

直线加速器设备稳定性评价指标体系建构研究

袁锦辉 李清松 沈艳

浙江大学医学院附属第二医院放疗科, 杭州 310009

【摘要】 目的 构建直线加速器稳定性评价指标体系, 建立科学、系统、客观评价其稳定性量化标准。方法 基于 Delphi 法和 AHP 法构建直线加速器设备稳定性 3 级指标体系, 运用 Microsoft Excel2007 和 SPSS 16.0 计算相关系数和权重。结果 两轮专家积极性分别为 85% (17/20) 和 92% (23/25), 专家权威系数分别为 0.79 和 0.87。专家 Kendall 协调系数 1、2、3 级指标分别为 0.957 ($P < 0.05$)、0.637 ($P < 0.05$) 和 0.527 ($P < 0.05$)。最终确立涵盖机械治疗系统和附件系统 2 个 1 级指标, 9 个 2 级指标和 32 个 3 级指标的多层级指标体系, 各级指标的 CV 均 < 0.25 且通过一致性检验。结论 直线加速器设备稳定性评价指标体系具备良好的科学性、可操作性和通用性, 可为直线加速器稳定性评价和购置设备提供理论和量化参考。

【关键词】 直线加速器; 德尔菲法; 指标体系

DOI: 10.3760/ema.j.cn113030-20210124-00042

Study of establishment of evaluation index system for stability of linac equipment

Yuan Jinhui, Li Qingsong, Shen Yan

Department of Radiation Oncology, The Second Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310009, China

【Abstract】 Objective To build an evaluation index system for linac stability and establish a scientific, systematic and objective evaluation standard for the stability of linac equipment. **Methods** Based on the Delphi and AHP methods, a three-level index system for the stability of linac equipment was established, and the correlation coefficients and weights were calculated using Microsoft Excel 2007 and SPSS 16.0. **Results** The enthusiasm of experts in two rounds was 85% (17/20) and 92% (23/25), the authority coefficients were 0.79 and 0.87, and the expert Kendall coordination coefficients were 0.957 (first-level index, $P < 0.05$), 0.637 (second-level index, $P < 0.05$) and 0.527 (third-level index, $P < 0.05$), respectively. Finally, a three-level index system covering 2 first-level indicators of mechanical treatment system and accessory system, 9 second-level indicators and 32 third-level indicators was established. The CVs of all levels of indicators were less than 0.25 and passed the consistency test. **Conclusion** The evaluation index system for linac equipment stability has good scientificity, operability and versatility, which can provide theoretical and quantitative reference for linac stability evaluation and equipment purchase.

【Key words】 Linear accelerator; Delphi; Index system

DOI: 10.3760/ema.j.cn113030-20210124-00042

2015 年国内恶性肿瘤新发和死亡人数约 392.9 万人和 233.8 万人, 且以每年 3.9% 和 2.5% 的增幅增长^[1]。据有关数据表明, 约 60%~70% 肿瘤患者在疾病不同阶段需要不同程度放疗。直线加速器在放疗中扮演重要角色, 直线加速器性能是否稳定直接关系患者的放疗安全及疗效^[2]。国内对于直线加速器的研究多集中在故障维修和质量控制方面^[3-4]; 对其稳定性缺乏系统评价, 特别是与临床治疗密切相关的设备评价研究。本文基于临床一线实践者的视角对直线加速器设备稳定性的相关指标进

行分析研究, 旨在为临床实践者提供相关参考和大型仪器设备采购的决策依据。

资料与方法

1. 研究方法

(1) 德尔菲法: 德尔菲 (Delphi) 法又称专家意见征求法, 20 世纪 50 年代由美国兰德公司创始。该方法采用匿名方式, 通过几次背对背方式向专家征求意见或建议, 综合各种意见最终形成比较准确的判断; 其以匿名性、独立性、反馈性和统计性特点广泛应用于医学和教育学等领域^[5]。

(2) 层次分析法: 层次分析法 (analytic hierarchy process, AHP) 是美国运筹学家 T. L. saaty 于 20 世纪 70 年代中期提出的一种结合网络系统理论和多目标综合评价方法的层次权重决策方法。该方法将研究问题分解为不同因素, 依据因素关联与隶属关系聚合成目标层、准则层和方案层等多层次结构模型, 最终将研究问题转归为底层对上一层的权值确定或优劣排序。由于其实用性和有效性, 受到经济管理、人才评价、能源政策和医疗等领域学者的广泛青睐^[6-7]。

