

鼻咽癌全颈同步加量 VMAT 的可行性研究

Feasibility of Whole Field Simultaneous Integrated Boost VMAT in the Treatment for Nasopharyngeal Cancer // JIN Xian-ce, ZHOU Yong-qiang, YI Jin-ling, et al.

金献测, 周永强, 易金玲, 阎华伟, 韩策, 谢聪颖

(温州医学院附属第一医院, 浙江温州 325000)

摘要: [目的] 探讨全颈同步加量容积调强放疗(WF-SIB VMAT)在鼻咽癌治疗中的可行性。[方法] 对于 8 例入组的鼻咽癌患者, 根据相同的优化目标, 分别设计了 7 野 WF-SIB IMRT、单弧 WF-SIB VMAT 和双弧 WF-SIB VMAT 计划。对三种治疗方式的靶区覆盖率与正常组织的保护情况进行比较分析, 并分析比较优化时间、传输时间及剂量验证通过率等指标。[结果] IMRT 的靶区覆盖率比单弧和双弧 VMAT 计划高, 双弧 VMAT 的脊髓最大剂量点最低, 其他参数比较没有统计学差异。单弧与双弧 VMAT 计划优化时间分别是 IMRT 的 5 倍与 10 倍, MU 只有 IMRT 的 42% 与 55% 左右, 出束时间分别比 IMRT 快 6 倍和 3 倍。[结论] 双弧 VMAT 可行, WF-SIB VMAT 与 IMRT 可同作为鼻咽癌的治疗选择。

关键词: 鼻咽肿瘤; 容积调强弧形放射治疗; 调强放射治疗; 全颈同步加量

中图分类号: R739.62 文献标识码: B
文章编号: 1671-170X(2013)05-0399-05

容积调强弧形放射治疗(volumetric modulated arc radiotherapy, VMAT)是新型的调强放射治疗实现方式, 它可同时对剂量率、机架运行速度与多叶栅的位置进行连续性变化^[1]。已有文献报道, VMAT 可以在更短的时间内, 用更少的 MU, 获得比传统 IMRT 更优的剂量分布^[2]。目前, VMAT 已经在越来越多的放射治疗中心开展应用。但据我们所知, 至今还没有鼻咽癌全颈同步加量 VMAT 治疗的相关报道。本研究的目的是通过比较全颈同步加量 VMAT 与全颈同步加量 IMRT, 研究全颈同步加量 VMAT 在鼻咽癌治疗中的可行性。

1 资料与方法

1.1 患者与靶区勾画

入组 8 例不同分期的鼻咽癌患者, 根据 CT/MRI 图像, 勾画肿瘤区和肿大的淋巴结作为肿瘤靶体积 (gross tumor volume, GTV), 临床靶体积 (clinical target volume, CTV) 勾画同我们以往方法^[3], 包括鼻咽、咽后淋巴结、斜坡、颅底、翼窝、咽旁间隙、下组筛窦以及后 1/3 的鼻腔和上颌窦、高危淋巴区域及锁骨淋巴

结与后颈淋巴结, 并勾画需要保护的正常组织 (Figure 1)。考虑到摆位带来的误差, 计划靶区 (planning target volume, PTV) 为临床靶区外扩 2mm。

1.2 治疗计划设计

我们为每位鼻咽癌患者设计了一个 7 野的 IMRT 计划、一个单弧 VMAT 计划和一个双弧 VMAT 计划。所采用的计划系统为飞利浦 Pinnacle3 (clinical version 9.2; USA)。7 野 IMRT 计划的优化算法为直接机械参数优化法 (DMPO), 最大重复优化次数设定为 150 次, 最大的子野数为 70 个, 射野角度分别为 0°、51°、102°、153°、204°、255° 与 306°。同步加量的处方剂量为 GTV 2.5Gy, PTV 2.0Gy/次, 共 28 次。VMAT 计划优化算法为 SmartArc, 单弧起始角度为 181°, 终于 180°, 顺时针方向; 双弧的第一个弧度与单弧相同, 第二个弧度从 180° 到

