

## 不同计划系统的剂量学比较

唐慧敏<sup>1</sup>, 杨振<sup>1</sup>, 龚学余<sup>2</sup>, 吕知平<sup>1</sup>, 张子健<sup>1</sup>, 曹瑛<sup>2</sup>, 王翰宇<sup>2</sup>, 刘归<sup>1</sup>, 胡永梅<sup>1</sup>, 杨晓喻<sup>1</sup>

1. 中南大学湘雅医院肿瘤科放射治疗中心, 湖南 长沙 410008; 2. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001

**【摘要】目的:**运用雷泰计划系统(Linatech TPS)验证瓦里安Eclipse调强放疗(Eclipse IMRT)计划剂量的准确性。**方法:**随机选取鼻咽癌患者6例,男、女各3例;乳腺癌术后患者8例,患者全为女性,左侧5例,右侧3例。鼻咽癌动态调强计划采用9野均分照射,原发灶(PGTV<sub>m</sub>)处方剂量为7392 cGy;乳腺癌动态调强计划采用5~7野照射,处方剂量50 Gy。将计划分别以各向异性分析算法(Anisotropy Analysis Algorithm, AAA)和光子剂量算法(Acuros External Beam Algorithm, Acuros XB)进行剂量计算,计算完成后将该计划以DICOM格式导入Linatech TPS中进行剂量计划方法(Dose Planning Methods, DPM)蒙特卡罗算法计算。以处方剂量包绕95%靶区体积为计划接受标准,分别比较3种算法得到的靶区的最大剂量、平均剂量和相对差异。**结果:**AAA和DPM相对于Acuros XB在乳腺癌的差异较小,危及器官最大差异分别为对侧肺和对侧乳腺,最大差值分别为5.9%和9.3%;计划靶区(PTV)的最大差异分别为4.9%和4.6%。而在鼻咽癌中的差异相对较大,AAA和DPM相对于Acuros XB的危及器官最大差异都为左晶体,最大差值分别为15.4%和35.5%;靶区的最大差异分别为PTV<sub>2</sub>和PGTV<sub>m</sub>,最大差值分别为4.2%和11.1%。差异具有统计学意义。**结论:**3种算法在鼻咽癌中的剂量差异相对较大,在乳腺癌中的剂量差异相对较小,且体积越小,差异越大。

**【关键词】**雷泰计划系统;瓦里安计划系统;剂量验证;鼻咽癌;乳腺癌

**【中图分类号】**R815; R73

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2016)03-0286-05

## Dosimetric comparison of different treatment planning systems

TANG Hui-min<sup>1</sup>, YANG Zhen<sup>1</sup>, GONG Xue-yu<sup>2</sup>, LYU Zhi-ping<sup>1</sup>, ZHANG Zi-jian<sup>1</sup>, CAO ying<sup>2</sup>, WANG Han-yu<sup>2</sup>, LIU Gui<sup>1</sup>, HU Yong-mei<sup>1</sup>, YANG Xiao-yu<sup>1</sup>

1. Radiotherapy Center, Department of Oncology, Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China; 2. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China

**Abstract:** Objective To evaluate the dose accuracy of Eclipse intensity-modulated radiotherapy (Eclipse IMRT) plans by using Linatech treatment planning system (Linatech TPS). **Methods** Randomly, 6 nasopharyngeal carcinoma (NPC) patients, including 3 male and 3 female, and 8 postoperative female patients with breast cancer, including 5 cases of left breast cancer and 3 cases of right breast cancer, were selected. Dynamic IMRT with 9 fields was designed for NPC, with a prescription dose of 7392 cGy for PGTV<sub>m</sub>, while the dynamic IMRT with 5-7 fields was designed for breast cancer, with a prescription dose of 50 Gy. Anisotropy analysis algorithm (AAA) and Acuros external beam algorithm (Acuros XB) were applied for the dose calculation of each plan. After calculation, the plans were transferred to Linatech TPS in DICOM format and calculated by dose planning methods (DPM), Monte Carlo algorithm. The 95% of the target volume was covered by the prescribed dose in each plan. The maximum dose, mean dose and relative differences of target volumes were compared among the three algorithms. **Results** Relative to Acuros XB, AAA and DPM had a smaller difference in breast cancer. The largest dose differences of organs at risk (OARs) were found in the contralateral lung and contralateral breast. The largest difference values of contralateral lung and contralateral breast were respectively 5.9% and 9.3%, and the largest differences of the planning target volume (PTV) were respectively 4.9% and 4.6%. For NPC, the differences were relatively larger. Relative to Acuros XB, both the largest differences in OARs of AAA and DPM were the left lens, respectively with

