

## 不同背向散射条件对晨检仪QABC+测量结果的影响

龙亮<sup>1</sup>, 徐中标<sup>1</sup>, 韩俊杰<sup>1</sup>, 吕凤泉<sup>1</sup>, 黄唯<sup>1</sup>, 梁瑜<sup>1</sup>, 高兴旺<sup>1,2</sup>

1. 广东省人民医院/广东省医学科学院放疗科, 广东 广州 510080; 2. 中国医学科学院肿瘤医院深圳医院设备物资部, 广东 深圳 518116

**【摘要】目的:**研究不同背向散射条件对晨检仪QABC+测量结果的影响。**方法:**将QABC+和参考电离室模块(由指型电离室和固体水构成)分别放在加速器治疗床的两个固定位置(头部A和网部B),源到上表面距离100 cm。以QABC+和参考电离室模块下方铺设的固体水厚度作为变量(0~8 cm、10 cm、15 cm),测量对应背向散射因子 $B_s$ 值。**结果:**固体水厚度超过5 cm之后,参考电离室测的 $B_s$ 值趋于稳定,变化在1%内。QABC+测的 $B_s$ 值偏大且在5~15 cm固体水之间仍有3.1%的增长;治疗床A位置等效为5 cm固体水。**结论:**QABC+测量结果受到背向散射的影响较常规电离室要大,且测得 $B_s$ 值被放大,背向散射条件的轻微变化可能导致晨检仪误报。建议在晨检仪使用前应通过实验测量确定背向散射条件对其读数的影响,或者固定摆位条件以保证散射条件的稳定,使晨检设备高效、稳定、可靠地工作。

**【关键词】**晨检仪;背向散射;直线加速器;治疗床;质量控制

**【中图分类号】**R811

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2022)06-0666-05

## Effects of different backscattering conditions on QABC+ measurements

LONG Liang<sup>1</sup>, XU Zhongbiao<sup>1</sup>, HAN Junjie<sup>1</sup>, LÜ Fengquan<sup>1</sup>, HUANG Wei<sup>1</sup>, LIANG Yu<sup>1</sup>, GAO Xingwang<sup>1,2</sup>

1. Department of Radiotherapy, Guangdong Provincial People's Hospital/Guangdong Academy of Medical Sciences, Guangzhou 510080, China; 2. Department of Medical Device Management, Shenzhen Center, Cancer Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Shenzhen 518116, China

**Abstract: Objective** To investigate the effects of different backscattering conditions on the measurement results of the QA beamchecker plus (QABC+). **Methods** QABC+ and a reference phantom composed of PTW thimble ionization chamber and solid water were placed at the fixed positions (positions A and B) on the treatment couch, with the source-to-surface distance of 100 cm. Taking the thickness (0-8 cm, 10 cm, and 15 cm) of solid water under the reference phantom and QABC+ as the variations, the corresponding backscatter factor ( $B_s$ ) was measured. **Results** Once the solid water thickness exceeded 5 cm, the  $B_s$  measured by the reference ionization chamber tended to be stable and varied within 1%, while the  $B_s$  measured by QABC+ was larger and still increased by 3.1% for 5 to 15 cm of solid water. Position A on the couch was equivalent to 5 cm of solid water. **Conclusion** QABC+ measurements are more affected by backscatter than conventional ionization chambers, and the  $B_s$  are amplified. Slight differences in backscattering conditions may cause false alarms from QABC+. It is recommended that before the use of daily QA instrument, the effects of backscattering conditions on its reading should be determined through experimental measurement, and the positioning conditions should be fixed to ensure the stability of scattering conditions and make daily QA instrument work efficiently, stably and reliably.

