

Monaco与Pinnacle治疗计划系统在食管癌放疗剂量验证上的比较

王庆章,段天宇,刘建超,闵小川,冯振兴,窦爱军,田铁栓
天津市胸科医院放疗科,天津 300350

【摘要】目的:比较分析Monaco与Pinnacle治疗计划系统在食管癌放疗剂量计算上的精确性。**方法:**选取食管癌病人16例,分别用Monaco与Pinnacle治疗计划系统做调强放疗计划及验证计划,然后用二维电离室矩阵Matrixx进行剂量数据的采集,接着比较分析误差阈值为2%/2 mm、3%/2 mm、3%/3 mm、5%/3 mm时的Gamma通过率。**结果:**在误差阈值下,Monaco治疗计划系统的剂量计算精确性高于Pinnacle治疗计划系统的剂量计算精确性,误差阈值为2%/2 mm、3%/2 mm和3%/3 mm时通过率分别高1.3%、1.1%和0.7% ($P<0.05$),误差阈值为5%/3 mm时无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论:**两套治疗计划系统的剂量计算精度均很高,均适用于临床,相比之下Monaco治疗计划系统要更高些,但其计算速度要明显慢于Pinnacle治疗计划系统。

【关键词】治疗计划系统;食管癌;剂量验证

【中图分类号】R815.2

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2017)02-0166-04

Comparison of Monaco and Pinnacle treatment planning systems on the dosimetric verification of radiotherapy for esophageal cancer

WANG Qingzhang, DUAN Tianyu, LIU Jianchao, MIN Xiaochuan, FENG Zhenxing, DOU Aijun, TIAN Tieshuan
Department of Radiotherapy, Tianjin Thoracic Hospital, Tianjin 300350, China

Abstract: Objective To compare and analyze the accuracy in dose calculation of Monaco and Pinnacle treatment planning systems (TPS) for the radiotherapy of esophageal cancer. **Methods** For 16 selected cases of esophageal cancer, intensity-modulated radiotherapy (IMRT) plan and verification plan were generated by Monaco and Pinnacle TPS, respectively. And then, the dose data were collected by using two-dimensional ion chamber array Matrixx. The Gamma passing rates with various error ranges of 2%/2 mm, 3%/2 mm, 3%/3 mm and 5%/3 mm were analyzed. **Results** The accuracy in dose calculation of Monaco TPS was higher than that of Pinnacle TPS within the error range, and the Gamma passing rate of Monaco TPS is 1.3%, 1.1% and 0.7% higher according to the error ranges of 2%/2 mm, 3%/2 mm and 3%/3 mm ($P<0.05$ for all), respectively, while no significance was found at the criterion of 5%/3 mm ($P>0.05$). **Conclusion** Both Monaco and Pinnacle TPS could offer clinically acceptable dose calculation accuracy. Compared with Pinnacle TPS, Monaco TPS has a higher accuracy in dose calculation but obviously slower calculation speed.

Keywords: treatment planning system; esophageal cancer; dose verification

前言

调强放疗(Intensity-Modulated Radiation Therapy, IMRT)^[1]技术在食管癌放疗中的应用越来越广泛,它比传统的适形放疗技术^[2]靶区适形度要好,对重要组织器官的保护更好,但要取得好的治疗效果必须要有精确的靶区剂量计算结果,故剂量计算的准确性

对放疗计划的优劣至关重要。现在市面上的治疗计划系统^[3]上有许多不同的计算方法进行IMRT放疗技术的计算,本文比较了Monaco与Pinnacle治疗计划系统在食管癌IMRT放疗计划中的剂量验证结果并进行了分析。

1 资料与方法

选取我院食管癌病人16例,男性患者8例,女性患者8例,年龄在47~73岁,病灶所处的食管位置,6例稍微偏上,6例稍微偏下,4例基本在中段,所有患

【收稿日期】2016-12-03

【作者简介】王庆章,助理工程师,研究方向:放疗物理,E-mail: renzhongquli@126.com

者均采用仰卧位,双臂交叉放在额顶,用热塑体模进行固定。

医生勾画出患者的大体肿瘤靶区(GTV)及危及器官(OARs),OARs包括双肺、脊髓及心脏,临床靶区(CTV)为GTV外放5 mm,计划靶区(PTV)为CTV外放5 mm,处方剂量为60 Gy/30次。

机器为医科达 Synergy 直线加速器,6 MV 光子射线,40对多叶光栅,最大剂量率为600 MU/min。剂量测量仪器为 IBA 公司二维电离室矩阵 Matrixx^[4],1 020 个电离室,有效探测面积为24.3 cm×24.3 cm,电离室间隔7.6 mm,有效测量点深度为0.3 cm。