**【收稿日期】**2015-10-08

**【基金项目】**南华大学核聚变与等离子体物理创新团队建设项目(NHXTD03)

**【作者简介】**唐慧敏(1989-),女(汉族),湖南邵阳人,硕士。Tel:15717489921,15211805508;E-mail:271758051@qq.com。

the largest differences of 15.4% and 35.5%. And the biggest differences in target volumes were  $PTV_2$  and  $PGTV_{nx}$ , respectively with the biggest differences of 4.2% and 11.1%. The differences were statistically significant. **Conclusion** The dose differences among the three algorithms are much bigger in NPC and smaller in breast cancer. And the smaller the organ's volume is, the bigger the differences are.

**Key words:** Linac treatment planning system; Eclipse treatment planning system; dose verification; nasopharyngeal carcinoma; breast cancer

## 前言

在放疗过程中,剂量计算的精确性是放疗安全的重要环节,剂量验证是保证其精确性的重要步骤<sup>[1]</sup>。鼻咽癌靶区邻近口腔、鼻腔、上颌骨等空腔,靶区形状复杂,危及器官限制较多<sup>[2]</sup>;乳腺癌术后患者靶区呈细长状,外侧暴露在空气中,内侧紧邻肺组织,各组织间存在显著的密度差异,对剂量计算及验证都存在较高的要求<sup>[3]</sup>。研究证实瓦里安 Eclipse 计划系统的先进光子剂量算法(Acuros External Beam Algorithm, Acuros XB)与蒙特卡罗算法存在高度的一致性<sup>[4-5]</sup>。拟选取剂量计划方法(Dose Planning Methods, DPM)蒙特卡罗算法与各向异性分析算法(Anisotropy Analysis Algorithm, AAA)在调强放射治疗(IMRT)计划中计算三维剂量,与 Acuros XB 计划比较靶区和危及器官的剂量学指标,评估 Eclipse 计划系统的计算精度。

## 1 材料和方法

### 1.1 临床资料

随机选取 2013~2014 年在本院接受放射治疗的鼻咽癌患者 6 例,病理类型全部为低分化鳞癌, TN 分期为:  $T_1$  期 1 例,  $T_2$  期 3 例,  $T_3$  期 2 例;  $N_1$  期 2 例,  $N_2$  期 2 例,  $N_3$  期 2 例。男、女各 3 例,患者年龄 31~75 岁,中位年龄 50 岁。乳腺癌术后患者 8 例,患者全为女性,病理证实均为浸润性导管癌且手术切缘无残留,其中左侧 5 例,右侧 3 例,患者年龄 35~56 岁,中位年龄 42.5 岁。

### 1.2 体位固定及 CT 扫描

鼻咽癌患者采用仰卧体位,用热塑碳纤维板固定,利用西门子 Definition 大孔径 CT 行螺旋扫描,扫描方式为平扫加增强,扫描范围为头顶至胸椎第二节以下 2 mm,扫描层厚 3 mm。采用真空负压袋配合乳腺翼型板固定,患者上肢上举,双手握住翼型板把手。利用西门子 Definition 大孔径 CT 行螺旋扫描,扫描时病人平静呼吸。扫描层厚、层距均为 3 mm,扫描

范围为下颌至全胸廓,以完整包括全部邻近正常组织器官,如肺、心脏、对侧乳腺、脊髓。

### 1.3 放疗计划制定

6 例鼻咽癌患者为随机选取,临床医生参考 MRI 影像在计划系统 CT 图像上逐层勾画,确定鼻咽癌原发灶( $PGTV_{nx}$ )、阳性淋巴结( $PGTV_{nd}$ )加上 5~10 mm 余量及全部鼻咽癌翼腭窝、斜坡、颅底和咽旁间隙为  $PTV_1$ ,上颌窦、鼻腔的后 1/3、蝶窦的下半部分、颈部淋巴引流区和锁骨上预防区皆为  $PTV_2$ <sup>[1]</sup>。同时勾画出正常组织和危及器官,如脑干、脊髓、晶体、视神经等。