**Keywords:** QA beamchecker plus; backscatter; linear accelerator; treatment couch; quality control

## 前言

基于肿瘤控制概率相关研究报告和美国医学物理学家协会(AAPM TG-40)工作报告建议,为达到预期的肿瘤反应,临床中直线加速器的输出剂量偏差应控制在3%以内<sup>[1-3]</sup>。目前,调强放疗等新技术已逐渐取代传统三维适形放疗技术,以更高的剂量一致性和同质性,在肿瘤控制和正常组织并发症概率方面显示出更好的结果,提高了临床治疗增益比<sup>[4-9]</sup>;然

**【收稿日期】**2021-12-01

**【基金项目】**广东省基础与应用基础研究基金(2019A151511182);广东省人民医院自然配套启动资金(6200010127)

**【作者简介】**龙亮,硕士研究生,助理工程师,研究方向:医学物理, E-mail: 905983814@qq.com

**【通信作者】**高兴旺,博士,工程师/物理师,研究方向:医学物理, E-mail: gxw2013@qq.com

而,调强放疗等技术的精准实施对射线束流系统提出了更高的质量控制和质量保证要求。根据 AAPM TG-142 报告建议,需要对射线束流系统的稳定性进行日常晨检质控<sup>[10]</sup>。几种常见晨检仪如 LINACHECK、QUICKCHECK weblne、QA BEAMCHECKER、Daily QA3 的稳定性均符合 AAPM TG-142 报告中对医用直线加速器每日测量的要求,且偏差均 $<0.5\%$ <sup>[11-12]</sup>。临床实践中,摆位、照射野大小<sup>[13]</sup>、背向散射条件<sup>[14]</sup>、晨检仪结构<sup>[15]</sup>都会影响探测器的测量结果,而且治疗床结构复杂,每个位置的背向散射都可能不同,对晨检仪的测量结果产生不同的影响,很难保证测量的重复性。本研究拟通过标准指型电离室模块测量实验来研究不同背向散射条件对晨检仪测量结果的影响,从而避免干扰因素带来的误读误判,为规范使用晨检设备提供参考和有效保证。

1 材料与方法

1.1 晨检仪 QABC+与参考电离室模块

晨 检 仪 (QA Beamchecker Plus, SI), 简 称 QABC+: 由 1 个中心探测器、4 个象限探测器和 3 个能量鉴别电离室,共 8 个平板电离室组成,电离室体积为 0.6 cc,平板间隔为 4.0 mm,收集电极直径为 1.39 cm。QABC+分为 Electron 和 Photon 两个测量面,各内置 1.5 cm 和 3.5 cm 等效水密度建成材料,使用 20 cm×20 cm 射野覆盖所有探头,分别对电子线和光子线进

行晨检。本研究根据说明书拟使用该设备的 Physics 模式,该模式下允许 QABC+作为一个 5 通道电离室和静电计阵列进行实时测量,收集到的数据不与基线相关联,其所得读数均为无量纲,来自放大器“模/数”转换器的计数,显示为“读出单元(Unit)”。日常晨检测量时,直接将 QABC+摆放在加速器的治疗床面上(图 1)。

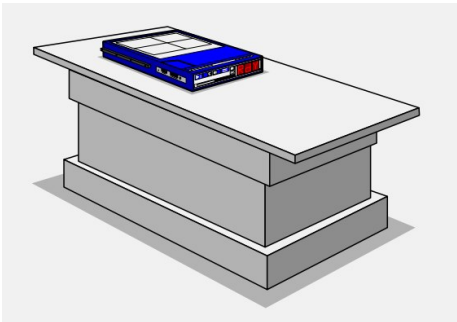


图1 晨检仪 QABC+测量摆位示意图  
Figure 1 Setup of QA beamchecker plus (QABC+)

参考电离室模块:模拟与 QABC+相近的结构条件,使用等效固体水模(30 cm×30 cm×30 cm, CIRS)搭建参考测量模块,将指型电离室(Farmer 0.6 cc, PTW-30013)放在固体水适配器中,适配器上下均添加固体水,使得电离室中心位置距固体水上表面 3.5 cm,距下表面 1.5 cm(图 2)。

