

直肠内气腔对前列腺癌放疗计划的影响

鞠孟阳¹, 史玉静¹, 李金凯², 田甜², 郑海伦², 孙新臣²

1. 南京医科大学特种医学系, 江苏 南京 210009; 2. 南京医科大学第一附属医院放疗科, 江苏 南京 210009

【摘要】目的:通过定义前列腺癌患者直肠内气腔结构,探讨其在前列腺癌放疗中对计划的影响。**方法:**选取12例前列腺癌患者。取每位患者第一次治疗前的锥形束计算机断层扫描(CBCT)图像,勾画靶区、定义气腔结构。将CBCT图像上的气腔结构映射到CT图像上,依据气腔结构的CT值查找电子密度值并更改气腔结构的电子密度值,重新计算计划。比较两组计划计划靶区(PTV)的平均剂量(D_{mean})和最大剂量(D_{max})、气腔结构对应的靶区(PTVg)的 D_{mean} 和 D_{max} ,危及器官直肠、膀胱的 D_{mean} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 V_{70} 的变化差异,以及股骨头 V_{30} 的变化差异,对两组治疗计划的适形指数和均匀性指数的差异进行比较。**结果:**所有病人共得到24个治疗计划。存在气腔时,PTV的 D_{mean} 和 D_{max} 均较无气腔时减小,差异无统计学意义($P>0.05$);PTVg的 D_{mean} 和 D_{max} 也减小,差异无统计学意义($P>0.05$)。但存在气腔时,计划的适形性(适形指数减小)和均一性(均匀性指数增大)均降低。危及器官中,直肠的 D_{mean} 、 V_5 、 V_{30} 、 V_{40} 分别增加0.4 Gy、0.5%、0.8%、1.7%,差异具有统计学意义($P<0.05$),但是直肠 V_{50} 的变化差异无统计学意义($P=0.310$)。膀胱的 D_{mean} 、 V_5 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 均减小,差异无统计学意义($P>0.05$)。两侧股骨头的 V_{30} 分别增加0.1%和0.2%。计划的机器跳数和子野数没有因为气腔的存在而发生变化。**结论:**气腔结构的存在对前列腺放疗计划的影响主要表现为直肠受量的增加,对靶区和其他危及器官的影响不大。因此,治疗前行CBCT扫描对于监测直肠内气腔存在具有一定意义。

【关键词】前列腺癌;气腔;容积旋转调强;剂量学差异;适形性指数;均一性指数

【中图分类号】R815.6;R737.25

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2018)08-0879-06

Effects of gas cavity in rectum on radiotherapy plan for prostate cancer

JU Mengyang¹, SHI Yujing¹, LI Jinkai², TIAN Tian², ZHENG Hailun², SUN Xinchen²

1. Department of Medicine in Specific Environments, Nanjing Medical University, Nanjing 210009, China; 2. Department of Radiation Oncology, the First Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210009, China

Abstract: Objective To define the structure of gas cavity and investigate the effect of gas cavity in rectum on radiotherapy plan for prostate cancer. **Methods** Twelve patients with prostate cancer were selected. The target volume was delineated and gas cavity was defined in cone beam computed tomography (CBCT) images obtained before the first treatment. The gas cavity in CBCT images was mapped into CT images. The electron density was determined based on the CT value of gas cavity, and then the electron density value of gas cavity was changed for recalculating the radiotherapy plan. The mean dose (D_{mean}) and maximum dose (D_{max}) of planning target volume (PTV), the D_{mean} and D_{max} of target area corresponding to gas cavity (PTVg), the variations of D_{mean} , V_{30} , V_{40} , V_{50} , V_{70} of rectum and bladder, the variations of V_{30} of femoral head were compared. Furthermore, the differences in conformity index and homogeneity index were also compared. **Results** A total of 24 treatment plans were designed. In the present of gas cavity, both D_{mean} and D_{max} of PTV were decreased compared to those without gas cavity, without statistical significance ($P>0.05$). The D_{mean} and D_{max} of PTVg also decreased, without statistical differences ($P>0.05$). With the existence of gas cavity, the conformability (conformity index decreased) and homogeneity (homogeneity index increased) of the plans were decreased. For organs-at-risk, the D_{mean} , V_5 , V_{30} , V_{40} of rectal was increased by 0.4 Gy, 0.5%, 0.8%, 1.7%, respectively, and the differences were statistically significant ($P<0.05$), but the variations of rectum V_{50} didn't showed any statistical significant ($P=0.310$). The D_{mean} , V_5 , V_{30} , V_{40} , V_{50} of bladder were decreased, without statistical differences ($P>0.05$). The V_{30} of both sides of the femur was increased by 0.1% and 0.2%, respectively. The monitor units and segments didn't changes even with the presence of gas cavity. **Conclusion** In prostate radiotherapy plans,