根据美国放射治疗肿瘤协作组(RTOG)共识定义:患侧胸壁和(或)锁骨上、下淋巴结区为临床靶区(CTV);CTV 外扩 5~10 mm 为计划靶区(PTV)<sup>[6]</sup>;定义患侧肺、健侧肺、对侧乳腺、脊髓、心脏和皮肤为患者的危及器官。

物理师使用 Eclipse 计划系统(11.0 版本)进行动态 IMRT 计划设计,鼻咽癌动态 IMRT 计划采用 9 野均分照射,  $PTV_1$  处方剂量为 6600 cGy,  $PTV_2$  为 5940 cGy,  $PGTV_{nd}$  处方剂量为 6996 cGy,  $PGTV_{nx}$  处方剂量为 7392 cGy,共 33 个分次。乳腺癌动态调强计划采用 5~7 野照射,按靶区切线方向以上布野,起始切入角度为切线方向;剂量处方为 95% PTV 受量不低于 50 Gy,共 25 个分次。对每一类型计划,在保持优化的强度图或控制点不变的情况下分别采用 AAA 和 Acuros XB 进行最后剂量计算。计算完成后将该计划以 DICOM 格式导入雷泰计划系统(Linac TPS)中进行 DPM 算法计算。归一条件相同,计算网格均为 2.5 mm,每个病例共有 3 个计划。治疗采用瓦里安公司 Trilogy 加速器,6 MV 射线档。

### 1.4 剂量学差异比较

以处方剂量包绕 95% 靶区体积为计划接受标准,分别比较 3 种算法得到的靶区的最大剂量和平均剂量,分析比较各个病例基于 3 种算法的 IMRT 计划在相同优化条件下得到的靶区和危及器官剂量,并对

靶区的剂量分布和危及器官(鼻咽癌危及器官晶体、视神经、视交叉、脑干、脊髓、垂体;乳腺癌危及器官脊髓、患侧肺、对侧肺、对侧乳腺)的最大剂量、平均剂量分布情况进行分析评估。

### 1.5 统计学处理

利用SPSS16.0软件进行统计,数据表示为均数 $\pm$ 标准差, $P<0.05$ 代表差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 乳腺癌靶区及危及器官剂量参数比较

表1 3种算法在乳腺癌IMRT计划中剂量学比较

Tab.1 Dosimetric comparison of three algorithms in IMRT plan for breast cancer

| Parameter                              | AAA (cGy)           | AXB (cGy)           | DPM (cGy)           | AAA relative to AXB (%) | DPM relative to AXB (%) | P    |
|----------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|------|
| PTV D <sub>max</sub>                   | 5563.7 $\pm$ 84.1   | 5722.1 $\pm$ 77.6   | 5688.2 $\pm$ 117.6  | 2.7 $\pm$ 1.4           | 0.6 $\pm$ 1.5           | 0.04 |
| PTV D <sub>mean</sub>                  | 5181.5 $\pm$ 25.4   | 5174.7 $\pm$ 25.7   | 5011.5 $\pm$ 42.1   | 0.1 $\pm$ 1.3           | 3.2 $\pm$ 0.2           | 0.00 |
| Spinal cord D <sub>max</sub>           | 3030.2 $\pm$ 544.0  | 2972.9 $\pm$ 544.3  | 3043.1 $\pm$ 733.3  | -20.1 $\pm$ 3.3         | -2.4 $\pm$ 15.2         | 0.94 |
| Ipsilateral lung D <sub>max</sub>      | 5369.1 $\pm$ 83.3   | 5420.5 $\pm$ 85.8   | 5316.4 $\pm$ 126.3  | 0.9 $\pm$ 0.5           | 1.9 $\pm$ 17.7          | 0.15 |
| Contralateral lung D <sub>max</sub>    | 1478.2 $\pm$ 507.5  | 1511.4 $\pm$ 513.6  | 1463.9 $\pm$ 494.8  | 2.2 $\pm$ 2.1           | 3.0 $\pm$ 4.8           | 0.25 |
| Contralateral breast D <sub>max</sub>  | 1268.7 $\pm$ 1161.9 | 1328.7 $\pm$ 1205.2 | 1260.8 $\pm$ 1121.3 | -5.4 $\pm$ 5.2          | -4.2 $\pm$ 8.6          | 0.00 |
| Spinal cord D <sub>mean</sub>          | 458.3 $\pm$ 98.3    | 449.6 $\pm$ 94.7    | 438.4 $\pm$ 91.8    | -1.9 $\pm$ 1.5          | -1.8 $\pm$ 6.8          | 0.67 |
| Ipsilateral lung D <sub>mean</sub>     | 1716.6 $\pm$ 233.2  | 1700.8 $\pm$ 232.3  | 1598.0 $\pm$ 227.0  | -0.8 $\pm$ 2.7          | 6.1 $\pm$ 17.4          | 0.01 |
| Contralateral lung D <sub>mean</sub>   | 280.1 $\pm$ 142.5   | 284.6 $\pm$ 148.2   | 263.24 $\pm$ 141.6  | 1.0 $\pm$ 3.4           | 8.3 $\pm$ 2.6           | 0.02 |
| Contralateral breast D <sub>mean</sub> | 392.74 $\pm$ 208.4  | 423.9 $\pm$ 201.1   | 393.50 $\pm$ 185.6  | 10.9 $\pm$ 9.6          | 7.3 $\pm$ 3.2           | 0.33 |

