

Checkmate 2 用于放射治疗加速器输出剂量检测的可行性

于浪，杨波，孙玉亮，孙显松，王欣海，李文博，姜斐，李楠，邱杰，张福泉

中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院放射治疗科，北京 100730

通信作者：邱杰 电话：010-69155481，E-mail：qiujiel@aliyun.com

【摘要】目的 探讨 Checkmate 2 作为日检工具用于放射治疗加速器输出剂量检测的可行性。**方法** 按照国际原子能机构 (International Atomic Energy Agency, IAEA) 第 277 号报告建议方法刻度 Varian 2300CD 加速器的两档光子线 6、15 MV 及五档电子线 6、9、12、16、20 MeV，每日分别使用指型电离室和 Checkmate 2 测量各档能量 100 MU 的输出量，得出各自剂量偏差，最大允许偏差为 $\pm 2\%$ 。分别实测环境温度气压值和读取 Checkmate 2 温度气压显示值，计算温度气压修正因子。连续进行 3 个月工作日共 66 次测量，比较每日各档能量测量值以及温度气压修正准确性。**结果** 各档能量的电子线及 X 射线的 Checkmate 2 与指型电离室测量结果均满足绝对剂量偏差不超过 2% 的标准，且两者比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。实测及 Checkmate 2 测量得出的平均温度气压修正因子分别为 1.032 ± 0.007 和 1.033 ± 0.007 ，两者差异无统计学意义 ($P = 0.452$)；相关性分析显示两者呈正相关 ($r = 0.92$, $P = 0.000$)。**结论** Checkmate 2 可真实反映加速器剂量输出的大体趋势，且测量工作耗时短、操作简便，是直线加速器晨检剂量输出检测的良好工具。

【关键词】 加速器；晨检；输出剂量；Checkmate 2

【中图分类号】 R811.1 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-9081(2016)01-0033-04

DOI: 10.3969/j.issn.1674-9081.2016.01.007

Feasibility of Checkmate 2 in Radiotherapy Accelerator Output Check

YU Lang, YANG Bo, SUN Yu-liang, SUN Xian-song, WANG Xin-hai, LI Wen-bo, JIANG Fei,
LI Nan, QIU Jie, ZHANG Fu-quan

Department of Radiation Oncology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences &
Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

Corresponding author: QIU Jie Tel: 010-69155481, E-mail: qiujiel@aliyun.com

[Abstract] **Objective** To discuss the feasibility of Checkmate 2 as a daily check device in radiotherapy accelerator output check. **Methods** According to the methods proposed in International Atomic Energy Agency (IAEA) Report No. 277, Varian 2300CD accelerator's two photon beams (6 MV and 15 MV) and 5 electronic beams (6, 9, 12, 16, and 20 MeV) were calibrated. Ionization chamber and Checkmate 2 were used to measure the output of the beam at 7 energies delivering 100 MU every day. Maximum permissible error was $\pm 2\%$. Ambient temperature and air pressure were measured and also detected by Checkmate 2 to calculate the correction factor. A total of 66 continuous measurements were carried out in workdays in 3 months to compare the measurements at different energies and accuracy of temperature and air pressure correction factor every day. **Results** In the measurement results of both Checkmate 2 and ionization chamber, the absolute dose errors were within 2% , and the differences between the two measurement results showed no statistically significant difference ($P > 0.05$). Measured and Checkmate 2-calculated mean temperature and pressure correction factor were 1.032 ± 0.007 and 1.033 ± 0.007 , respectively, with no significant difference ($P = 0.452$). Correlation analysis showed that the two correction factors were positively correlated ($r = 0.92$, $P = 0.000$). **Conclusions** Checkmate 2 could re-

flect the dose output with short measurement time and simple operation. It may be applied as a very useful device for linear accelerator output morning check.