【收稿日期】2018-02-06

【基金项目】国家自然科学基金(81472809, 81502653, 81672983, 81703028)

【作者简介】鞠孟阳, 硕士, 研究方向: 放射治疗的质量控制和效果保证, E-mail: DrJmy2017@163.com

【通信作者】孙新臣, 博士, 主任医师, 博士生导师, 研究方向: 肿瘤的放射治疗, E-mail: sunxinchen123@hotmail.com

gas cavity increases the target dose to rectum, but has little effects on the target area and other organs at risk. Therefore, it is significant to monitor the presence of gas cavity in the rectum before retreatment.

Keywords: prostate cancer; gas cavity; volumetric modulated arc therapy; dosimetric difference; conformity index; homogeneity index

前言

放射治疗是前列腺癌主要的治疗手段之一^[1-2]。随着70多年来的临床进展,针对局限性前列腺癌(T1-2N0M0),放射治疗已实现根治性的效果^[3-4]。随着图像引导技术的开展及前列腺内金标植入的广泛使用^[5],临床实践中前列腺癌位置的固定准确性越来越好,在一定程度上提高了前列腺靶区的治疗精度,降低了放射治疗对肠道、泌尿系统的毒副作用^[6-7]。有报道指出,影响前列腺治疗效果的最主要因素是直肠和膀胱的充盈程度^[5]。但是,以往的研究大多局限于直肠、膀胱的充盈程度对前列腺位置的影响,而对于排除膀胱和直肠体积变化对前列腺位置的影响,研究直肠内气腔变化导致的前列腺实际受量的影响却鲜有报道。实践证明,气腔的存在是普遍的,而且气腔剂量的准确性会直接影响靶区和危及器官(Organs-at-Risk, OAR)剂量的准确性^[8],从而影响靶区的剂量评估。因此,本研究就直肠内气腔对靶区(前列腺)和OAR(直肠和膀胱)受量的影响进行了相关分析。

1 材料与方法

1.1 临床资料

回顾性收集南京医科大学第一附属医院2016年3月到2017年6月行放疗的12例前列腺癌患者,中位年龄72岁(50~77岁),均经穿刺病理活检确诊为前列腺癌。

1.2 仪器设备

西门子16排大孔径CT(Somatom Sensation Open CT);瑞典Elekta公司MonacoV5.1物理计划系统;Axesse加速器(配备160片多叶光栅,治疗射线能量6 MV);QFIX固定装置;热塑体膜。

1.3 体位固定及图像获取

所有患者排空膀胱和直肠,饮水800 mL,静息1 h,充盈膀胱后行体位固定。患者取仰卧位,十指交叉置额头,使用热塑体膜固定。平静呼吸状态下连续CT扫描,扫描层厚5 mm,扫描范围上界至腰3下缘,下界至耻骨联合下5 cm,包括盆腔及临近正常组织器官如直肠、膀胱等。获得的CT图像通过DICOM RT格式传输到MonacoSim工作站靶区勾画

系统,由主管医生勾画出靶区及OAR。将获取的四维锥形束CT(CBCT)图像与CT图像进行配准、重建后传至Monaco计划系统进行后续研究。

1.4 靶区勾画

在CT和CBCT图像上勾画临床靶区(Clinical Target Volume, CTV)(前列腺、精囊),计划靶区(Planning Target Volume, PTV)为CTV前后(直肠)方向外放0.5 cm,其余方向外放1.0 cm形成。定义CBCT图像上的气腔结构(gas)及对应的同一位置的PTV为PTV_g,靶区剩余部分定义为PTV_a。定义OAR,包括直肠、膀胱、股骨头,其中直肠为直肠与乙状结肠交界至坐骨结节水平的直肠壁及其内容,膀胱为全部的膀胱壁及其内容,股骨头为CT图像上可见结构。将CBCT图像上勾画好的所有结构映射到CT图像上,进行计划的重新计算。