Relative dose difference =  $(D_i - D_{AXB}) / D_{AXB}$  IMRT: Intensity-modulated radiotherapy; AAA: Anisotropy analysis algorithm; AXB: Acuros external beam algorithm; DPM: Dose planning methods; PTV: Planning target volume

### 2.2 鼻咽癌靶区及危及器官剂量参数比较

DPM、AAA与Acuros XB对应鼻咽癌患者计划的靶区及危及器官最大剂量、平均剂量与相对剂量差异比较。3种算法所对应的放疗计划中,靶区的平均剂量和最大剂量,右晶体及脊髓的最大剂量均为DPM的最大;危及器官脑干、左晶体及左视神经的最大剂量均为AAA的最大;右视神经、视交叉和垂体的最大剂量均为Acuros XB的最大。相对于Acuros XB,AAA和DPM所对应计划的危及器官最大差异都为左晶体,最大差值分别为15.4%和35.5%;靶区的最大差异分别为PTV<sub>2</sub>和PGTV<sub>nx</sub>,最大差值分别为4.2%和11.1%。详见表2。

## 3 讨论

DPM、AAA与Acuros XB对应的乳腺癌PTV及危及器官最大剂量、平均剂量与相对剂量差异。3种算法所对应的放疗计划中,靶区的最大剂量,患侧肺、健侧肺、对侧乳腺最大剂量,健侧肺、对侧乳腺的平均剂量均为Acuros XB的最大;靶区平均剂量,脊髓平、患侧肺平均剂量均为AAA的最大;仅脊髓的最大剂量为DPM的最大。相对于Acuros XB,AAA和DPM所对应计划的危及器官剂量最大差异分别为健侧肺和对侧乳腺,最大差值分别为5.9%和9.3%;靶区PTV的最大差异分别为4.9%和4.6%。详见表1。

分析上述数据可以发现,AAA、Acuros XB和DPM对应计划的剂量在乳腺癌中的差异相对较小。相对于Acuros XB,AAA和DPM所对应计划的危及器官剂量最大差异分别为对侧肺和对侧乳腺,最大差值分别为5.9%和9.3%;靶区PTV的最大差异分别为4.9%和4.6%。而在鼻咽癌中的差异相对较大。相对于Acuros XB,AAA和DPM所对应计划的危及器官最大差异都为左晶体,最大差值分别为15.4%和35.5%;靶区的最大差异分别为PTV<sub>2</sub>和PGTV<sub>nx</sub>,最大差值分别为4.2%和11.1%。出现以上差异可能是由于算法不同造成的。AAA是三维笔形束卷积叠加算法,考虑了原射线、电子线污染、准直器散射的影响<sup>[7]</sup>,但没有考虑非均匀组织材料的化学成分,不能

