和有源质控,并对比二者输出的结果。

一、材料与方法

1. 仪器为 NeuWise PET/CT(东软医疗系统股份有限公司)。日常质控性能测试指标包括:(1)Block 效率,用于检测不同 Block 间计数的一致性,反映 Block 计数情况;(2)Block 噪声,即计算每个 Block 内部计数均匀性,反映 Block 计数情况;(3)低计数晶体,即计数过低的晶体的位置,反映晶体计数情况;(4)直接环计数效率,即计数异常晶体环的位置,反映晶体环计数情况;(5)Block 定时延迟量,即每个 Block 的定时偏差量,反映设备时间性能;(6)Block 定时分辨率,计算每个 Block 的定时分辨率,反映设备时间性能;(7)能峰偏移量,计算每个 Block 的能峰偏移量,反映设备能量性能。

2. 在仪器正常状态和异常状态条件下进行质控:在同一台正常运行的 NeuWise PET/CT 设备上,分别扫描 1 组本底数据进行无源质控和 1 组桶源数据进行有源质控,利用扫描数据计算实验测试的 7 个指标;人工调节 8 个 Block 的定时延

迟量,使仪器电子定时产生变化,同时人工调节 ID-161 Block 的增益,使其能峰发生较大偏移,该 Block 的计数也会受到影响,在同一台设备上再次使用本底数据和桶源数据进行无源质控和有源质控。

二、结果

1. 2 种状态下的质控报告结果见表 1,2。设备状态良好时,无源质控和有源质控在相同指标上,输出的状态检测结果一致,均未提示异常 Block 信息,表明设备可以正常使用。设备状态异常时,无源质控和有源质控在相同指标上输出的状态检测结果仍然一致。二者均显示设备上 ID-161 Block 有问题,且可以推断大概率是由于能峰偏移(如增益异常)导致的,但 1 个 Block 异常对设备影响不大,仍可以使用;问题在于有 8 个 Block 的定时偏差较大,需要进行时间校准后才能继续使用。

表 1 NeuWise PET/CT 正常质控报告

指标	阈值	结果	异常位置
Block 噪声	35[%]	通过	无
Block 效率	10[%]	通过	无
直接环计数效率	15[%]	通过	无
能峰偏移量	5[能级]	通过	无
低计数晶体	20[%]	通过	无
Block 定时延迟量	2[时间戳]	通过	无
Block 定时分辨率	15[时间戳]	通过	无

注:有源质控和无源质控均得到表中的结果。Block 为探测器块

表 2 NeuWise PET/CT 异常质控报告

指标	阈值	结果	异常位置
Block 噪声	35[%]	通过	无
Block 效率	10[%]	通过	161
直接环计数效率	15[%]	通过	无
能峰偏移量	5[能级]	通过	161
低计数晶体	20[%]	通过	无
Block 定时延迟量	2[时间戳]	不通过	9 36 41 58 78 117 125 167
Block 定时分辨率	15[时间戳]	通过	无

注:有源质控和无源质控均得到表中的结果

2.对设备进行定时校准,并将 ID-161 Block 的增益值恢复正常;同时拔掉 ID-162 和 ID-163 Block 的传输线,使其计数为 0。输出的 2 种质控报告结果均如表 3 所示。可见通过定时校准和调节增益,设备的时间和能量性能均恢复正常,Block 定时延迟量和能峰偏移量均再无异常 Block 报出。另外,当 Block 无效(Block 整体计数非常低)时,可以由 Block 效率指标检测出,有源质控和无源质控结果一致,均显示 ID-162 和 ID-163 Block 异常。

表 3 定时校准后 NeuWise PET/CT 质控报告

指标	阈值	结果	异常位置
Block 噪声	35[%]	通过	无
Block 效率	10[%]	不通过	162 163
直接环计数效率	15[%]	通过	无
能峰偏移量	5[能级]	通过	无
低计数晶体	20[%]	通过	无
Block 定时延迟量	2[时间戳]	通过	无
Block 定时分辨率	15[时间戳]	通过	无