1.5 计划设计

采用Monaco 5.1计划系统进行容积旋转调强放射治疗(VMAT)(3Arc)计划设计。研究直肠内气腔的存在对同一位置对应的PTV和直肠膀胱等OAR受量的影响。首先制定常规放疗计划:处方剂量覆盖95%的PTV。OAR限制剂量为:直肠 $V_{70}<20\%$ 、 $V_{50}<40\%$;膀胱 $V_{50}<40\%$ 、 $V_{40}<65\%$;股骨头 $V_{50}<5\%$ 、 $V_{30}<35\%$ 。对直肠内有气腔的计划设计:根据南京医科大学第一附属医院放疗科CT-电子密度的转换表格定义直肠内气腔电子密度为0.0~0.2(表1),其他限制条件不变的情况下重新进行计划计算。本研究中,气腔体积的范围为2.71~20.59 mL,中位体积为10.29 mL。处方剂量为6 000~7 200 cGy/18~33 F,治疗技术为VMAT(3Arc)。计划设计采用蒙特卡罗算法,计算网格为0.3。

1.6 计划治疗评估

计划完成后,均对两组计划进行归一化处理,归一方式为95%的PTV接受处方剂量。比较靶区平均剂量(PTV D_{mean} 、PTV_g D_{mean}),最大剂量(PTV D_{max} 、PTV_g D_{max}),膀胱、直肠等OAR的 D_{mean} 、 V_5 、 V_{30} 、 V_{50} 、 V_{70} ,子野个数(Segments)和总机器跳数等参数。并用适形性指数(Conformity Index, CI)和均匀性指数(Homogeneity Index, HI)评估计划质量。

CI用于评价靶区与参考等剂量曲面的适形程度, $CI = (V_{Rx}^2 / VT \times V_{Ri})$,其中,VT表示整个靶区体积, V_{Rx} 表示受到处方剂量照射的靶区体积, V_{Ri} 表示受到

表1 CT电子密度转换
Tab.1 CT-ED conversion

CT	ED
-789	0.20
-513	0.50
-493	0.50
-100	0.94
-64	0.96
-40	0.99
-37	0.99
-11	1.01
48	1.06
44	1.06
56	1.07
65	1.07
225	1.16
237	1.16

CT: Computed tomography; ED: Electron density

的处方剂量照射的BODY体积。CI \in [0~1],越接近1,适形度越高,说明计划越好。HI=D_{5%}/D_{95%},其中,

D_{5%}和D_{95%}分别为5%和95%的PTV体积所接受的照射剂量。HI值越大说明超过处方剂量的范围越大,PTV内剂量分布也越不均匀。

1.7 统计学分析

用SPSS 20.0软件进行数据处理,对计量资料采用均数±标准差表示,存在气腔与不存在气腔的两组计划的计划参数进行配对*t*检验。*P*<0.05认为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 直肠内气腔存在与否对放疗靶区的影响

不存在气腔时,PTV平均剂量为(64.3±8.0) Gy;而存在气腔状态时,PTV平均剂量为(62.8±7.7) Gy,说明气腔的存在,使PTV的受量减少,但是差异不具有统计学意义(*P*>0.05)。定位时直肠为排空状态,而实际治疗时,直肠内存在气腔,整个放疗靶区和气腔对应的靶区D_{mean}、D_{max}等都明显减少,但差异不具有统计学意义(*P*>0.05),说明气腔存在使得靶区剂量减小,但靶区仍然能达到处方剂量。比较两组计划的CI和HI;在有气腔时,计划CI降低,HI增加,说明气腔存在使得治疗计划的适形性降低,均一性也降低。比较两组计划的子野数及MU,发现二者差别无统计学意义(*P*>0.05),说明气腔对二者影响不大。具体数据见表2。