2. 架构初步框架

(1) 评价指标筛选: 查阅国内外数据库相关文献结合实践经验, 以全面性、独立性、科学性、重复性和认同度高的原则讨论确定初步指标草案^[8-10]。

(2) 专家遴选: 运用 Delphi 法, 依据研究目的确定两轮专家人数分别为 20 名和 25 名^[7]; 专家涵盖国内三甲医院相关领域工作经验和研究经历丰富的技师、物理师和主流品牌厂家工程师等。

(3) 专家咨询: 采用互联网问卷形式征集专家建议。首轮专家对指标的重要性和可行性依据 Likert5 级量表打分; 第 2 轮专家根据矩阵理论对同级指标要素的重要性参考 1~9 标度进行两两对比判断, 构建判断矩阵^[11]。测算两轮专家的积极性 (RR)、权威系数 (Cr)、Kendall 协调系数 (W) 和变异系数 (CV) 等。

(4) 指标权重: 采用 AHP 计算各级指标权重, 相对于简单赋值确权, AHP 人为干扰因素小, 结果更为科学合理^[10, 12-13]。

依据公式(1)计算指标的几何平均数。

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

式中 n 为阶数, \bar{w}_i 为几何平均数。对 \bar{w}_i 归一化后依公式(2)计算指标权重 w_i 。

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum_{i=1}^n \bar{w}_i} \quad (2)$$

(5) 判断矩阵一致性: 依据公式(3)和(4)分别计算 λ_{\max} 和 CI , 查询表 1 阶数对应的 RI 值, 若 $CI/RI < 0.1$, 矩阵满足一致性要求, 否则重新判断和计算。

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{nw_i} \quad (3)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (4)$$

式中 $(Aw)_i$ 为向量 Aw 的第 i 个元素, n 为阶数。

表 1 随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32

各级指标权重依据专家评分进行加权计算并计算 2、3 级指标的组合权重^[14-15]。

3. 赋值: 指标重要性按照“非常重要”、“比较重要”、“一般”、“不重要”和“非常不重要”对应赋值 5、4、3、2、1 分, 其依据主要源于专家学识和临床经验; 专家对于指标要素熟悉程度 C_s 、判断依据 C_a (理论分析、工作经验、同行了解和感性认识) 及程度 (大、中和小) 依据学者曾光的研究分别赋值^[16]。

4. 判断依据: 专家 RR 和 Cr 以 0.7 为参考水平, >0.7 说明专家的积极性和权威性高结果可靠^[7]。专家集中程度 >3.5 , $CV < 0.25$ 说明专家对某一指标的意见趋于一致^[10, 17], 指标保留; 否则修改或删除。Kendall 协调系数 (W) 反映专家对整体方案意见协调程度, 国内学者研究多以 0.5 为参考依据^[7]。 $P < 0.05$ 为结果有统计学意义, 预测的结果具有较高的可信度。

结 果

1. 专家的积极性: 首轮专家人数为 20 名, 发放问卷 20 份, 回收问卷 17 份, 有效问卷 17 份; 第 2 轮专家人数 25 名, 发放问卷 25 份, 回收问卷 23 份, 有效问卷 23 份。两轮专家的 RR 分别为 0.85 (17/20) 和 0.92 (23/25), RR 均 >0.7 , 表明专家的参与积极性很高。

2. 专家基本情况: 23 名专家中男性 17 名、女性 6 名; 本科以下 1 名、本科 11 名、硕士 7 名、博士 4 名; 工作时间 6~10 年 10 名、11~15 年 8 名、 >15 年 5 名 (其中 >30 年 1 名); 中级职称 15 名、副高级职称 6 名、正高级职称 2 名; 医生 2 名、技师 10 名、工程师 6 名和物理师 5 名。