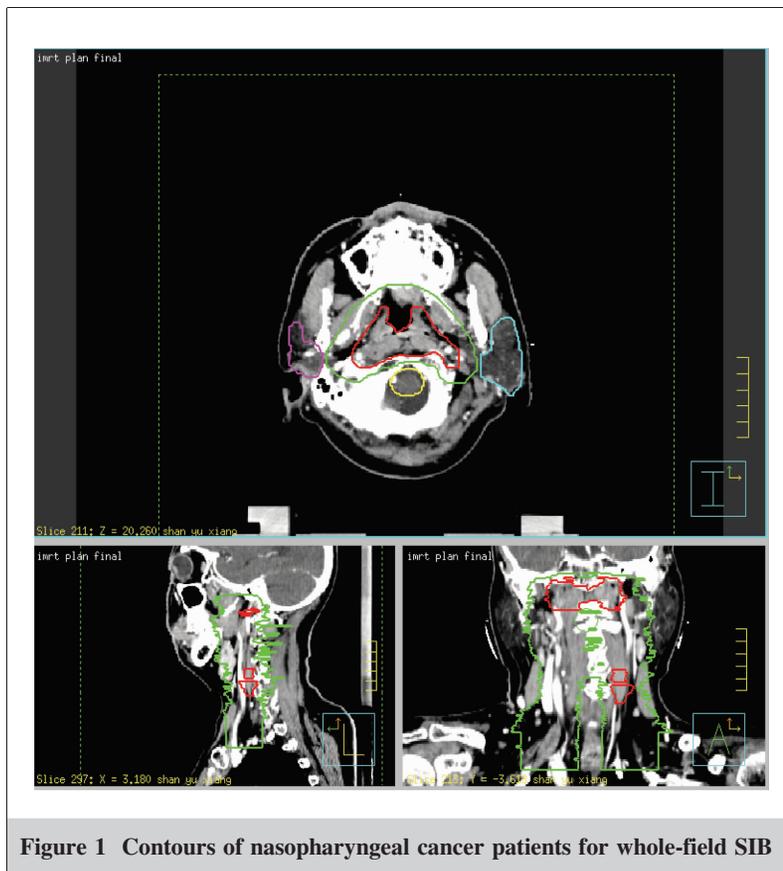


Figure 1 Contours of nasopharyngeal cancer patients for whole-field SIB

基金项目: 温州市科技计划项目 (Y20120137)

通讯作者: 谢聪颖, 科主任, 副主任医师, 博士; 温州医学院附属第一医院放射治疗科, 浙江省温州市府学巷 2 号 (325000); E-mail: xiecy@wzhospital.cn.

收稿日期: 2012-09-20; 修回日期: 2012-12-10

181°,逆时针方向。最大叶片移动速度为 0.46cm/度,最终的机架间距为 4°。为了尽量减少比较研究中的内在偏差,我们对所有的患者肿瘤靶区与正常组织设定同样的优化目标函数。为了减少优化时间,在优化的过程中,关闭所有靶区,体积剂量图(DVH)和剂量曲线显示功能。

1.3 剂量比较

我们对三种计划方式的肿瘤靶区覆盖率与正常组织保护情况进行了评估与比较。计算的肿瘤靶区评估指标包括最大剂量(D_{max})、最小剂量(D_{min})和平均剂量(D_{mean}),及 GTV 与 CTV 接受到 93%、95%和 110%处方剂量的体积。对于脑干、脊髓和眼晶体等正常组织,我们计算了它们的最大剂量(D_{max})与平均剂量(D_{mean});对于腮腺,除了平均剂量外,我们还计算了其接受到 26Gy 与 32Gy 的体积。

为了进一步进行比较分析,我们还计算了下列计划质量指标。

①CTV 的靶区覆盖率(TC)

$$TC = \frac{V_{T,95}}{V_T}$$

其中 V_{T,95} 是处方剂量曲线所包括的体积,本研究所采用的处方剂量曲线为 95%的等剂量曲线,V_T 是靶区体积。

②靶区剂量均匀度(HI)

根据 ICRU62 报告中 HI 的定义^[4],我们定义了相似的靶区均匀度指标:

$$HI = \frac{V_{95} - V_{110}}{V_{95}}$$

③靶区的适形度(CI)^[5]与适形数(CN)^[6]

$$CI = \frac{V_{T,95}}{V_{P5}}$$

$$CN = \frac{V_{T,95}}{V_T} \times \frac{V_{T,95}}{V_{P5}}$$

其中 V_{P5} 是处方剂量包括的体积。CI 的最大值为 1,表明处方剂量刚好完全覆盖了肿瘤靶区。CN 则是靶区覆盖率与适形度的补充,可取 0 到 1 之间的值。