表2 气腔存在与否两种状态下靶区受量的参数比较
Tab.2 Comparison of target dose parameters with or without gas cavity in rectum

Parameter	Without gas cavity	With gas cavity	<i>t</i> value	<i>P</i> value
PTV D _{mean} /Gy	64.3±8.0	62.8±7.7	0.900	0.39
PTV D _{max} /Gy	68.5±7.9	68.2±7.9	0.950	0.36
PTVg D _{mean} /Gy	63.4±8.0	61.7±8.3	0.960	0.36
PTVg D _{max} /Gy	68.5±7.9	67.5±7.6	1.350	0.21
CI	0.75±0.07	0.71±0.16	1.015	0.34
HI	1.06±0.01	1.11±0.18	-0.960	0.36
Segments	136.89±13.00	140.60±13.10	-1.460	0.18
MU	1 054.0±187.3	1 036.0±191.6	1.020	0.33

PTV: Planning target volume; PTVg: Planning target volume corresponding to gas cavity;
CI: Conformity index; HI: Homogeneity index; MU: Monitor unit

2.2 直肠内气腔存在与否对OAR的影响

不存在气腔状态时,直肠的D_{mean}为(39.4±8.5) Gy、而存在气腔状态时直肠的平均剂量为(39.8±8.5) Gy,说明气腔存在使得直肠平均受量增加,具有显著统

计学差异(*P*<0.05)。相比较无气腔状态下直肠V₅、V₃₀、V₄₀都明显增加,差别具有统计学意义(*P*<0.05),而直肠V₅₀的体积百分比也有增加,但差异不具有统计学意义(*P*>0.05)。相比较无气腔状态下,存在气腔

状态下比较膀胱的 D_{mean} 、 V_5 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 V_{70} 均减小，存在气腔状态时分别提高0.1%和0.2%的体积。具体但是变化无统计学意义($P>0.05$)。两侧股骨头的 V_{30} 数据见表3~5。

表3 气腔存在与否两种状态下直肠受量的参数比较
Tab.3 Comparison of dose parameters of rectum with or without gas cavity in rectum

Rectum	Without gas cavity	With gas cavity	<i>t</i> value	<i>P</i> value
$V_5/\%$	94.0±6.9	94.5±6.6	-2.14	0.040
$V_{30}/\%$	71.5±20.9	72.3±21.3	-4.86	0.001
$V_{40}/\%$	50.6±24.8	52.3±23.4	-2.29	0.040
$V_{50}/\%$	34.2±19.2	36.1±21.3	-1.06	0.310
$V_{70}/\%$	2.6±7.3	2.5±7.3	0.84	0.420
D_{mean}/Gy	39.4±8.5	39.8±8.5	-2.30	0.040

表4 气腔存在与否两种状态下膀胱受量的参数比较
Tab.4 Comparison of dose parameters of bladder with or without gas cavity in rectum

Bladder	Without gas cavity	With gas cavity	<i>t</i> value	<i>P</i> value
$V_5/\%$	91.4±12.4	91.4±12.6	1.200	0.26
$V_{30}/\%$	55.7±22.5	55.4±23.4	0.290	0.77
$V_{40}/\%$	42.9±20.5	38.1±25.5	1.200	0.24
$V_{50}/\%$	27.8±13.9	25.4±17.0	1.380	0.20
$V_{70}/\%$	1.9±4.6	1.8±4.7	0.930	0.37
D_{mean}/Gy	34.8±8.0	34.6±9.0	0.484	0.64

表5 气腔存在与否两种状态下股骨头受量的参数比较
Tab.5 Comparison of dose parameters of femur with or without gas cavity in rectum

Femur	Without gas cavity	With gas cavity	<i>t</i> value	<i>P</i> value
Right $V_{30}/\%$	5.50±8.40	5.70±8.40	-1.15	0.27
Left $V_{30}/\%$	2.88±4.70	2.98±4.90	-0.79	0.44