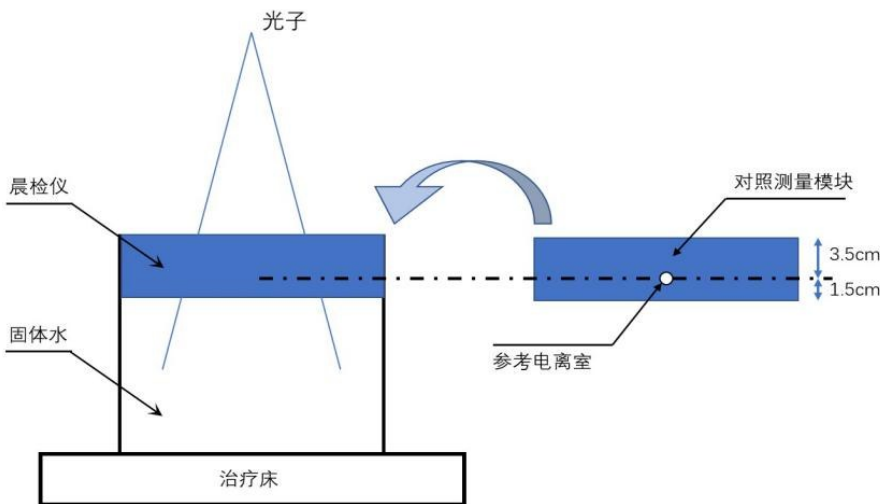


图2 参考电离室模块  
Figure 2 Reference ionization chamber module

1.2 不同背向散射条件对晨检仪 QABC+测量结果的影响

测量前,根据 IAEA 277 号报告完成加速器(Elekta Precise)输出剂量校准<sup>[16]</sup>。照射方案为光子线能量 6 MV,

射野 20 cm×20 cm,剂量率 400 MU/min,出束 100 MU,源皮距 SSD=100 cm, QABC+摆放于治疗床指定位置,出束测量并记录 3 次读数,取 3 次平均读数作为该条件测量结果。其余条件不变,在 QABC+底面与床板间逐层

添加固体水(0~8 cm、10 cm、15 cm)并依次测量得到一组读数;作为QABC+测量结果的参考标准,用参考电离室模块替换QABC+,并按其相同照射条件和方案测量得到另一组读数。先后在Precise板网结合床面距头部顶端22.5 cm,结合缝上方1 cm的A处和网部中心B处按上述方案进行测量(图3)。

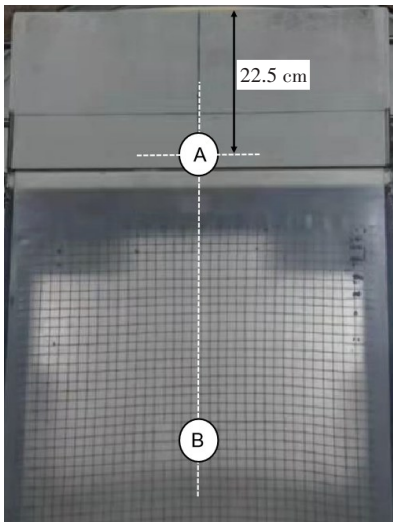


图3 Precise床面测量位置A、B示意图  
Figure 3 Positions A and B on Precise couch

1.3 数据处理

本研究根据QABC+的结构与背向散射定义,引入背向散射因子 $B_s$ ,其计算公式为:

$$B_s=M_d/M_0$$
(1)

其中, $M_d$ 为参考电离室模块(或QABC+)在各条件下测量的读数; $M_0$ 为参考电离室模块(或QABC+)在网部B处无固体水添加时测量的读数。

最后使用Origin2017软件对实验数据进行分析处理。

2 结果

参考电离室模块和QABC+的测量结果见表1。在不垫固体水时,参考电离室在头部衔接处A和网部B处测得的平均读数分别为(98.7±0.04)、(96.94±0.05) cGy, QABC+在A、B处测得的平均读数分别为(30 311±1)、(28 848±13) Unit, 读数均随着所垫固体水厚度的增加而增加。参考电离室与QABC+分别以各自板网治疗床网部B处无固体水添加时的测量读数进行归一得到 $B_s$ 值,结果见图4。无固体水添加时,参考电离室在头部衔接A处测得的 $B_s$ 值比网部B处高约1.8%;随着固体水从0~8 cm逐层添加,以网部B处的 $B_s$ 值增长较为明显;固体水加至8 cm之后,增长趋势均趋于平缓,在15 cm时两处的

$B_s$ 值均增加约2.8%。QABC+的测得 $B_s$ 值在无固体水添加时,头部位置A处的 $B_s$ 值比网部B处高约5.1%;在垫加至15 cm固体水后,A、B两处的 $B_s$ 值分别增大到8.6%和9.2%,并趋于稳定,且相差不超过1%。