表2 3种算法在鼻咽癌IMRT计划中剂量学比较

Tab.2 Dosimetric comparison of three algorithms in IMRT plans for nasopharyngeal cancer

| Parameter                            | AAA (cGy)     | AXB (cGy)     | DPM (cGy)     | AAA relative to AXB (%) | DPM relative to AXB (%) | P    |
|--------------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------|-------------------------|------|
| PGTV <sub>nx</sub> D <sub>mean</sub> | 6388.6±142.6  | 6371.8±137.6  | 6717.6±199.2  | -0.3±0.2                | -5.4±0.9                | 0.00 |
| PGTV <sub>nd</sub> D <sub>mean</sub> | 5743.3±244.5  | 5672.0±225.1  | 5929.7±244.6  | -1.2±0.3                | -4.5±0.4                | 0.00 |
| PTV <sub>1</sub> D <sub>mean</sub>   | 5525.2±90.1   | 5488.7±89.9   | 5757.6±118.0  | -0.7±0.1                | -4.9±0.5                | 0.01 |
| PTV <sub>2</sub> D <sub>mean</sub>   | 5324.3±56.8   | 5361.4±71.7   | 5527.8±51.6   | 0.7±1.6                 | -3.1±1.8                | 0.00 |
| PGTV <sub>nx</sub> D <sub>max</sub>  | 6734.4±201.5  | 6798.3±188.2  | 7466.5±277.0  | 0.9±0.5                 | -9.8±1.2                | 0.00 |
| PGTV <sub>nd</sub> D <sub>max</sub>  | 6476.6±474.4  | 6504.1±482.3  | 6939.7±692.9  | 0.4±0.8                 | -6.5±3.2                | 0.00 |
| PTV <sub>1</sub> D <sub>max</sub>    | 6420.4±327.6  | 6437.6±376.5  | 6961.6±524.2  | 0.2±1.1                 | -8.1±2.4                | 0.00 |
| PTV <sub>2</sub> D <sub>max</sub>    | 5746.1±108.1  | 5898.7±84.3   | 6151.0±139.2  | 2.6±1.4                 | -4.3±2.4                | 0.00 |
| Brain stem D <sub>max</sub>          | 4322.8±233.6  | 4185.8±203.2  | 4329.7±297.5  | -3.4±5.3                | -3.9±11.5               | 0.89 |
| Left lens D <sub>max</sub>           | 716.1±146.0   | 704.4±146.0   | 593.2±229.5   | -2.2±9.2                | 9.2±16.5                | 0.03 |
| Right lens D <sub>max</sub>          | 715.9±50.5    | 706.1±78.5    | 731.9±154.5   | -0.2±11.6               | -3.7±17.8               | 0.88 |
| Left optic nerve D <sub>max</sub>    | 3935.7±1628.6 | 3835.3±1604.6 | 3611.7±1739.7 | -2.7±2.5                | 9.2±10.1                | 0.04 |
| Right optic nerve D <sub>max</sub>   | 4084.9±688.4  | 4165.9±689.8  | 4058.8±891.0  | 2.0±3.9                 | 3.2±9.8                 | 0.71 |
| Optic chiasma D <sub>max</sub>       | 3557.4±1172.2 | 3565.5±1238.4 | 3183.7±117.0  | -0.5±2.7                | 10.5±5.2                | 0.00 |
| Spinal cord D <sub>max</sub>         | 3208.5±74.7   | 3114.3±73.3   | 3370.3±77.5   | -3.1±3.9                | -8.3±9.8                | 0.71 |
| Pituitary D <sub>max</sub>           | 4912.1±198.0  | 4930.8±228.1  | 4817.9±212.7  | 0.4±0.7                 | 2.2±4.3                 | 0.31 |