④放射生物指标肿瘤控制率(TCP)与正常组织并发症(NTCP)

根据 Niemierko 模型^[7],计算 TCP 与 NTCP。等效均匀剂量(EUD)定义如下:

$$EUD = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N D_i^a \right)^{\frac{1}{a}}$$

其中 N 是感兴趣组织的体素数量,D_i 是第 i 个体素的剂量,a 是描述肿瘤或正常组织剂量体积效应的特定参数。根据等效均匀剂量我们可以计算 TCP。

$$TCP = \frac{1}{1 + \left[\frac{TCD_{50}}{EUD} \right]^{\gamma_{50}}}$$

其中 TCD₅₀ 是达到 50%肿瘤控制率所需要的剂量,γ₅₀ 是 TCP 曲线上 50%处的梯度。肿瘤特定的模型参数来自 Okunieff 等的研究报告^[8]。

正常组织并发症 NTCP 的计算公式如下:

$$NTCP = \frac{1}{1 + \left[\frac{TD_{50}}{EUD} \right]^{\gamma_{50}}}$$

其中 TD₅₀ 是 5 年内会发生 50%并发症概率的剂量,γ₅₀ 是正常组织反应曲线上,达到 50%并发症所在点的梯度。正常组织相关的特定模型参数来自 Niemierko 的报道^[7]。

1.4 非剂量参数比较

IMRT、单弧与双弧 VMAT 计划治疗前的剂量验证用 Arc-Check 模体与 SNC-P 患者分析软件进行分析验证 (Version 6, Sun Nuclear),验证标准为 3%/3mm。整个治疗的传输与执行通过医科达 Synergy 加速器(Elekta Ltd., Crawley, UK)与 MO-SAIQ 放疗网络(v.1.60Q3)。我们还比较了三种计划方式的优化时间、MU 利用效率及治疗传输时间差异。

1.5 统计学处理

不同计划方式间的剂量与非剂量指标的比较采用 ANOVA 分析方法,使用的分析软件为 SPSS17.0。P<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

8 位患者总共有 24 个计划。GTV 与 CTV 的平均体积分别为 (21.51±11.28)cm³ 和 (535.68±96.22)cm³。与 IMRT 计划相比,单弧 VMAT 计划的 95%剂量曲线更贴近 CTV,在有些地方甚至曲线向 CTV 内凹陷。双弧计划的 95%剂量曲线与 IMRT 计划的相似(Figure 2)。

IMRT 的 TC 值要比单弧与双弧 VMAT 计划要高 (P<0.01);同时 IMRT 的 CI 与 CN 值也高于单弧与双弧 VMAT 计划(P<0.01)。对于其他的一些计划质量指标,如 D_{min}、D_{max}、D_{mean} 和 EUD 等,IMRT 与双弧 VMAT 计划相仿,但都要高于单弧 VMAT 计划,但这些比较没有统计学差异(Table 1)。

危及器官(OAR)比较指标的详细分析结果如下。三种计划方式在脑干保护方面并没有显著差异。IMRT 脊髓的最大剂量为 (47.09±3.27)Gy,比单弧 VMAT 的低[(49.33±2.45)Gy],但高于双弧 VMAT [(45.88±1.90)Gy](P=0.04)。IMRT 脊髓的 EUD 值最低[(33.79±1.32)Gy](P<0.01),它的正常组织并发症也是最低[(0.23±0.15)×10⁻⁴](P=0.03)。其他计划质量指标的比较没有统计学差异(Table 2)。

IMRT、单弧与双弧 VMAT 所需要的优化时间分别为 (4.74±1.06)、(20.8±4.83)、(40.36±12.55)min。VMAT 所需要的优化时间远远多于 IMRT 计划(P<0.01)。IMRT、单弧与双弧的 MU 值分别为 1 020.88±106.95、425.88±25.34 与 566.38±54.38;治疗传输时间分别为 (11.01±0.43)、(1.75±0.07)和 (4.01±0.28)min;剂量验证的 γ 通过率分别为 94.75%±2.57%、97.65%±1.45%和 97.36%±2.45%,VMAT 计划的验证