3. 专家权威系数和变异系数: 专家的权威系数和变异系数见表 2 和表 3。两轮专家 Cr 分别为 0.79 和 0.87, 专家权威性较高, 结果可靠性高。专家集中程度用指标重要性赋值均数来衡量, 数值越大指标越重要。变异系数反映不同专家对同一指标的协调性, 数值越小协调性越高分歧越小; 其中机械治疗系统、温控模块和激光灯的 CV 为 0, 专家对这几项指标认同度最高。

4. 专家的 Kendall 协调系数: 首轮专家各级指标

表 2 专家权威系数

轮次	Ca	Cs	Cr
1	0.88	0.7	0.79
2	0.93	0.81	0.87

注:Ca 为判断依据,Cs 为熟悉程度,Cr 为权威系数。

表 3 专家意见集中程度和变异系数

指标名称	平均值	标准差	变异系数
机械治疗系统	5.00	0.00	0.00
附件系统	3.74	0.53	0.14
加速系统	4.91	0.28	0.06
辐射系统	4.70	0.55	0.12
剂量检测系统	4.87	0.34	0.07
控制系统	4.78	0.41	0.09
运动系统	4.13	0.54	0.13
计算机系统	3.78	0.41	0.11
防护门	4.87	0.34	0.07
灯光系统	4.83	0.38	0.08
对讲监控系统	3.74	0.53	0.14
加速管	4.91	0.28	0.06
真空管	4.78	0.41	0.09
微波系统	4.83	0.38	0.08
脉冲调制器	4.65	0.56	0.12
束流系统	4.70	0.46	0.10
均整块	4.91	0.28	0.06
散射箔	4.91	0.28	0.06
上下光阑	4.74	0.53	0.11
限束器	4.87	0.34	0.07
电离室	4.78	0.41	0.09
前置放大器	4.83	0.38	0.08
检测剂量仪	4.91	0.28	0.06
系统柜电源	4.91	0.28	0.06
温控模块	5.00	0.00	0.00
剂量率	4.87	0.34	0.07
均整度	4.83	0.38	0.08
机架旋转	4.87	0.45	0.09
治疗床运动	4.96	0.20	0.04
多叶准直器	4.96	0.20	0.04
治疗头旋转	4.91	0.28	0.06
软硬件良好	4.78	0.41	0.09
操作系统稳定	4.96	0.20	0.04
网络通讯	4.04	0.62	0.15
门驱动电机	4.96	0.20	0.04
安全装置	4.83	0.38	0.08
变频装置	3.74	0.50	0.13
激光灯	5.00	0.00	0.00
室内灯光	3.70	0.57	0.15
主机	4.87	0.34	0.07
扬声器	3.96	0.69	0.17
摄像头	4.87	0.34	0.07
显示器	4.00	0.59	0.15

各级指标的协调系数分别为 0.957、0.637 和 0.527,余见表 4。第 2 轮专家的协调系数明显高于第 1 轮 ($P < 0.05$),说明专家的协调程度趋向一致。

表 4 专家的 Kendall 系数

项目	协调系数	χ^2 值	P 值
1 级指标			
1 轮	0.824	14.000	<0.001
2 轮	0.957	22.000	<0.001
2 级指标			
1 轮	0.299	40.640	<0.001
2 轮	0.637	117.182	<0.001
3 级指标			
1 轮	0.300	158.012	<0.001
2 轮	0.527	375.654	<0.001

5. 指标体系框架:综合两轮专家意见及计算结果,删除初步指标“微波功率源”、“微波传输”和“门机联锁”指标,最终形成 2 个 1 级指标,9 个 2 级指标和 32 个 3 级指标的多层次递进评价指标体系。

6. 权重结果:1 级指标“机械治疗系统”和“附件系统”的权重分别为 0.83 和 0.17;2 级指标中加速系统、辐射系统和运动系统位居前三,权重分别为 0.232、0.141 和 0.133;3 级指标中加速管、电离室、均整块、系统柜电源和多叶准直器权重居前;余见表 5。各级指标均通过一致性检验。