表1 参考电离室和QABC+的测量结果  
Table 1 Measurement results of reference ionization chamber and QABC+

固体水厚/cm	参考电离室		QABC+	
	头部 A/cGy	网部 B/cGy	头部 A/Unit	网部 B/Unit
0	98.70±0.04	96.94±0.05	30 311±1	28 848±13
1	98.79±0.02	97.44±0.03	30 514±17	29 270±15
2	98.91±0.03	98.07±0.04	30 714±9	29 633±18
3	99.08±0.06	98.26±0.02	30 792±27	29 912±20
4	99.18±0.03	98.60±0.04	30 953±4	30 163±2
5	99.26±0.07	98.71±0.03	31 093±22	30 381±7
6	99.43±0.02	98.91±0.03	31 168±30	30 617±14
7	99.41±0.02	99.10±0.03	31 238±9	30 770±15
8	99.42±0.04	99.21±0.08	31 273±11	30 890±12
10	99.61±0.02	99.35±0.04	31 381±29	31 070±15
15	99.62±0.02	99.65±0.04	31 516±23	31 324±15

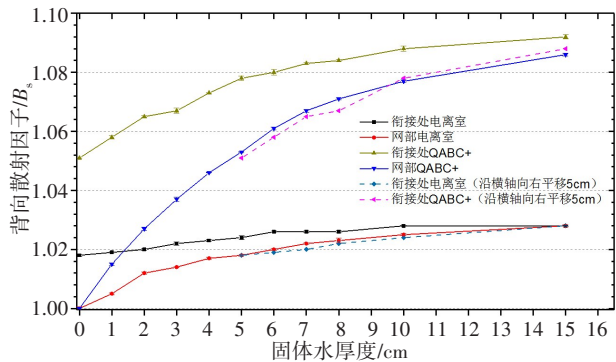


图4 参考电离室模块与QABC+测量6 MV光子线在头部衔接处A或网部B处的背散射因子( $B_s$ )  
Figure 4 Backscatter factor  $B_s$  at position A or B measured by reference ionization chamber and QABC+ for 6 MV X-ray

3 讨论

随着放疗设备的更新和精准放疗技术的开展,临床中越来越重视提高放疗精准度的手段和保证措施。根据ICRU 83号报告,肿瘤根治剂量的精确度需控制在±5%以内,否则可能会降低肿瘤局部控制率,增加正常组织和器官的并发症<sup>[17]</sup>。AAPM TG-142报告规定医用直线加速器输出稳定性误差应控制在3%以内<sup>[10]</sup>,射线束流状态稳定性在保证放疗质量方面至关重要,集成化电离室或二极管阵列等商业化晨检设备可用于晨检监督加速器束流状态,已在放疗



临床质控中逐渐普及<sup>[18-20]</sup>。商业化晨检设备多采用的平板电离室对于光子线,特别是高能光子线,电离室壁扰动因子的不确定性较大;有测量证据表明,同一类型的平行板电离室的光子束修正因子的变化高达3.6%,所以测量光子线时,它仅用来做相对剂量测量<sup>[21-23]</sup>。为便于使用,平板电离室通常集成在电路板与固定厚度的等效水材料中,缺乏足够的背向散射材料,而不同结构与材质的治疗床是背向散射主要来源,给晨检仪的测量结果带来了不确定性。

McDermott<sup>[24]</sup>使用PTW-Linaccheck晨检仪测量加速器输出,治疗床等效成1~2 cm的背向散射材料,这会使晨检仪读数增加0.3%~0.6%。为研究不同背向散射条件对晨检仪的影响,本研究使用QABC+和参考电离室模块分别在不同背向散射条件和摆位位置下对直线加速器(Elekta Precise)6 MV光子线束流进行测量。结果发现,在不添加固体水时,参考电离室模块在衔接处A较网部B处测得 $B_s$ 值偏大1.8%,而QABC+测得 $B_s$ 值则偏大5.1%;将衔接处A测得的 $B_s$ 值结果整体向横轴右侧平移5 cm,可以看到其与网部B处添加5 cm固体水之后测得 $B_s$ 值的变化趋势和值高度重合,当所添加固体水厚度达到5 cm之后,治疗床的金属结构产生的反向散射几乎被固体水吸收达到平衡。