Monaco3.2 与 Pinnacle9.0 版本的治疗计划系统,采用5野静态子野调强技术,射野角度分别为320°、0°、40°、150°、210°,准直器角度为0°,最小子野跳数为5 MU,最小子野面积为4 cm²,计算网格大小为3 mm×3 mm×3 mm。

计划设计要求:60 Gy 的剂量要覆盖95%的PTV,PTV 最大剂量小于66 Gy,最小剂量大于54 Gy;双肺接受30 Gy 的照射体积小于总体积的20% (双肺 V₃₀<20%),双肺 V₂₀<30%,V₅<50%,心脏 V₄₀<30%,V₃₀<40%,脊髓最大剂量小于40 Gy。

接着分别在两套计划系统中进行放疗计划的设计。

在 Monaco3.2 版本中,首先选用物理约束模型,设置OARs 优先,进行通量优化,优化完成后,可根据实际情况调整优化参数,添加生物约束条件,进行再

次优化,直到优化结果达到我们的要求后再进行子野优化,进行子野优化时,选择靶区优先,设置靶区的最小剂量(D_{min})和剂量体积直方图(DVH)^[5]的物理约束条件,当所有的优化条件达到我们的要求时,结束优化。

在 Pinnacle9.0 版本中,进行优化前,在 PTV 外先设置3个环,PTV+0.5(PTV 外放5 mm 减去 PTV),PTV+1.5(PTV 外放1.5 mm 减去 PTV 和 PTV+0.5),同理做出PTV+2.5,再做个NT(身体减去PTV 及所有环)。设置总的优化步数100,前40步进行通量优化,后60进行子野优化。接着设置好PTV、3个环和NT的物理和生物约束条件,先进行一轮优化,优化完成后,根据实际情况调整优化参数同时添加OARs的物理及生物约束条件,进行再次优化,直至优化结果达到我们的预期后结束优化。

计划结果数据分析:分析时需用到两个概念,PTV 均匀性指数(HI): $HI=D_5/D_{95}$,D₅、D₉₅为5%和95%的靶体积所受到的照射剂量;PTV 适形度指数(CI): $CI=(V_{PTV,ref}/V_{PTV}) \times (V_{PTV,ref}/V_{ref})$,V_{PTV,ref}为处方剂量覆盖的PTV 体积,V_{PTV}为PTV 体积,V_{ref}为处方剂量包饶的体积。

16例食管癌病人 Monaco 和 Pinnacle 治疗计划的 PTV 剂量学参数比较分析结果见表1。双肺、脊髓和心脏剂量学参数比较分析结果见表2。

表1 16例食管癌病人两套计划的PTV 剂量学参数比较
Tab.1 Comparison of PTV dosimetric parameters in 16 cases of esophageal cancer between two TPS

TPS	PTV maximum dose/Gy	PTV minimum dose/Gy	PTV mean dose/Gy	HI	CI
Monaco	64.35±0.86	58.43±0.79	62.12±0.21	1.054±0.005	0.879±0.039
Pinnacle	65.67±0.67	56.72±0.63	62.92±0.22	1.128±0.006	0.816±0.029
P value	0.011	0.009	0.019	0.023	0.024

PTV: Planning target volume; TPS: Treatment planning system; HI: Homogeneity index; CI: Conformal index

表2 16例食管癌病人两套计划的双肺、脊髓和心脏剂量学参数比较
Tab.2 Comparison of dosimetric parameters of double lung, spinal cord and heart in 16 cases of esophageal cancer between two TPS

TPS	Double lung V ₃₀ /%	Double lung V ₂₀ /%	Double lung V ₅ /%	Spinal cord maximum dose/Gy	Heart V ₄₀ /%	Heart V ₃₀ /%
Monaco	14.32±5.56	20.89±9.63	42.72±6.38	29.34±9.73	19.56±8.78	28.39±8.79
Pinnacle	13.21±4.79	19.12±7.53	40.32±5.92	29.55±9.32	20.72±9.26	30.12±9.46
P value	0.012	0.031	0.121	0.091	0.023	0.008

从数据分析中可以看出, Monaco 计划系统在 PTV 的最大剂量上减少了约 1.32 Gy, 最小剂量上增加了约 1.71 Gy, 平均剂量上减少了约 0.80 Gy, PTV 均匀性及适形度方面都要好于 Pinnacle 计划系统; 在双肺的 V_{30} 和 V_{20} 上面要分别高 1.1% 和 1.4%, 而在双肺的 V_5 上无统计学意义 ($P>0.05$); 在心脏的 V_{40} 和 V_{30} 上面分别低 1.2% 和 1.7%; 而在脊髓方面无统计学意义 ($P>0.05$)。故总的来说 Monaco 计划系统在靶区剂量方面及心脏保护方面要优于 Pinnacle 计划系统, 而在双肺的保护方面 Pinnacle 计划系统要更有优势, 两套计划系统完成的计划都能满足临床上的要求。