讨 论

Delphi 法由于匿名性和独立性等特点使其成为最有效的判断预测方法,避免专家碍于情面,附和权威等而不愿发表意见的弊端,充分利用专家经验和学识、反馈吸收专家意见,保持问卷结论科学性、客观性和统一性^[5]。AHP 法有机结合定性和定量分析方法,不需要高深数学和逻辑推理能力就可将复杂的研究问题分解成人们易于接受的单目标问题^[6,10]。Delphi 法和 AHP 法结合研究直线加速器设备稳定性,将其稳定性指标的重要性和判断矩阵运用 Delphi 法交由专家依据自身经验和学识判定,AHP 进行权重计算,两者的结合有效解决直线加速器设备指标量化研究难题。Delphi 法成功与否的核心在于专家的选择^[17];本研究的专家均是多年工作在临床一线的加速器操作者和维护人员,工作 > 10 年人员占 57%,主要角色包括放疗师、物理师和工程师,代表性强。首轮专家积极性 85%,专家们参与积极性很高,同时十分关注指标选取问题,对首轮指标“加速系统”“防护门系统”“微波功率源”“微波传输”和“门机联锁”等给予建设性修改建议。

的协调系数分别为 0.824、0.299 和 0.3,第 2 轮专家

表 5 直线加速器稳定性评价指标体系及权重

1 级指标	权重	2 级指标	权重	组合权重	3 级指标	权重	组合权重
机械治疗系统	0.83	加速系统	0.28	0.232	加速管	0.60	0.139
					真空管	0.14	0.033
					微波系统	0.09	0.021
					束流系统	0.09	0.020
					脉冲调制器	0.08	0.019
		辐射系统	0.17	0.141	均整块	0.46	0.065
					散射箔	0.20	0.028
					上下光阑	0.18	0.025
					限束器	0.16	0.023
					多叶准直器	0.38	0.050
		运动系统	0.16	0.133	机架旋转	0.25	0.033
					治疗床运动	0.20	0.027
					治疗头旋转	0.17	0.023
					电离室	0.53	0.066
					检测剂量仪	0.25	0.031
		剂量检测系统	0.15	0.125	前置放大器	0.22	0.027
					系统柜电源	0.48	0.060
					均整度	0.18	0.022
					温控模块	0.17	0.021
					剂量率	0.17	0.021
计算机系统	0.09	0.075	操作系统稳定	0.43	0.032		
			软硬件良好	0.33	0.025		
			网络通讯	0.24	0.018		
			门驱动电机	0.41	0.045		
			安全装置	0.35	0.038		
附件系统	0.17	防护门	0.64	0.109	变频装置	0.24	0.026
					激光灯	0.69	0.026
灯光系统	0.22	0.038	0.038	0.038	室内灯光	0.31	0.012
					主机	0.51	0.012
					摄像头	0.20	0.005
					显示器	0.16	0.004
					扬声器	0.13	0.003
对讲监控系统	0.14	0.024	0.024	0.024	摄像头	0.20	0.005
					显示器	0.16	0.004
					扬声器	0.13	0.003

安全和精准运行的有力保障。计算机系统权重最低,相比其他系统,其对放疗效果影响最小,维修耗时和成本均不高。附件系统下属的防护门系统权重最高,作为阻隔机房与外界环境的屏障,其关乎着放疗和环境辐射安全,由于使用频率高,对其稳定性要求更高。对讲监控系统权重最低,由于其故障率低,可替代性强。3 级指标中加速管的权重最高,作为产生高能 X 射线的关键部件,直接影响射线的质量,其发生故障维修经济和时间成本很高,因此对其稳定性要求较高。电离室的权重位于第 2 位,检测照射野的强度和位置,作为连接控制系统与剂量监测重要器件,稳定性不言而喻^[18]。多叶准直器作为运动系统下属 3 级指标中权重最高的指标,在 3 级指标中位于第 5,临床上多叶准直器系统是故障率高发系统之一^[19]。随着放疗技术的发展特别是容积调强弧形治疗等技术的应用和肿瘤精准化治疗,对多叶准直器系统稳定性

两轮专家的 Cr 均>0.7,其中第 2 轮 Cr 为 0.87,具有很高的权威性,由此得到的结果可信度高。各级指标的 CV 均<0.25,W>0.5,专家对于各级指标的分歧小,协调性和集中程度高。研究结果真实可靠,建立的评价指标体系对于评价设备稳定性起到积极地推动作用。