【Key words】 accelerator; morning check; output dose; Checkmate 2

Med J PUMCH, 2016, 7(1):33–36

随着计算机技术的发展以及新设备的应用，放射治疗的水平不断提高，已经由传统的调强放射治疗（intensity-modulated radiation therapy, IMRT）^[1]向容积旋转调强放疗（volume-modulated arc therapy, VMAT）^[2]及断层调强放疗（tomotherapy）技术^[3]发展，可以通过图像引导放疗（image-guided radiation therapy, IGRT）、自适应放疗（adaptive radiation therapy, ART）保证治疗精度，但加速器的输出剂量准确与否是所有技术成功前提^[4]。本研究通过比较 Checkmate 2 和指型电离室对加速器各档能量的剂量输出结果，分析 Checkmate 2 在加速器晨检剂量输出测量中的可靠性及稳定性。

材料和方法

仪器设备

Sun Nuclear 公司生产的 Checkmate 2, PTW 公司 0.6cc 指形电离室及 dose1 静电计，小水箱，M3 固体水，水银温度计及气压计，Varian 2300CD 加速器。

指形电离室和 Checkmate 2 剂量输出测量方法

固体水中指形电离室读数的获取：参考国际原子能机构（International Atomic Energy Agency, IAEA）第 277 号报告加速器刻度方法，照射条件为源皮距（source to surface distance, SSD）=100 cm, 10 cm×10 cm 照射野（X 线）或 15 cm×15 cm 限光筒（电子线），设置加速器输出为 100 机器跳数（monitor unit, MU），于各能量最大剂量点深度处刻度加速器^[5]。因固体水满足密度、电子密度和有效原子序数与水相似三个等效参数，故用固体水代替小水箱获得指形电离室测量参考值，便于日后操作。刻度好加速器后摆放固体水，保证照射野边界向外各个方向上至少 5 cm 的水环境且电离室下方的水深至少为 10 cm，以满足散射条件^[6]。保持 SSD = 100 cm，分别于电离室上方放置 1、2、3、5、10 cm 固体水，对应测量电子线 6、9、12、16、20 MeV 以及 X 射线 6、15 MV 各档能量 100 MU 的输出量，照射条件与刻度时相同，记录参考读数^[4]。每日使用固体水及电离室重复测量相应照射条件下各档能量 100 MU 输出量的电离室读数，电离室每日测量各档能量的剂量偏差值 C_x (x 为能量) = 读数/参考

读数×100%。

Checkmate 2 的刻度：照射条件为 SSD = 100 cm, 10 cm×10 cm 照射野（X 线）或 15 cm×15 cm 限光筒（电子线）从低能电子线到高能 X 线分别照射 100 MU，分通道刻度 Checkmate 2。每日重复用固体水以及 Checkmate 2 测量相应照射条件下 100 MU 输出量，Checkmate 2 显示值 M_x = 测量值/刻度值×100%。

温度气压修正因子测定

由于电离室及 Checkmate 2 的测量结果受环境温度及气压影响，所以要进行环境温度及气压的测量。Checkmate 2 自带温度气压感应器，可实时测量环境的温度、气压值，用于测量结果的修正。另外加速器机房内部有温度计及水银气压计，每日记录环境的温度及气压值，用于电离室测量结果的修正。分别计算温度气压修正因子 Kpt = (273.15 + t)/(273.15 + 20) × 101.3/p，其中 t 为室温，p 为室压。实测温度气压修正因子为 C_Kpt，Checkmate 2 测量结果得出温度气压修正因子为 M_Kpt。

统计学处理

在工作日连续测量 3 个月，共获取 66 组测量结果。采用统计学软件 SPSS 19.0，使用配对样本 t 检验对两种方法测量数据间差异进行比较，以 P < 0.05 为差异具有统计学意义。

结 果

指形电离室和 Checkmate 2 对各档能量剂量输出的测量结果

Checkmate 2 和指形电离室两种方法测量结果均满足 IAEA 第 277 号报告要求的绝对剂量偏差不超过 2% 的标准，不同能量射线 66 次测量的均值见表 1。配对样本 t 检验结果表明无论是不同能量的电子线还是 X 射线，两种测量方法所得数据差异均无统计学意义 (P 均 > 0.05)。

温度气压修正因子变化趋势

实测及 Checkmate 2 测量得出的平均温度气压修正因子 C_Kpt 和 M_Kpt 分别为 1.032 ± 0.007 和 1.033 ± 0.007，二者间差异无统计学意义 (P = 0.452)。相关