客观准确地反映组织间的不均匀性,特别是在密度差别较大的区域或者空腔部位<sup>[8]</sup>。本实验选取的鼻咽癌患者靶区邻近口腔、鼻腔、上颌骨等空腔,相对于乳腺癌具有靶区形状复杂,危及器官多且结构精细等特点。当射束通过空腔时,会产生大量的小子野而导致电子失衡等问题,降低剂量计算的精度。DPM是一种简化了的蒙特卡罗算法,采用独立步长的电子散射理论和许多近似算法<sup>[9]</sup>,在可接受的范围内降低剂量计算的精确性,提高计算效率,适用于电子和光子的快速计算。有研究显示DPM算法相对于传统蒙特卡罗算法,差异在1.25%左右<sup>[10]</sup>。Acuros XB运用数值方法求解线性玻尔兹曼输运方程,计算结果与剂量计算的“金标准”——传统的蒙特卡罗算法具有高度一致性。出现以上结果的原因也可能是由于感兴趣区域(Regions of Interest, ROI)在DICOM传输过程中体积发生了变化。CT图像序列生成的一个感兴趣区域体积由许多小的体积元组成,体积元的数目和大小由系统预设的图像分辨率决定,每个体积元的介质组成和密度不同<sup>[11]</sup>。不同的计划系统采用不同的坐标网格对ROI进行系统预处理,本实验在以DICOM格式进行传输的过程中,AAA与

Acuros XB均属于Eclipse计划系统,采用相同的坐标网格进行体积处理,而Linatech计划系统可能由于采用不同的分辨率等原因,将ROI进行近似优化处理。同时Eclipse运用的是基于形状的差值算法,将ROI处理成表面光滑,顶面和底面都是球面的区域,对剂量计算的体积有较大的影响<sup>[12]</sup>。Linatech基本不对图像做近似处理,只在一些部位做了极小的调整,基本反映原图像的实际情况,这与本实验结果一致。出现以上结果也可能是由于靶区勾画,病人的个体性差异等原因造成。

两种TPS都已运用于临床计划设计和剂量计算,精确性在可接受范围内,本研究拟尝试运用第三方TPS来验证剂量计算是否准确,实验数据仅提供临床参考,差异的具体范围仍需要基数较大的临床病例研究才能确定。

## 【参考文献】

- [1] 杨海燕,王军良,周振山,等. AAA算法和PBC算法在鼻咽癌调强放疗中剂量分布的比较[J]. 中国医学物理学杂志, 2013, 30(4): 4245-4247.  
YANG H Y, WANG J L, ZHOU Z S, et al. Comparison of dose distribution of anisotropic analytical algorithm (AAA) and pencil



- beam convolution (PBC) algorithm for intensity modulated radiotherapy (IMRT) treatment of nasopharyngeal [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2013, 30(4): 4245-4247.
- [2] KAN M W, CHEUNG J Y, LEUNG L H, et al. The accuracy of dose calculations by anisotropic analytical algorithms for stereotactic radiotherapy in nasopharyngeal carcinoma [J]. Phys Med Biol, 2010, 56(2): 397-413.
- [3] 伍然, 全红, 徐利明, 等. 不同算法所得 IMRT 计划的剂量学验证评估[J]. 中国医学物理学杂志, 2011, 28(3): 2581-2583.
- WU R, QUAN H, XU L M, et al. Evaluation of dose verification of IMRT plans from different algorithms [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2011, 28(3): 2581-2583.
- [4] TSURUTA Y, NAKATA M, NAKAMURA M, et al. Dosimetric comparison of Acuros XB, AAA, and XVMC in stereotactic body radiotherapy for lung cancer [J]. Med Phys, 2014, 41(8): 189.
- [5] TAO H, FOLLOWILL D, IKELL J, et al. Dosimetric impact of Acuros X B deterministic radiation transport algorithm for heterogeneous dose calculation in lung cancer [J]. Med Phys, 2013, 40(5): 1710.
- [6] JULIA W, AN T, DOUGLAS A, et al. Breast cancer Atlas for radiation therapy planning: consensus definition [J/OL]. <http://www.rtog.org/LinkClick.aspx?fileticket=vzJfPaBipE%3d&tabid=236>.
- [7] CARLAPRILE P, VENENCIA C D, BESA P, et al. Comparison between measured and calculated dynamic wedge dose distributions using the anisotropic analytic algorithm and pencil-beam convolution [J]. J Appl Clin Med Phys, 2007, 8(1): 47-54.
- [8] READSHAW A, LALONDE R, KIM H, et al. Comparison of AAA and acuros dose calculations in a heterogeneous phantom [J]. Med Phys, 2013, 40(6): 336-339.
- [9] 卢文婷, 时颖华, 周凌宏, 等. DPM 蒙特卡罗剂量计算算法在均匀组织和非均匀组织剂量精确性的验证[J]. 生物医学工程学杂志, 2012, 29(2): 237-241.
- LU W T, SHI Y H, ZHOU L H, et al. Verification of the accuracy of monte carlo-based dose calculation algorithm, DPM, in homogeneous and inhomogeneous tissues [J]. Journal of Biomedical Engineering, 2012, 29(2): 237-241.
- [10] SEMPAU J, WILDERMAN S J, BIELAJEW A F. DPM, a fast, accurate Monte Carlo code optimized for photon and electron radiotherapy treatment planning dose calculations [J]. Phys Med Biol, 2014, 45 (8): 2263-2291.
- [11] 王佳舟, 陈俊超, 李龙根, 等. Pinnacle 与 Eclipse 计划系统对感兴趣区体积计算的比较[J]. 中华放射肿瘤学杂志, 2011, 20(2): 156-159.
- WANG J Z, CHEN J C, LI L G, et al. Comparison of region of interest volume between Pinnacle and Eclipse treatment planning system [J]. Chinese Journal of Radiation Oncology, 2011, 20(2): 156-159.
- [12] VANT'VELD A, BRUINVIS I A. Influence of shape on the accuracy of grid-based volume computation [J]. Med Phys, 1995, 22(9): 1377-1385.