1 级指标中“机械治疗系统”的权重远大于“附件系统”,其作为加速器的主轴,是放疗成败的关键;而附件系统是机械治疗系统的重要辅助,关系着放疗的安全和精准性。2 级指标中加速系统权重最重,是加速器的核心部分;临床工作中加速系统故障维修耗时最长,维修费用高昂。辐射系统权重位列第 2,其主要将加速系统产生的杂乱 X 线整束成均匀性和对称性满足临床需求的辐射野。控制系统位居机械治疗系统下属 2 级指标第 4,是加速器高效、

的考验和挑战与日俱增。防护门系统下属的驱动电机指标在附件系统所有 3 级指标中的权重最高,在所有 3 级指标中位列第 6;由于其使用频率、门重量和制作工艺等因素,使其在临床中故障率较高;显示器、摄像头和扬声器因制作工艺成熟,可替代性强,临床上较少发生故障,权重最低。

目前,国内对于直线加速器设备稳定性缺少相关评价体系及系统评价。本研究构建评价体系,对直线加速器设备稳定性进行初步探索,旨在对后续研究和决策者购置设备提供理论和量化依据。由于加速器本身结构错综复杂,构件功能交叉,细分指标有一定困难;同时某些设备上的机载影像系统、呼吸门控系统未进行研究,后续将继续完善研究。