性分析显示二者呈正相关 ($P = 0.000$)，Pearson 相关系数 $r = 0.92$ (图 1)。

讨 论

指形电离室作为加速器输出剂量测量的金标准已广泛用于临床工作中，但由于其操作步骤相对复杂且需要进行手动温度气压校正，而且除剂量外不能验证射野大小、等中心精度等指标，这些因素导致指形电离室在加速器晨检应用中受到限制。

Checkmate 2 具有十五通道记忆功能，自动温度气压校准，自带激光灯摆位线， $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 、 $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 射野标记线，中心点电离室的测量体积为 0.6 cm^3 ，固有建成材料密度为 1 g/cm^3 ，反向散射层为厚 3.6 cm 的丙烯酸树脂，可测量 $6\sim 25\text{ MeV}$ 的电子线， $1\sim 25\text{ MV}$ 的光子线，最大脉冲剂量 3.65 cGy ，最大平均剂量率 3410 cGy/min 。重复性短期内为 0.2% ，长期为 $0.5\%/\text{年}$ ，不仅可以方便地测量输出剂量相对偏差，其表面的标记线还可以验证铅门的到位，并可利用表面标记中心点进行加速器等中心精度的验证。自带温度气压传感器灵敏度高，为数字化读取，可实

时便捷地监测环境条件变化。多检测通道可灵活运用，本科室现用其第 8 通道每日测量同一旋转调强计划，比较执行误差，即用于加速器综合执行能力的检测。与其他方法结合使用可以更好地达到临床质控目的^[7]。本研究结果表明，Checkmate 2 的测量结果与指形电离室同等可比，提高了加速器晨检中剂量输出重复性及准确性的测量效率。

Checkmate 2 校准简单，加速器刻度好以后只需按照要求将其摆放至等中心位置， $\text{SSD} = 100\text{ cm}$ 处给予 100 MU 的照射，然后按一下设备校准键即可完成该通道校准；自动化程度高，束流停止照射 3 s 后通道自动切换至下一通道，无需人工切换；续航能力强，自带 24 V 电源，一次充电可完成 20 次左右的日检工作。但是临床使用时应注意：前端电路部分应避免被照以免损坏电子部件；射束异常中断时要注意通道的自动跳转，以免能量与其校准通道不能对应，导致测量结果错误；电量过低 ($< 20\%$) 时会导致测量结果比正常电量时偏低，因此建议当设备电量低时应及时充电，以免影响测量结果。

综上，Checkmate 2 作为加速器晨检工具其测量结果从低能电子线到高能 X 线测量与指型电离室测量结

表 1 Checkmate 2 和指形电离室测量各档能量剂量输出结果 (%， $\bar{x} \pm s$)

测量方法	6 MeV	9 MeV	12 MeV	16 MeV	20 MeV	6 MV	15 MV
指形电离室	100.73 ± 0.37	100.51 ± 0.41	100.93 ± 0.42	100.62 ± 0.38	100.85 ± 0.26	100.39 ± 0.43	100.56 ± 0.23
Checkmate 2	100.66 ± 0.37	100.39 ± 0.41	100.79 ± 0.65	100.62 ± 0.31	100.80 ± 0.36	100.35 ± 0.34	100.52 ± 0.28
t 值	1.710	1.750	1.510	0.164	1.501	1.607	1.387
P 值	0.920	0.850	0.136	0.870	0.138	0.546	0.170