依据两套计划系统设计的计划做出在验证模体上的验证计划, 射野机架角归零, 机头角、射野的大小形状、子野等所有参数保持不变, 验证计划的射野中心设置在二维电离室矩阵 Matrixx 的测量点中心^[6], Matrixx 上放置厚度为 5 cm 的配套的等效固体水模体^[7], 将生成的验证计划等中心处的平面剂量数据传送到 OmniPro IMRT 软件中。再将 Matrixx 置于加速器下采集验证计划执行时等中心处的剂量数据, 与传送到 OmniPro IMRT 软件中的数据进行分析比较。

采用 Gamma 分析方法, 对比分析绝对剂量下计划系统生成的验证计划等中心处的平面剂量数据与采集到的验证计划执行时等中心处的平面剂量数据, 分别计算出在 2%/2 mm、3%/2 mm、3%/3 mm、5%/3 mm 下的 Gamma 通过率^[8], 通过率数据采用 SPSS18.0 统计分析软件进行分析, 数据采用 $\bar{x} \pm s$ 形式表示, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

Monaco 计划系统在 2%/2 mm、3%/2 mm、3%/3 mm 下的 Gamma 通过率高于 Pinnacle 计划系统, 分别高 1.3%、1.1% 和 0.7% ($P<0.05$), 两套计划系统在 5%/3 mm 下的 Gamma 通过率的差异无统计学意义 ($P>0.05$)。两套计划系统在 3%/2 mm、3%/3 mm、5%/3 mm 下的 Gamma 通过率都大于 90%, 均能满足临床上的要求。见表 3。

3 讨论

从实验结果中可以看出 Monaco 剂量计算算法的 Gamma 通过率要高于 Pinnacle 剂量计算算法, 即其剂量计算准确度要高些, 而且误差阈值^[9]标准越高, 其差别也越大, 当误差阈值放宽到一定的范围 (5%/3 mm) 时, 其差别就会变得很小, 也就失去了统计学意义。Krieger 等^[10]在肺癌和鼻咽癌上做过的类

表 3 Monaco 与 Pinnacle 放疗计划系统验证计划的 Gamma 通过率
Tab.3 Gamma passing rate of verification plan in Monaco and Pinnacle TPS

Error range	Monaco	Pinnacle	P value
2%/2 mm	87.10±6.9	85.79±8.3	0.006
3%/2 mm	92.23±4.3	91.12±5.2	0.009
3%/3 mm	98.04±1.43	97.33±2.32	0.015
5%/3 mm	99.67±0.13	99.41±1.01	0.069

似研究也表明: 在肺癌和鼻咽癌上的放疗剂量验证时, 在等中心平面处的绝对剂量, 误差阈值为 2%/2 mm 时, Gamma 通过率 Monaco 计划系统基本高于 Pinnacle 计划系统 1% 左右, 但做相同的计划, Monaco 计划系统的耗时相对于 Pinnacle 计划系统要多出 30% 左右。

Monaco 计划系统采用的蒙特卡罗算法^[11]基本上是现在公认的剂量计算最精确的算法, 它以概率统计理论为基础, 模拟粒子与物质相互作用的全过程, 通过模拟上亿个粒子的输运及能量沉积过程, 精确地计算出粒子束与物质相互作用的宏观特征, 得出相应的数据, 由于其要追踪如此多的粒子, 故运算量巨大, 运算速度肯定要慢很多。Pinnacle 剂量计算算法采用的是卷积/叠加算法, 此算法对不均匀介质中的剂量计算进行了修正, 同时考虑了原射线、电子线污染以及准直器散射的影响, 故其计算结果也相对的准确, 完全满足剂量验证的要求, 而且相对于蒙特卡罗算法来说, 其计算速度要快很多。

在用加速器对剂量进行采集前, 对加速器进行了等中心的校准^[12]、绝对剂量的校准、射野均坦度对称性的校准, 并对机器的重复性进行了测量, 显示重复性良好, 加速器运行正常, 保证了不会因为机器性能的问题影响到剂量数据采集的准确性。而且在剂量数据采集时, 我们用的是同一台直线加速器和同一套验证设备, 并且用的是相同的操作流程和模式, 故保证了产生的差别主要来自于两套不同的计划系统剂量计算算法。

本实验在二维电离室矩阵 Matrixx 上放置的是密度均匀的等效固体模体, 而实际的病人是非均匀的, 特别是在本实验中肺的密度是相对比较低的, 因此等效的固体水模体并没有反应实际的情况, 这样由于组织密度的不均匀性^[13]给实验的结果造成一定的偏差。再者在做验证计划时把机器的大机架都改成了零度, 这样和给病人做治疗时并不一致, 由此也会给实验造成误差。故今后在条件允许的情况下, 可