通过率要高于 IMRT 计划 ($P < 0.02$)。

3 讨论

IMRT 由于其剂量学分布的优势, 已经成为鼻咽癌首选的放射治疗方式^[9,20]。在鼻咽癌与其他头颈部肿瘤的 IMRT 治疗中, 下颈部淋巴结的处理方式通常有两种。一种是 IMRT 外

再加单前野垂直照射, 称为分野技术(SF); 另一种方法是将下颈部淋巴结包括在 IMRT 靶区中, 进行全颈(WF)IMRT 治疗。分野技术的最大问题是在接野的地方容易出现冷点或热点^[10]。全颈调强放射治疗可能避免接野问题, 但它会使喉部剂量过量, 造成喉水肿, 引起吞咽或说话困难^[11]。同步加量技术(SIB)是一种更为有效的 IMRT

执行方式, 它可以对肿瘤的原始靶区进行加量而同时又不影响对正常组织的保护作用。已有文献报道, 全颈同步加量(WF-SIB) IMRT 技术可以将喉部的剂量减少到临床可接受范围, 而同时不影响肿瘤靶区的覆盖率及对正常组织的保护^[12]。临床结果也证实, WF-SIB IMRT 可以获得较好的局部控制率, 同时它的急性咽炎的严重程度与分野技术相当^[13]。

IMRT 技术的主要缺点是治疗计划过程非常复杂、耗时。它需要大量的静态野与机械跳数(MU), 极大地增加了治疗时间, 增加患者暴露在低剂量辐射下的机率。VMAT 是新型的调强放射治疗实现方式, 它可同时对剂量率、机架运行速度与多叶栅的位置进行连续性变化^[1]。已有文献报道, VMAT 可以在更短的时间内, 用更少的 MU, 获得比传统 IMRT 更优的剂量分布^[2]。VMAT 系统的优化能力和所需要的弧数受到肿瘤靶区复杂程度的影响。有报道在前列腺癌与盆腔肿瘤中, 单弧 VMAT 可以获得与 IMRT 更优或相似的剂量分布^[14]。随着肿瘤靶区的复杂程度增加, 比如在头颈部的肿瘤中, 单弧 VMAT 的靶区剂量覆盖率要比 IMRT 的差, 而双弧 VMAT 可获得优于 IMRT 的靶区覆盖率与正常组织保护^[15]。对于鼻咽癌的全颈同步加量 VMAT 治疗, 所报道的比较分析的结果并不一致。Cheung 等^[16]利用瓦里安的快速弧(RapidArc)技术, 比较了双弧 VMAT 与滑窗 IMRT 技术在三例鼻咽癌患者的治疗。他们得出的结论是双弧 VMAT 计划不如