利益冲突 所有作者声明不涉及任何相关利益冲突

作者贡献声明 袁锦辉负责研究设计、问卷设计分析和论文写作修

改;李清松和沈艳负责问卷发放、回收、数据整理及分析

参 考 文 献

- [1] 郑荣寿, 孙可欣, 张思维, 等. 2015 年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2019, 41(1): 19-28. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3766. 2019. 01. 008.
- Zheng RS, Sun KX, Zhang SW, et al. Report of cancer epidemiology in China, 2015 [J]. Chin J Oncol, 2019, 41(1): 19-28. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0253-3766. 2019. 01. 008.
- [2] 全力. 我国医用直线加速器发展现状与进展[J]. 中国科技信息, 2017(5): 93-94. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-8972. 2017. 05. 035.
- Quan L. Development status and progress of medical linear accelerators in China [J]. Chin Sci-Tech Infor, 2017(5): 93-94. DOI: 10. 3969/j. issn. 1001-8972. 2017. 05. 035.
- [3] 郎朗, 谭赢, 赵鹏, 等. 基于德尔菲专家咨询法构建放疗加速器设备售后服务质量指标体系的初探研究[J]. 肿瘤预防与治疗, 2020, 33(10): 865-869. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-0904. 2020. 10. 008.
- Lang L, Tan Y, Zhao P, et al. An index system for after-sales service quality of radiotherapy accelerators based on delphi expert consensus method: a preliminary study [J]. J Cancer Contr Treat, 2020, 33(10): 865-869. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-0904. 2020. 10. 008.
- [4] 杜翔, 杨春勇, 周献锋, 等. 江苏省部分医用电子直线加速器质量控制检测结果分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2014, 34(9): 697-699. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-5098. 2014. 09. 015.
- Du X, Yang CY, Zhou XF, et al. Analysis of quality control test results of some medical electronic linear accelerators in Jiangsu province [J]. Chin J Radiol Med Prot, 2014, 34(9): 697-699. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-5098. 2014. 09. 015.
- [5] Humphrey-MurtoS, Wood TJ, Gonsalves C, et al. The delphi method [J]. Acade Med, 2020, 95(1): 168. DOI: 10. 1097/ACM. 0000000000002887.
- [6] 苟茹君, 韩迎春, 吕辉. 设备跟踪质量综合评定方法应用[J]. 无线电工程, 2017, 47(5): 79-83. DOI: 10. 3969/j. issn. 1003-3106. 2017. 05. 19.
- Gou RJ, Han YC, Lyu H. Application of method for evaluating the tracking quality of measurement equipment [J]. Radio Engin, 2017, 47(5): 79-83. DOI: 10. 3969/j. issn. 1003-3106. 2017. 05. 19.
- [7] 韩鹏. 北市某三级甲等综合医院医学人文关怀指标体系建立的理论及实证研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- HanP. Theoretical and empirical research on the establishment of a medical humanistic care index system in a tertiary general hospital in Beijing [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [8] 周怀恒, 陈雄, 杨康基. 医用直线加速器的基本结构和日常保养[J]. 医疗装备, 2016, 29(3): 80-81. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-2376. 2016. 03. 049.
- Zhou HH, Chen X, Yang KJ. Basic structure and daily maintenance of medical linear accelerator [J]. Med Equip, 2016, 29(3): 80-81. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-2376. 2016. 03. 049.
- [9] 许章顶. BJ—6B 医用直线加速器结构原理及维修[J]. 医疗装备, 2014, 27(8): 57-58. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-2376. 2014. 08. 032.
- Xu ZD. Structural principle and maintenance of BJ-6B medical linear accelerator [J]. Med Equip, 2014, 27(8): 57-58. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-2376. 2014. 08. 032.
- [10] 张朋, 李坚. Elekta 加速器运动系统工作原理及故障维修[J]. 中国医疗设备, 2019, 34(11): 187-188. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-1633. 2019. 11. 048.
- Zhang P, Li J. Working principle and troubleshooting of elekta accelerator motion system [J]. Chin Med Device, 2019, 34(11): 187-188. DOI: 10. 3969/j. issn. 1674-1633. 2019. 11. 048.
- [11] Saaty TL. Decision making, scaling, and number crunching [J]. Dec Sci, 1989, 20: 404-409.
- [12] 夏萍, 汪凯, 李宁秀, 等. 层次分析法中求权重的一种改进[J]. 中国卫生统计, 2011, 28(2): 151-154. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-3674. 2011. 02. 011.
- Xia P, Wang K, Li NX, et al. Improvement of index weight in analytic hierarchy process [J]. Chin Health Statis, 2011, 28(2): 151-154. DOI: 10. 3969/j. issn. 1002-3674. 2011. 02. 011.
- [13] 孙振球, 王乐山. 医学综合评价方法及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- Sun ZQ, Wang LS. Comprehensive medical evaluation method and application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [14] Lee M. Strategies for promoting the medical device industry in Korea: an analytical hierarchy process analysis [J]. Int J Environ Res Public Health, 2018, 15(12): pII: E2659. DOI: 10. 3390/ijerph15122659.
- [15] Wu SH, Xie J, Liu XD, et al. Marginal optimization method to improve the inconsistent comparison matrix in the analytic hierarchy process [J]. J Syst Eng Electron, 2017, 28(6): 1141-1151.
- [16] 曾光. 现代流行病学方法与应用[M]. 北京: 北京医科大学、中国协和医科大学联合出版社, 1994: 250-259.
- Zeng G. Modern epidemiological methods and applications [M]. Beijing: Beijing Medical University and Peking Union Medical University Joint Press, 1994: 250-259.
- [17] 薛浩, 贾文霄, 程敬亮, 等. MRI 设备可靠性评价指标体系的构建[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(1): 134-137. DOI: 10. 13929/j. issn. 1003-3289. 2020. 01. 037.
- Xue H, Jia WX, Cheng JL, et al. Construction of evaluation index system for reliability of MR equipment [J]. Chin J Med Imaging Tech, 2020, 36(1): 134-137. DOI: 10. 13929/j. issn. 1003-3289. 2020. 01. 037.
- [18] 唐志全, 谢源贵, 曾勇, 等. 瓦里安 2300CD 加速器电离室隐性故障一例分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2017, 26(12): 1449-1450. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1004-4221. 2017. 12. 020.
- Tang ZQ, Xie YG, Zeng Y, et al. Analysis of a case of hidden failure of the ionization chamber of Varian 2300CD accelerator [J]. Chin J Radiat Oncol, 2017, 26(12): 1449-1450. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1004-4221. 2017. 12. 020.
- [19] 谭庭强, 李黎, 黄仁炳. 23EX 直线加速器 7 年故障统计分析经验[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(12): 1341-1344. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1004-4221. 2016. 12. 015.
- Tan TQ, Li L, Huang RB. Experience in statistical analysis of failures of a23EX linear accelerator with 7-years [J]. Chin J Radiat Oncol, 2016, 25(12): 1341-1344. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1004-4221. 2016. 12. 015.

(收稿日期: 2021-01-24)