注:除进行校准外,还拔掉了 ID-162 和 ID-163 Block 的传输线,使其计数为 0;有源质控和无源质控均得到表中的结果。Block 为探测器块

三、讨论

本研究应用的无源质控技术基于探测器晶体本身的放射性^[1],不适用于锗酸铋(BGO)、NaI 等晶体探测器,仅适用于含镅探测器的 PET/CT。NeuWise PET/CT 探测器采用的是硅酸钇镧/镧精细硅酸盐(LYSO/LFS)晶体,Lu 在自然状态下发生 β^- 衰变,伴随发出 3 种不同能级(307、202 和 88 keV)的 γ 光子。具有不同能量的 β 粒子和 γ 光子被不同的晶体探测到后,形成一个符合事件。该符合事件与有源质控时正电子湮灭发出的 2 个 511 keV 的 γ 光子形成的符合事件的作用相同。无源质控通过记录各符合事件的时间和位置信息计算每个晶体及 Block 的计数情况,能峰位置和符合时间偏差等技术参数,判断设备状态是否正常,进而验证无源质控和有源质控在日常质控方面取得的效果是否相同。

无源质控技术使用的晶体本底放射性较低、符合事件计数率偏低,因而要想满足计算要求,采集时间就需要延长。一般情况下,NeuWise PET/CT 有源质控技术需要采集 5 min,而无源质控技术则需要采集 20 min。为解决这一问题,设计了特有的预约式质控:操作者不用每天提前到医院进行质控扫描,只需要在系统中设置预约质控,系统就会在设定时间内自行运行质控协议,当操作者抵达控制室时,质控结果已呈

现在控制台桌面^[2-3]。

本研究所测的 7 个性能指标涵盖了对探测器组件(包括晶体、Block 和晶体环)的工作状态、探测器时间和能量性能以及设备整体稳定性的测试。当输出指标报错时,可以根据结果很快定位到异常原因,从而采取相应的措施,以确保设备可以正常运转。同一台机器在同一状态下,有源质控和无源质控在计算上述指标时,由于符合原理、数据分布、能谱图等并不相同,实际结果存在差异。此时通过设置合理的阈值,认为超过阈值即设备为异常状态,可使无源质控技术有效地检测出对于设备运行有明显影响的晶体、Block 或晶体环的位置。本研究中无源质控输出的异常指标和异常位置与有源质控在可接受范围内接近一致,无源质控与有源质控一样可用于监测设备状态,都能验证设备状态是否可以正常应用。

相比于有源质控,无源质控无需使用外置放射源,在减少技师的操作量及所受辐射剂量的同时,降低医院的使用成本和管理负担。因此,无源质控技术作为一种便捷有效的日常质控方法,可以替代传统有源质控技术对设备进行日常检查。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Rothfuss H, Panin V, Moor A, et al. LSO background radiation as a transmission source using time of flight [J]. Phys Med Biol, 2014, 59 (18): 5483-5500. DOI: 10.1088/0031-9155/59/18/5483.
- [2] 耿建华,陈英茂.核医学成像设备的质量控制标准及中国质量控制现状[J].中华核医学与分子影像杂志,2015,35(1):75-78. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.01.021.
Geng JH, Chen YM. Development and status of quality control and standard for nuclear medicine imaging equipment [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 35 (1): 75-78. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.01.021.
- [3] 中华医学会核医学分会. SPECT(/CT)和 PET/CT 临床质量控制与质量保证的基本要求(2014 版) [J]. 中华核医学与分子影像杂志, 2014, 34(6): 443-448. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.006.
Chinese Society of Nuclear Medicine. Requirements for quality control and quality assurance of SPECT(/CT) and PET/CT [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2014, 34(6): 443-448. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2014.06.006.

(收稿日期:2019-11-13)