## (上接279页)

- [35] 朱秀玲. 速度向量成像技术对左室舒张功能的评价[J]. 天津医药, 2011, 39(1): 21-23.
- ZHU X L. Velocity vector imaging assessment left diastolic function [J]. Tianjin Medical Journal, 2011, 39(1): 21-23.
- [36] 魏鹏. TDI 与 VVI 评价高血压性心脏病左室舒张功能一致性的研究[J]. 中国医药导报, 2013, 10(2): 63-65.
- WEI P. The consistency study about TDI and VVI evaluate left ventricular diastolic function in hypertensive heart disease [J]. China Medical Herald, 2013, 10(2): 63-65.
- [37] ARAI K, HOZUMI T, MATSUMURA Y, et al. Accuracy of measurement of left ventricular volume and ejection fraction by new real-time three-dimensional echocardiography in patients with wall motion abnormalities secondary to myocardial infarction [J]. Am J Cardiol, 2004, 94(5): 552-528.
- [38] 唐红, 张熾, 宋彬, 等. 实时三维超声心动图定量评价左心室容量-时间曲线的可行性与准确性研究[J]. 中国医学影像学杂志, 2007, 15(1): 8-10.
- TANG H, ZHANG Y, SONG B, et al. The accuracy and feasibility of left ventricular volume-time curve analysis by real-time three-dimensional echocardiography [J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2007, 15(1): 8-10.
- [39] 魏常华, 袁建军, 纪淑姣. 实时三维超声心动图评价左室整体收缩和舒张功能的研究[J]. 中国医学影像技术, 2008, (S1): 96-98.
- WEI C H, YUAN J J, JI S J. Assessment of left ventricular global systolic and diastolic function using real-time three-dimensional echocardiography [J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2008, (S1): 96-98.
- [40] MURATA M, IWANAGA S, TAMURA Y, et al. A real-time three-dimensional echocardiographic quantitative analysis of left atrial function in left ventricular diastolic dysfunction [J]. Am J Cardiol, 2008, 102(8): 1097-1102.
- [41] 王玉敏. 实时三维超声心动图评价左心室功能的研究进展[J]. 医学综述, 2014, 20(9): 1655-1657.
- WANG Y M. Development of real-time three-dimensional echocardiography in evaluating the left ventricular [J]. Medical Review, 2014, 20(9): 1655-1657.
- [42] SPENCER K T, LANG R M, KIRKPATRICK J N, et al. Assessment of global and regional left ventricular diastolic function in hypertensive heart disease using automated border detection techniques [J]. Echocardiography, 2003, 20(7): 673-681.
- [43] 刘惠芬. 彩色室壁运动技术评价左室各节段舒张功能减低的研究[J]. 中国实用医药, 2013, 8(27): 94-95.
- LIU H F. Color kinesis evaluate regional left ventricular diastolic dysfunction [J]. China Practical Medicine, 2013, 8(27): 94-95.
- [44] HU K, LIU D, Niemann M, et al. Failure to unmask pseudonormal diastolic function by a valsava maneuver: tricuspid insufficiency is a major factor [J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2011, 4(6): 671-677.