在网部相同测量条件下,固体水厚度在5 cm之后,标准参考电离室测量的 $B_s$ 值趋于稳定,变化在1%之内,而且在10~15 cm厚度时,背向散射对其测量结果的影响减小到0.3%。这与Hu等<sup>[25]</sup>通过蒙特卡罗计算的背向散射校准因子与实验测量的基于0.3%的测量读数不确定度和0.4%的摆位误差不确定度,在重复测量情况下的综合测量标准偏差有0.5%的结论相吻合。然而与标准参考电离室相比,QABC+测量的 $B_s$ 值明显偏大,且测量结果在5~15 cm之间仍有3.1%的增加。不排除是由中心平板电离室所嵌的高密度电路板所引起,也可能是剂量学参数的监测算法以及平板电离室本身对光子线测量的不确定度导致晨检仪的读数偏差,使得测量结果受背向散射的影响更大,具体原因有待与厂家进一步研究。通过在相同位置和出束条件下与参考模块的比较,可以看出QABC+会把背向散射的信号放大且体现在读数上,反之能说明位置变化带来的轻微的背向散射变化也会在QABC+的读数上灵敏体现。

综上所述,与参考电离室模块中的常规指型电离室相比,晨检仪测量结果将背向散射的影响放大,在日常使用时建议根据治疗床的结构特征,尽可能确保治疗床的背向散射条件基本不变。通过实验测量确定背向散射条件对晨检仪读数的影响后,选择

足够厚度的固体水等效散射材料置于晨检仪下方,可以有效降低治疗床不同位置结构的散射影响对晨检仪测量结果的干扰。准确标记晨检仪基线设置时的摆位位置也是非常必要的,日常检测时晨检仪的摆位与基线设置时的摆位位置应尽可能保持一致,以消除不同位置散射差异对晨检仪测量结果的影响,提高晨检仪测量结果时的准确性和稳定性,同时也便于操作,节约晨检时间。若有多台加速器,因治疗床结构差异,建议每台机器单独使用一个晨检仪,或者每台机器要在固定的摆位位置有自己专门的基线值。

虽然QA Beamchecker Plus等商业晨检仪的结构和功能相对比较简单,但临床使用前的测试不能忽略。首先应对其测量特性和一些必要的应用条件进行摸索和设置,在厂商推荐使用条件的基础上结合本单位直线加速器治疗床等设备特点,建立规范化操作流程和标准使用条件,有利于确保晨检仪测量准确性和长期可重复性,便于晨检质控工作的有效执行。

## 【参考文献】

- [1] Warkentin B, Stavrev P, Stavreva N, et al. A TCP-NTCP estimation module using DVHs and known radiobiological models and parameter sets[J]. J Appl Clin Med Phys, 2004, 5(1): 50-63.
- [2] Baumann M, Petersen C. TCP and NTCP: a basic introduction[J]. Rays, 2005, 30(2): 99-104.
- [3] Kutcher GJ, Coia L, Gillin M, et al. Comprehensive QA for radiation oncology: report of AAPM radiation therapy committee task group 40[J]. Med Phys, 1998, 21(4): e584.
- [4] Palm A, Johansson K. A review of the impact of photon and proton external beam radiotherapy treatment modalities on the dose distribution in field and out-of-field; implications for the long-term morbidity of cancer survivors[J]. Acta Oncol, 2009, 46(4): 462-473.
- [5] Royce TJ, Mavroidis P, Wang K, et al. Tumor control probability modeling and systematic review of the literature of stereotactic body radiation therapy for prostate cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2021, 110(1): 227-236.
- [6] Buciuman N, Marcu LG. Dosimetric justification for the use of volumetric modulated arc therapy in head and neck cancer-a systematic review of the literature[J]. Laryngoscope Invest, 2021, 6(5): 999-1007.
- [7] Chen SN, Ramachandran P, Deb P. Dosimetric comparative study of 3DCRT, IMRT, VMAT, Ecomp, and hybrid techniques for breast radiation therapy[J]. Radiat Oncol J, 2020, 38(4): 270-281.
- [8] Zhao J, Hu W, Cai G, et al. Dosimetric comparisons of VMAT, IMRT and 3DCRT for locally advanced rectal cancer with simultaneous integrated boost[J]. Oncotarget, 2015, 7(5): 6345-6351.
- [9] Verbakel WF, Cuijpers JP, Hoffmans D, et al. Volumetric intensity-modulated arc therapy vs. conventional IMRT in head-and-neck cancer: a comparative planning and dosimetric study[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2009, 74(1): 252-259.
- [10] Klein EE, Hanley J, Bayouth J, et al. Task group 142 report: quality assurance of medical accelerators[J]. Med Phys, 2009, 36(9): 4197-4212.
- [11] 王哲,程金生.晨检仪在直线加速器日常质量控制应用中的性能研究[J].中国医学装备,2018,15(4): 43-47.  
Wang Z, Cheng JS. Study on performance of morning check device in the application of daily quality control of medical linear accelerator[J]. China Medical Equipment, 2018, 15(4): 43-47.
- [12] 胡俏俏,张艺宝,刘卓伦,等.四种常见加速器晨检仪的性能比较[J].