3 讨论

临床上,放射线应用于肿瘤治疗时,由于人体结构的复杂性,存在多种不同密度的组织和多个不同组织的界面^[9],入射光子束在运输路径上会遇到软组织、骨、空腔等不同性质的组织,这些不同组织的界面对射线的能量、方向的影响大不相同。气腔产生非均质体界面效应,往往导致剂量分布畸变,气腔邻接组织浅表层剂量降低、低剂量区等问题出现,最终可能引起肿瘤的放疗失控^[10]。气腔结构主要存在于鼻咽、喉部和直肠等部位^[11],这些部位肿瘤都具有较好的放疗敏感性,故气腔结构的存在会严重影响放疗效果。

在前列腺癌放疗过程中,直肠是最重要的限制性器官。直肠的远期并发症限制了前列腺癌放疗剂量的提升^[12],而放射性直肠炎的发生往往与放疗总剂量、射野大小、疗程时间以及分割方式有关^[13]。为了固定直肠位置,减少直肠受量,临床上往往于治疗前排空直肠、放置气囊^[14-16]、水囊^[17]等,且都有良好的获益。而本研究排除直肠的位置变化因素引起的前列腺和直肠受量的变化,研究直肠内气腔变化对前列腺和直肠受量的影响。杨振等^[8]研究表明,采用不同剂量算法,靶区的受量会受到影响,气腔对蒙特卡罗算法精度的影响最小,故本研究采用蒙特卡罗算法,以排除算法对计划的影响。本研究发现存在气腔时整个靶区的 D_{mean} 和 D_{max} 都降低,气腔对应的部分

靶区 PTVg 的 D_{mean} 和 D_{max} 同样减少,但是变化不具有统计学意义 ($P>0.05$),说明气腔的存在使得靶区受量减少,但是靶区仍然满足处方要求。类似地 Joshi 等^[18]应用蒙特卡罗算法在存在气腔的情况下,进行 IMRT 和 TOMO 计划制作的研究,发现气腔周围的组织受量由于剂量扣除原因会明显减少。本研究中,PTV 的 D_{mean} 减小 2.5%,而气腔对应部位的靶区 (PTVg) D_{mean} 减小 2.8%,类似于 Wadi-Ramahi 等^[19]和 Behrens^[20]在模体上模拟不同能量和不同气腔面积状态时对剂量影响的研究发现气腔存在使得治疗剂量减小 11%、17%、23%、33%。Zelevsky 等^[21]研究表明直肠内容积大于 60 mL 是导致前列腺位置及受量变化的主要原因。而本研究中靶区剂量变化均较小的原因,推断是因为本研究中气腔的体积范围为 2.71~20.59 mL,明显小于 Wadi-Ramahi 等^[19]的 $(2\times 2\times 20)\text{ cm}^3$ 的气腔体积和 Zelevsky 等^[21]的 60 mL,故变化也较小,但由于本研究纳入病例数较少,仍需进一步研究。

再之,存在气腔结构时,直肠的 D_{mean} 、 V_5 、 V_{30} 、 V_{40} 分别增加 0.4 Gy、0.5%、0.8%、1.7%,差异具有统计学意义 ($P<0.05$),这主要是由于二次建成效应的影响。二次建成效应往往导致射线的入射端剂量偏低,出射端的正常组织受量明显增加。

放射性直肠炎是前列腺放疗后最常见的并发症,尤其是慢性放射性直肠炎,病程长、症状多样,严重影响患者生活质量,而且暂无较好的治疗方法。在治疗中减少直肠的受照剂量和体积可以降低放射性直肠炎的发生几率,提高患者生活质量。气腔存在时,会明显增加直肠受照体积,从而导致患者出现放射性直肠损伤甚至直肠瘘的风险增加。因此,在治疗前行 CBCT 扫描监测直肠内气腔变化,可以使直肠在前列腺放疗过程中得到更好的保护。

王文卿等^[22]采用直肠内放置气囊减少直肠受量。放置气囊后直肠的 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 分别减少 8.6%、4.7%、4.4%,差异具有统计学意义 ($P<0.05$)。结果不同于本研究的原因是,直肠内放置气囊后,直肠与前列腺靶区的距离增加,从而引起直肠受量降低。但是该研究并没有考虑直肠气囊内气体对射线衰减的影响,没有调整电子密度后再进行剂量的重新计算,故结果与本研究结果不一致。在 CT 扫描时,X 线与物质的相互作用以光电效应为主,组织内的光电吸收与反冲电子吸收比例不同,使高密度组织射线吸收大于低密度组织^[23],造成直肠内外 CT 值变化较大,从而导致 ED 值也发生变化,而 Monaco 计划系统进行剂量计算是依据 ED 值进行计算的,所以当 CT