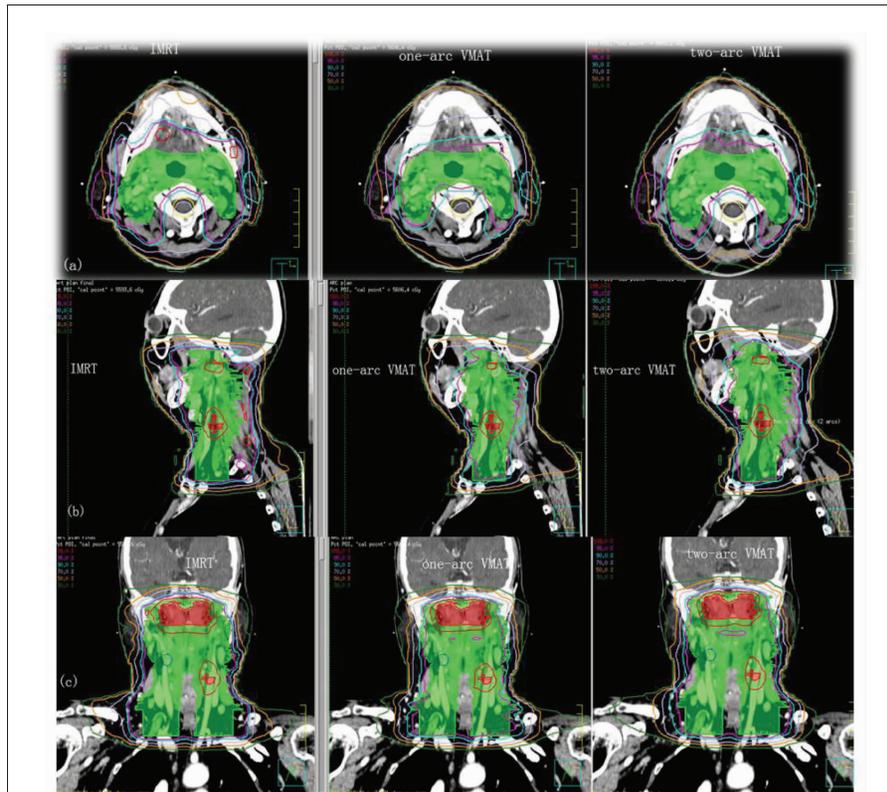


Figure 2 Dose distribution of whole field IMRT, one-arc and two-arc VMAT

Table 1 Statistical results of targets coverage

	IMRT	One-arc VMAT	Two-arc VMAT	P
GTV				
D _{min} (Gy)	61.42±1.28	60.28±8.07	61.62±1.68	0.22
D _{mean} (Gy)	68.41±1.01	67.71±1.48	68.39±0.97	0.42
D _{max} (Gy)	71.09±0.93	70.50±1.29	70.87±0.93	0.55
EUD (Gy)	70.60±3.90	70.14±4.30	70.33±3.89	0.96
TCP	0.94±0.03	0.94±0.03	0.94±0.03	0.95
CTV				
D _{min} (Gy)	37.84±12.79	34.39±11.10	38.30±11.70	0.77
D _{mean} (Gy)	56.95±0.77	56.50±1.18	57.15±0.60	0.34
D _{max} (Gy)	71.09±0.93	70.50±1.30	70.87±0.93	0.55
EUD (Gy)	45.36±8.72	45.12±8.07	46.36±6.31	0.95
HI	0.90±0.04	0.89±0.04	0.90±0.04	0.93
TC (%)	99.00±0.79	89.92±6.32	97.98±1.29	<0.01
HTCI	0.82±0.14	0.60±0.10	0.57±0.06	<0.01
CN	0.82±0.14	0.54±0.11	0.56±0.05	<0.01

Table 2 Statistical results of normal tissue protection

OAR	IMRT	One-arc VMAT	Two-arc VMAT	P
Brainstem				
D _{max} (Gy)	57.54±4.09	57.82±4.97	56.28±4.39	0.77
D _{mean} (Gy)	32.29±6.57	32.79±6.74	33.36±8.09	0.96
EUD (Gy)	32.15±6.47	32.47±6.56	32.96±7.90	0.97
NTCP(×10 ⁻⁴)	2.56±2.03	2.80±1.72	3.35±2.47	0.74
Cord				
D _{max} (Gy)	47.09±3.27	49.33±2.45	45.88±1.90	0.04
D _{mean} (Gy)	35.49±1.25	39.94±2.37	35.75±2.08	<0.01
EUD (Gy)	33.79±1.32	37.38±2.43	34.08±2.12	0.003
NTCP(×10 ⁻⁴)	0.23±0.15	1.59±1.80	0.33±0.34	0.03
Left parotid				
D _{max} (Gy)	57.91±1.26	53.87±1.66	56.05±0.92	<0.01
D _{mean} (Gy)	29.02±2.08	28.88±2.51	28.72±2.03	0.96
EUD (Gy)	10.81±9.71	12.04±11.76	11.28±10.69	0.97
V ₂₆ (%)	50.20±15.02	53.43±12.26	49.29±9.82	0.79
V ₃₂ (%)	33.38±6.37	34.17±8.01	33.86±5.33	0.97
Right parotid				
D _{max} (Gy)	56.75±1.34	54.18±1.34	55.87±1.11	0.002
D _{mean} (Gy)	28.56±2.12	28.15±2.10	28.41±2.00	0.93
EUD (Gy)	17.92±3.10	17.74±3.00	17.89±3.01	0.99
V ₂₆ (%)	49.02±13.22	49.30±12.16	48.06±10.85	0.98
V ₃₂ (%)	30.25±7.20	29.13±7.50	30.41±5.26	0.92
Lens				
D _{max} (Gy)	10.47±7.33	9.85±7.72	9.76±7.76	0.98
D _{mean} (Gy)	6.75±5.16	6.43±5.29	6.95±5.12	0.98