- 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(7): 532-535.
- Hu QQ, Zhang YB, Liu ZL, et al. Performance comparison of four common LNIAC daily QA instruments [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(7): 532-535.
- [13] 陈隽. 利用蒙特卡罗方法研究射野大小对深度剂量的影响[D]. 苏州: 苏州大学, 2015.
- Chen J. Monte Carlo simulation of the field size influence on the depth dose[D]. Suzhou: Soochow University, 2015.
- [14] 倪昕晔, 汤晓斌, 刘云鹏, 等. 背向散射因子在放射治疗中的作用[J]. 辐射防护, 2011, 31(1): 30-33.
- Ni XY, Tang XB, Liu YP, et al. Effect of backscatter factor on absorbed dose in radiotherapy[J]. Radiation Protection, 2011, 31(1): 30-33.
- [15] 张咏波, 陈立新. 数字化晨检仪的研制[J]. 中国医疗设备, 2017, 32(4): 42-45.
- Zhang YB, Chen LX. Development of the digital morning check device[J]. China Medical Equipment, 2017, 32(4): 42-45.
- [16] International Atomic Energy Agency. Absorbed dose determination in photon and electron beams[R]. Technical Reports Series No. 277. Vienna: IAEA, 1998: 1-25.
- [17] Hodapp N. The ICRU report No. 83: prescribing, recording and reporting photon-beam intensity-modulated radiation therapy (IMRT) [J]. Strahlentherapie Und Onkologie, 2012, 188(1): 97-99.
- [18] Binny D, Lancaster CM, Kairn T, et al. Monitoring daily QA 3 constancy for routine quality assurance on linear accelerators[J]. Phys Med, 2016, 32(11): 1479-1487.
- [19] 金晓丽, 芦莹, 师勤莹, 等. 直线加速器日质控数据分析及过程评估[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2020, 29(3): 220-224.
- Jin XL, Lu Y, Shi QY, et al. Daily quality control data analysis and process evaluation of linear accelerator [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2020, 29(3): 222-224.
- [20] 蒋大振, 王骁踊, 张俊, 等. 运用PTW QUICKCHECK webline 晨检仪分析医用加速器输出稳定性[J]. 中国医学物理学杂志, 2019, 36(5): 540-545.
- Jiang DZ, Wang XY, Zhang J, et al. Using PTW QUICKCHECK webline to monitor the output stability of linear accelerator [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2019, 36(5): 540-545.
- [21] Muir BR, Mcewen MR, Rogers D. Beam quality conversion factors for parallel-plate ionization chambers in MV photon beams[J]. Med Phys, 2012, 39(3): 1618-1631.
- [22] Arak F, Ikeda R, Shirakawa Y, et al. Wall correction factors for calibration of plane-parallel ionization chambers with high-energy photon beams[J]. Phys Med Biol, 2000, 45(9): 2509-2517.
- [23] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 80-85.
- Hu YM. Radiation oncology physics [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1999: 80-85.
- [24] McDermott GM. Monitoring linear accelerator output constancy using the PTW Linaccheck[J]. Med Dosim, 2011, 36(1): 71-74.
- [25] Hu Y, Zhu T. Backscatter correction factor for megavoltage photon beam[J]. Med Phys, 2011, 38(10): 5563-5568.

(编辑: 谭斯允)