值变化时应该调整 ED 值。

本研究中气腔结构的存在使得膀胱的 D_{mean} 、 V_{30} 、 V_{40} 、 V_{50} 、 V_{70} 分别减小 0.2 Gy、0.3%、4.8%、2.4%、0.1%,两侧股骨头剂量分别增加 0.1% 和 0.2%,差异不具有统计学意义 ($P>0.05$)。认为这主要是因为膀胱及股骨头距离直肠及靶区较远,且位置较为固定,故受直肠内气腔体积变化较小,故影响较小。

4 结 论

直肠内气腔结构的存在对前列腺放疗计划的影响主要体现在增加直肠受量体积,直肠受量的增加使得远期并发症也相应增加。而对于靶区及膀胱、股骨头等 OAR 的受量影响不大。在治疗前应尽量减少直肠内气腔结构的形成并进行治疗前的实时监测,使得直肠得到更好的保护。

【参考文献】

- [1] 张先稳,张西志,花威,等. Rapid Arc 在前列腺癌放疗中的应用[J]. 现代肿瘤医学, 2015, 23(17): 2503-2505.
ZHANG X W, ZHANG X Z, HUA W, et al. The application of Rapid Arc for prostate cancer[J]. Journal of Modern Oncology, 2015, 23(17): 2503-2505.
- [2] CHEN W, ZHENG R, BAAD P D, et al. Cancer statistics in China, 2015[J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(2): 115-132.
- [3] 刘武松,宋争放,卢冰,等. 前列腺癌放疗技术的现状及新认识[J]. 四川医学, 2015, 36(3): 427-430.
LIU W S, SONG Z F, LU B, et al. Present technology and new understanding of prostate cancer radiotherapy[J]. Sichuan Medical Journal, 2015, 36(3): 427-430.
- [4] BOLLA M, DE REIJE T M, VAN TIENHOVEN G, et al. EORTC radiation oncology group and genito-urinary tract cancer group. Duration of androgen suppression in the treatment of prostate cancer [J]. N Engl J Med, 2009, 360(24): 2516-2527.
- [5] 刘跃平,许晶,张连胜,等. 前列腺癌大分割精确放疗分次治疗间和分次治疗内位置变动分析[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2016, 25(11): 1199-1203.
LIU Y P, XU J, ZHANG L S, et al. An analysis of interfractional and intrafractional prostate motion in hypofractionated precise radiotherapy for prostate cancer[J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2016, 25(11): 1199-1203.
- [6] ZELEVSKY M J, LEVIN E J, HUNT M, et al. Incidence of late rectal and urinary toxicities after three-dimensional conformal radiotherapy and intensity-modulated radiotherapy for localized prostate cancer[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 70(4): 1124-1129.
- [7] JANI A B, SU A, CORREA D, et al. Comparison of late gastrointestinal and genitourinary toxicity of prostate cancer patients undergoing intensity-modulated versus conventional radiotherapy using localized fields [J]. Prostate Cancer Prostatic Dis, 2007, 10(1): 82-86.
- [8] 杨振,胡逸民,魏瑞,等. 气腔存在和小野条件下不同光子剂量算法的计算精度比较[J]. 生物医学工程学杂志, 2012, 29(1): 75-79.
YANG Z, HU Y M, WEI R, et al. Comparison of calculation precision of photon dose between the two algorithms for the situation with air cavity and small fields[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2012,