成熟的 IMRT 计划好。而 Lee 等^[17]利用飞利浦的 SmartArc 技术,在 18 例鼻咽癌患者中比较了双弧 VMAT 与步进式 IMRT 技术,他们得出的结果是双弧 VMAT 计划可以得到与 18 个射野的 IMRT 计划相似的剂量分布,而同时提高治疗效率。

如果将下颈包括在 VMAT 治疗的靶区中,WF-SIB VMAT 所要优化的靶区将更加复杂。而据我们所了解,目前还没有有关鼻咽癌 WF-SIB VMAT 治疗的报告。本研究在相同的目标函数下,对鼻咽癌进行了 7 野 IMRT、单弧 VMAT 与双弧 VMAT 的全颈同步加量计划比较研究。研究结果表明,WF-SIB VMAT 并没有优于 WF-SIB IMRT 计划。

为了减少比较研究本身内在的偏差^[14,18],本研究中所有患者的肿瘤靶区由一位高年资放射肿瘤医师勾画,所有比较计划由一位高年资的物理师完成。目标函数来自已经被接受的 IMRT 计划,并用于所有的患者和所有的计划。所有计划的其他优化参数也尽量一致,并没有特别为单个患者进行优化参数调整。这可能会造成对于单个患者,他所得到的计划并不是最优化的,他的有些正常组织受照剂量可能过量。如果我们对单个患者的优化参数和目标函数进行调整,是可能为每位患者获得最优化的计划,但这不是本次比较研究的目的。

在本研究中,对于鼻咽癌的全颈同步加量治疗,双弧 VMAT 的计划要优于单弧 VMAT 计划,但并没有优于 IMRT 计划。在肿瘤靶区覆盖率方面,全颈同步加量双弧 VMAT 计划与全颈同步加量 IMRT 计划相似,而单弧 VMAT 计划的靶区覆盖率不能满足要求。在肿瘤控制率(TCP)方面,三种计划方式的差异没有统计学显著性。但 IMRT 在适形度与适形数指标都要优于 VMAT 计划。

在已经报道的很多文献中表明,VMAT 可以极大地提高对正常组织的保护作用^[15,19]。但在 Cheung 等^[16]的报道中,用同步加量 VMAT 对鼻咽癌进行治疗时,对正常组织保护的优势并不明显。本研究的结果与 Cheung 相似。在脊髓的保护上,IMRT 的 EUD 要比单弧与双弧的 VMAT 要低;全颈同步加量 IMRT 计划在脑干的 EUD 剂量上比较单弧与双弧 VMAT 的计划要低,但没有显著性差异。双弧 VMAT 在脊髓的最大剂量点上最低。在其他正常组织的保护上,三种计划方式并没有显著差异。

VMAT 计划可以极大地提高 MU 的利用率和减少治疗传输时间。单弧与双弧 VMAT 的治疗传输时间分别比 IMRT 计划快了 6 倍与 3 倍。而单弧与双弧 VMAT 计划的 MU 只有 IMRT 计划的 42%与 55.5%。但 VMAT 的计划优化时间要比较 IMRT 的长。单弧与双弧 VMAT 计划的优化时间分别是 IMRT 的 5 倍和 10 倍,这是因为 VMAT 计划的自由度比 IMRT 计划增加了。这些结果与前面文献所报道的相似^[15,17]。本研究同时发现,自由度的增加并没有影响 VMAT 计划的剂量传输准确性。单弧与双弧 VMAT 计划的 γ 通过率都要高于 IMRT 计划。

总而言之,对于肿瘤靶区比较复杂并不规则的鼻咽癌患者,单弧的全颈同步加量 VMAT 计划可能不能得到满意的靶区覆盖率。双弧 VMAT 可以获得足够的靶区覆盖率,但并没有优于全颈同步加量 IMRT 计划,在正常组织的保护方面也没有特别优于 IMRT 计划的表现,但 VMAT 计划的治疗传输速度与 MU 的利用率方面有优势。WF-SIB VMAT 可与 IMRT 可同作为鼻咽癌的治疗选择。

参考文献:

[1] Otto K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc [J]. Med Phys, 2008, 35(1):310-317.
 [2] Palma D, Vollaans E, James K, et al. Volumetric modulated arc therapy for delivery of prostate radiotherapy: comparison with intensity-modulated radiotherapy and three-dimensional conformal radiotherapy[J]. Int J Radiat Oncol Biol Phys, 2008, 72(4):996-1001.
 [3] Wu S, Xie C, Jin X, et al. Simultaneous modulated accelerated