以选用非均匀的模体^[14]配合三维的验证设备,在机架角度和实际治疗一致的情况下做剂量的验证,会得到比现在更准确的验证结果。

通过本实验的对比,我们知道在食管癌的放疗剂量计算上,Monaco计划系统的计算精度要高于Pinnacle计划系统的计算精度,但在计算速度上,Monaco计划系统要慢于Pinnacle计划系统,但两者都能满足临床上的要求。故在今后的工作中,可以根据实际情况选择更适合的计划系统,那些病历比较复杂,计算精度要求高的病人,可以采用Monaco计划系统进行放疗计划的设计;而那些比较着急,病情进展比较迅速的病人,就可以采用Pinnacle治疗计划系统进行放疗计划的设计。有条件的单位会有几套计划系统,通过实验对比各种计划系统的优劣,方便针对不同病例采用更适合的放疗计划系统。

【参考文献】

- [1] DOBLER B, STRECK N, KLEIN E, et al. Hybrid plan verification for intensity modulated radiation therapy (IMRT) using the 2D ionization chamber array IMRT matrix a feasibility study[J]. Phys Med Biol, 2010, 55(2): N39-N55.
- [2] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京: 原子能出版社, 1999: 549-559.
HU Y M. Radiation Oncology Physics[M]. Beijing: China Atomic Energy Press, 1999: 549-559.
- [3] YU C X, TANG G. Intensity-modulated are therapy: principles, technologies and clinical implementation [J]. Phys Med Biol, 2011, 56(5): R31-R54.
- [4] 任健, 高峰, 王艳菊, 等. 二维电离室点矩阵Matrixx在调强验证中的应用[J]. 医疗装备, 2011, 1(2): 4-5.
REN J, GAO F, WANG Y J, et al. Two-dimensional ionization chamber dot matrix Matrixx in intensity-modulated validation of application[J]. Medical Equipment, 2011, 1(2): 4-5.
- [5] BEDFORD J L, NORDMARK H V, MCNAIR H A, et al. Treatment of lung cancer using volumetric modulated arc therapy and image guidance: a case study [J]. Acta Oncol, 2008, 47(7): 1438-1443.
- [6] POPPE B, BLECHSCHMIDT A, DJOUGUELA A, et al. Two-dimensional ionization chamber arrays for IMRT plan verification [J]. Med Phys, 2006, 33(4): 1005-1015.
- [7] ALJARRAH K, PAWLICKI T, NIEMIERKO A, et al. A clinical study of MLC-based IMRT lung dose calculation accuracy on plan evaluation parameters[J]. J Cancer Sci Ther, 2010, 2(3): 74-81.
- [8] VANDERSTRAETEN B, REYNAERT N, PAELINCK L, et al. Accuracy of patient dose calculation for lung IMRT: a comparison of Monte Carla, convolution superposition and pencil beam computations[J]. Med Phys, 2006, 33(9): 3149-3158.
- [9] 杨金磊, 刘博宇, 路双臣, 等. Monaco与Pinnacle治疗计划系统在肺癌容积旋转调强计划中的比较[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2015, 35(2): 119-122.
YANG J L, LIU B Y, LU S C, et al. Comparison of Monaco and Pinnacle treatment planning systems in volumetric modulated arc therapy optimization for lung cancer [J]. Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection, 2015, 35(2): 119-122.
- [10] KRIEGER T, ZASELUN J, DIEMIERLO A, et al. The comparison of radiation therapy of monaco and pinnacle treatment planning systems[J]. Phys Med, 2014, 26(2): 1253-1261.
- [11] CHEN H X, LOHR F, FRITZ P, et al. Stereotactic, single-dose irradiation of lung tumors: a comparison of absolute dose and dose distribution between pencil beam and Monte Carlo algorithms based on actual patient CT scans[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2010, 78(5): 955-963.
- [12] IMAD A, SALAHUDDIN A. Quantitative assessment of the accuracy of dose calculation using pencil beam and Monte Carlo algorithms and requirements for clinical quality assurance[J]. Med Dosim, 2013, 38(1): 255-261.
- [13] ZARZA-MORENO M, CARREIRA P, MADUREIRA L, et al. Dosimetric effect by shallow air cavities in high energy electron beams[J]. Phys Med, 2014, 30(2): 234-241.
- [14] ALTUMBAS C, KAVANAGH B, DZINGLE W, et al. Dosimetric errors during treatment of centrally located lung tumors with stereotactic body radiation therapy: Monte Carla evaluation of tissue inhomogeneity corrections[J]. Med Dosim, 2013, 38(4): 436-441.

(编辑:薛泽玲)