- 29(1): 75-79.
- [9] 李乾坤, 傅玉川. 小射野条件下高能和低能X射线在非均匀介质中的剂量特性的比较研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2007, 44(2): 375-379.
- LI Q K, FU Y C. The dosimetric study on dose perturbation in inhomogeneities with small beamlets for low and high energy X rays [J]. Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 2007, 44(2): 375-379.
- [10] 冯宁远, 余耘. 气腔对上呼吸道肿瘤放疗的影响[J]. 中国放射肿瘤学杂志, 1988, 2(2): 44-45.
- FENG N Y, YU Y. The influence of gas cavity on radiotherapy for upper airway tumor [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 1988, 2(2): 44-45.
- [11] 李先明, 胡逸民, 徐国镇, 等. 气腔对高能X线剂量分布的影响[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 1992, 1(3): 195-199.
- LI X M, HU Y M, XU G Z, et al. The influence of gas cavity on dose perturbation for high energy X rays [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 1992, 1(3): 195-199.
- [12] PARK S S, YAN D, MCGRATH S, et al. Adaptive image-guided radiotherapy (IGRT) eliminates the risk of biochemical failure caused by the bias of rectal distension in prostate cancer treatment planning: clinical evidence [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2012, 83(3): 947-952.
- [13] VAN HALTEREN H K, GORTZAK E, TAAL B G, et al. Surgical intervention for complications caused by late radiation damage of the small bowel: a retrospective analysis [J]. Eur J Surg Oncol, 1993, 19(4): 336-341.
- [14] PATEL R R, ORTON N, TOMÉ W A, et al. Rectal dose sparing with a balloon catheter and ultrasound localization in conformal radiation therapy for prostate cancer [J]. Radiother Oncol, 2003, 67(3): 285-294.
- [15] MELCHERT C, GEZ E, BOHLEN G, et al. Interstitial biodegradable balloon for reduced rectal dose during prostate radiotherapy: results of a virtual planning investigation based on the pre- and post-implant imaging data of an international multicenter study [J]. Radiother Oncol, 2013, 106(2): 210-214.
- [16] VAN LIN E N, KRISTINSSON J, PHILIPPENS M E, et al. Reduced late rectal mucosal changes after prostate three-dimensional conformal radiotherapy with endorectal balloon as observed in repeated endoscopy [J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2007, 67(3): 799-811.
- [17] DEVILLE C, BOTH S, BUI V, et al. Acute gastrointestinal and genitourinary toxicity of image-guided intensity modulated radiation therapy for prostate cancer using a daily water-filled endorectal balloon [J]. Radiat Oncol, 2012, 7(76): 76.
- [18] JOSHI C P, DARKO J, VIDYASAGAR P B, et al. Dosimetry of interface region near closed air cavities for Co-60, 6 MV and 15 MV photon beams using Monte Carlo simulations [J]. Med Phys, 2010, 35(2): 73-80.
- [19] WADI-RAMAHI S J, NAQVI S A, CHU J C. Evaluating the effectiveness of a longitudinal magnetic field in reducing underdosing of the regions around upper respiratory cavities irradiated with photon beams-a Monte Carlo study [J]. Med Phys, 2001, 28(8): 1711-1717.
- [20] BEHRENS C F. Dose build-up behind air cavities for Co-60, 4, 6 and 8 MV. Measurements and Monte Carlo simulations [J]. Phys Med Biol, 2006, 51(22): 5937-5950.
- [21] ZELEFSKY M J, CREAN D, MAGERAS G S, et al. Quantification and predictors of prostate position variability in 50 patients evaluated with multiple CT scans during conformal radiotherapy [J]. Radiother Oncol, 1999, 50(2): 225-234.
- [22] 王文卿, 王维虎, 李晔雄, 等. 直肠内气囊对前列腺癌调强放疗中危及器官的剂量学影响 [J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2012, 21(2): 156-159.
- WANG W Q, WANG W H, LI Y X, et al. The influence of endorectal balloon on normal tissue dosimetry in prostate cancer treated with intensity-modulated radiation therapy [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2012, 21(2): 156-159.
- [23] 高立权, 孙小喆, 刘智惠, 等. CT-电子密度转换曲线的采集校正及对治疗计划剂量计算的影响 [J]. 医疗卫生装备, 2016, 37(2): 103-105.
- GAO L Q, SUN X Z, LIU Z H, et al. Sampling and correction of CT-electron density curve and their effects on treatment planning dose calculation [J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2016, 37(2): 103-105.

(编辑:谭斯允)