- radiation therapy in the treatment of nasopharyngeal cancer: a local center's experience [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2006, 66(4): S40-S46.
- [4] Wambersie A, Landber T. ICRU Report 62: prescribing, recording, and reporting photon beam therapy (Supplement to ICRU Report 50)[R]. Bethesda: ICRU, 1999.
- [5] Lomax NJ, Scheib SG. Quantifying the degree of conformity in radiosurgery treatment planning [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2003, 55(5):1409-1419.
- [6] van't Riet A, Mak AC, Moerland MA, et al. A conformation number to quantify the degree of conformity in brachytherapy and external beam irradiation: application to the prostate[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1997, 37(3): 731-736.
- [7] Niemierko A, Goiten M. Modeling of normal tissue response to radiation critical volume model[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1993, 25(1):135-145.
- [8] Okunieff P, Morgan D, Niemierko A, et al. Radiation dose-response of human tumors[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 1995, 32(4):1227-1237.
- [9] Lee N, Kramer A, Xia P. RTOG 0225: A phase II study of intensity modulated radiation therapy (IMRT) +/- chemotherapy for nasopharyngeal cancer[M]. Philadelphia, PA: Radiation Therapy Oncology Group, 2003.
- [10] Amdur RJ, Liu C, Li J, et al. Matching intensity-modulated radiation therapy to an anterior low neck field[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 69(2 Suppl):S46-S48.
- [11] Lee N, Mechalakos J, Puri DR, et al. Choosing an intensity modulated radiation therapy technique in the treatment of head-and neck cancer[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2007, 68(5):1299-1309.
- [12] Chung JB, Lee JW, Kim JS, et al. Comparison of target coverage and dose to organs at risk between simultaneous integrated-boost whole-field intensity-modulated radiation therapy and junctioned intensity-modulated radiation therapy with a conventional radiotherapy field in treatment of nasopharyngeal carcinoma [J]. *Radiol Phys Technol*, 2011, 4(2):180-184.
- [13] Wong FCS, Ng AWY, Lee VHF, et al. Whole-field simultaneous integrated-boost intensity-modulated radiotherapy for patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 76(1): 138-145.
- [14] Cozzi L, Dinshaw KA, Shrivastava SK, et al. A treatment planning study comparing volumetric arc modulation with RapidArc and fixed field IMRT for cervix uteri radiotherapy [J]. *Radiother Oncol*, 2008, 89(2):180-191.
- [15] 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.
- [16] Cheung WK, Lee KH, Cheng HC, et al. Comparison of RapidArc and static gantry intensity-modulated radiotherapy for nasopharyngeal carcinoma[J]. *J Hong Kong Col Radiol*, 2010, 13: 125-132.
- [17] Lee TF, Ting HM, Chao PJ, et al. Dual arc volumetric-modulated arc radiotherapy (VMAT) of nasopharyngeal carcinomas: a simultaneous integrated boost treatment plan comparison with intensity-modulated radiotherapies and single arc VMAT [J]. *Clinical Oncology*, 2012, 24(3):196-207.
- [18] Vanetti E, Clivio A, Nicolini G, et al. Volumetric modulated arc radiotherapy for carcinomas of the oro-pharynx, hypopharynx and larynx: a treatment planning comparison with fixed field IMRT [J]. *Radiother Oncol*, 2009, 92(1):111-117.
- [19] Scorsetti M, Bignardi M, Clivio A, et al. Volumetric modulation arc radiotherapy compared with static gantry intensity-modulated radiotherapy for malignant pleural mesothelioma tumor: a feasibility study [J]. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*, 2010, 77(3):942-949.
- [20] Wang Y, Shan GP, Ni LQ, et al. Application of intensity-modulated plan design technology with integrated multi-prescription dose for patients with nasopharyngeal carcinoma[J]. *Journal of Chinese Oncology*, 2012, 18(4):281-285.[王勇, 单国平, 倪玲琴, 等. 多处方剂量融合调强计划设计技术在鼻咽癌放疗中的应用[J]. *肿瘤学杂志*, 2012, 18(4):281-285.]