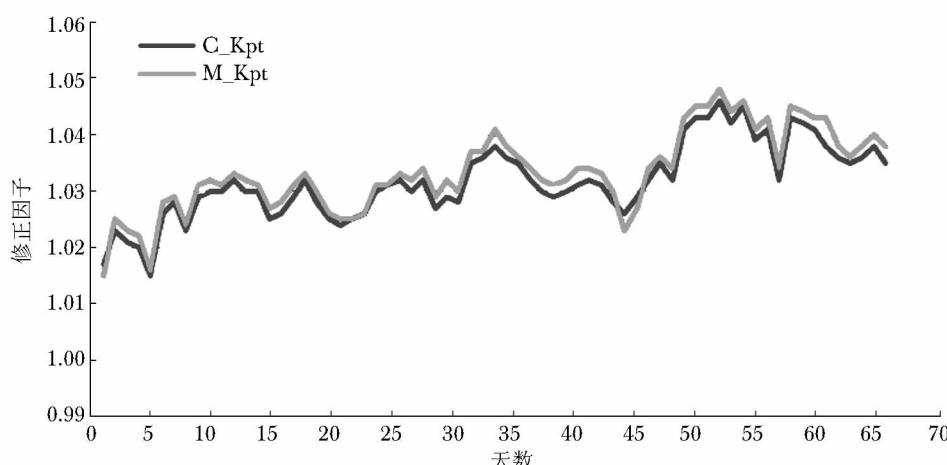


图 1 实测及 Checkmate 2 测得 66 d 温度气压修正因子趋势线图

C_Kpt：实测温度气压修正因子；M_Kpt：Checkmate 2 测量结果得出温度气压修正因子

果无显著差异，真实反映了加速器输出剂量的趋势，可提高加速器晨检过程中的剂量检测效率。另外具有刻度简单、自带可充电电源、测量过程耗时短等特点，便于日常操作，其自带温度气压传感器精度高、稳定性好，对自身测量结果的温度、气压修正准确可信，可作为加速器晨检中输出剂量的检测工具。

参 考 文 献

- [1] Ozyigit G, Yang T, Chao KS, et al. Intensity-modulated radiation therapy for head and neck cancer [J]. Curr Treat Options Oncol, 2004, 5: 3-9.
- [2] Nasr A, Habash A. Dosimetric analytic comparison of inverse and forward planned IMRT techniques in the treatment of head and neck cancer [J]. J Egypt Natl Canc Inst, 2014, 26: 119-125.
- [3] Lee FK, Yip CW, Cheung FC, et al. Dosimetric difference

amongst 3 techniques: TomoTherapy, sliding-window intensity-modulated radiotherapy (IMRT), and RapidArc radiotherapy in the treatment of late-stage nasopharyngeal carcinoma (NPC) [J]. Med Dosim, 2014, 39: 44-49.

- [4] Chen Z, Errico F, Nath R. Principles and requirements of external beam dosimetry [J]. Radiat Measurements, 2007, 41: S2-S21.
- [5] IAEA Technical Reports Series No 277. Absorbed dose determination in photon and electron beam: an international code of practice [R]. 2nd Ed. Vienna: IAEA, 1997.
- [6] 胡逸民. 肿瘤放射物理学 [M]. 北京: 原子能出版社, 1999.
- [7] Lim S, Ma SY, Jeung TS, et al. Development of a one-stop beam verification system using electronic portal imaging devices for routine quality assurance [J]. Med Dosim, 2012, 37: 296-304.

(收稿日期: 2014-12-18)

· 医学新闻 ·

北京协和医院颈动脉内膜剥脱术治疗效果达国际先进水平

缺血性脑卒中居人类死亡原因的前 3 位。颈动脉内膜剥脱术 (carotid endarterectomy, CEA) 是治疗重度颈动脉狭窄、防止缺血性脑卒中的首选方案。通过切除严重的颈动脉内膜粥样硬化斑块，不仅可以改善脑供血，解除因缺血造成的脑供血不足，更重要的是可以大大降低缺血性脑卒中的发生率。

1953 年，美国外科医生 Debakey 实施了世界首例 CEA 手术。由于手术难度大，对外科医生的手术技巧要求高，目前国内能够独立、大规模实施该手术的医疗机构屈指可数。北京协和医院血管外科 1996 年成功

实施了首例 CEA。自 2006 年以来，协和血管外科共为 614 例重度颈动脉狭窄患者实施了 634 例次 CEA 手术，患者年龄 57~72 岁，合并高血压、糖尿病、冠心病的患者分别占 69.9%、31.9% 和 22.8%，既往有心肌梗死、脑梗塞者分别占 5.1% 和 27.2%。手术成功率 100%，术后 30 d 脑血管事件发生率 1.4%，心脏事件发生率 1.6%，术后 30 d 脑卒中/死亡发生率 1.6%，达到国际一流水平。

(北京协和医院宣传处 傅谭娉)