

ICS 11.020

CCS C 05

T/GXAS

团 体 标 准

T/GXAS 900—2024

乳腺癌改良根治术后 VMAT 计划设计规程

Code of practice for Volumetric Modulated Arc Therapy plan design after
modified radical mastectomy

2024 – 12 – 10 发布

2024 – 12 – 16 实施

广西标准化协会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 缩略语 1

5 设计准备 1

 5.1 人员 1

 5.2 设备和系统配备 1

 5.3 设计系统准备 2

 5.4 患者准备 2

 5.5 设计者准备 2

6 设计流程 3

7 设计操作 3

 7.1 CT 模拟定位 3

 7.2 靶区勾画和处方剂量 3

 7.3 计划设计 3

 7.4 计划优化 4

 7.5 计划评估 4

 7.6 剂量验证 5

8 放疗实施质量控制与质量保证 5

 8.1 患者评估 5

 8.2 模拟定位 5

 8.3 靶区勾画 5

 8.4 计划设计 5

 8.5 计划评估 5

 8.6 剂量验证 6

9 档案管理 6

附录 A（资料性） OAR 及靶区勾画示意图 7

附录 B（资料性） 右侧乳腺 VMAT 计划弧角度的分割示意图 8

附录 C（资料性） 左侧乳腺 VMAT 计划弧角度的分割示意图 9

附录 D（资料性） 限定铅门 3D 示意图 10

附录 E（资料性） 限定铅门鸟瞰示意图 11

参考文献 12

前 言

本文件参照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由柳州市工人医院提出并宣贯。

本文件由广西标准化协会归口。

本文件起草单位：柳州市工人医院、福建省肿瘤医院、重庆医科大学附属第二医院、广西医科大学第一附属医院、广西医科大学附属肿瘤医院、广西壮族自治区人民医院、柳州市柳铁中心医院、广西科技大学第二附属医院。

本文件主要起草人：陆颖、黄海欣、王占宇、柏朋刚、黄顺平、覃文、付庆国、朱超华、曾自力、陈杨生、谭军文、李金銮、洪超善、廖超龙、刘金娥、黄东宁、陈绍俊、杨慧、林锋、龙雨松、贺先桃、李博、陆锋、甘武田、许卓华。

乳腺癌改良根治术后 VMAT 计划设计规程

1 范围

本文件界定了乳腺癌改良根治术后VMAT计划设计涉及的缩略语，规定了VMAT计划设计、设计流程、设计操作、计划评估、剂量验证等操作指示，描述了VMAT计划设计过程信息的追溯方法。

本文件适用于医疗机构乳腺癌改良根治术后VMAT计划的设计。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

NCC/T—RT 001—2017	放射治疗质量控制基本指南
NCC/T—RT 005—2019	调强放疗剂量验证实践指南
NCC/T—RT 008—2021	乳腺癌术后放疗靶区勾画和计划设计指南
NCC/T—RT 001—2023	高能光子线外照射治疗计划系统质量保证指南
NCC/T—RT 008—2023	放射治疗相关的器官运动管理指南

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CI: 适形指数 (conformity index)
CTV: 临床靶区 (clinical target volume)
CT: 计算机断层扫描 (computed tomography)
DICOM: 医学数字成像和通信 (digital imaging and communications in medicine)
DVH: 剂量体积直方图 (dose volume histogram)
HI: 均匀性指数 (homogeneity index)
MCO: 多目标优化 (multi criterion optimization)
OAR: 危及器官 (organ at risk)
PTV: 计划靶区 (planning target volume)
VMAT: 容积旋转调强放疗 (Volumetric Modulated Arc Therapy)

5 设计准备

5.1 人员

从业人员应具备放射治疗专业知识与防护知识，接受岗位培训，持证上岗，人员构成、数量及资质按NCC/T—RT 001—2017的要求执行。

5.2 设备和系统配备

5.2.1 开展 VMAT 技术应配备相应的设备，包括但不限于多叶准直器、具有位置验证的影像装置医用直线加速器，以及调强计划验证仪器、自动扫描水箱、剂量仪、晨检仪等质控仪器。

5.2.2 开展 VMAT 技术应具备逆向治疗计划系统。

5.3 设计系统准备

5.3.1 建立射束模型及验证

开展VMAT设计前应建立射束模型及验证，方法如下：

- a) 建立射束模型应采集相应射束数据。主要的射束建模数据应包括射束的百分深度剂量分布、离轴剂量分布、射野输出因子、楔形因子以及透射因子等；
- b) 对建立的射束数据按NCC/T—RT 001—2023放射治疗计划系统（RTPS）要求进行测试。

5.3.2 建立定位 CT 值及电子密度曲线

开展VMAT设计前应根据下列方式建立定位CT值及电子密度曲线。

- 根据密度范围和扫描参数，将 CT 电子密度模体放在 CT 模拟定位机上进行扫描，读取每个已知密度插件的 HU 值；
- 将测量数据导入三维治疗计划系统，建立剂量计算模型所需的 CT 值与电子密度转换表；

注：CT值映射区间使用的材料应包括空气（约0.001 g/cm³）、高密度材料（约2 g/cm³）。临床应用根据患者不同情况使用不同密度材料，如肺（约0.3 g/cm³）、密质骨（约1.4 g/cm³~1.9 g/cm³）。

5.3.3 基本参数设定

开展VMAT设计应进行以下基本参数设定。

- 根据体表标记的定位点在计划系统中标定定位原点，建立患者定位 CT 图像的原始坐标系；
- 根据靶区大小，设置合适的计划中心点，中心点应接近 PTV 的几何中心，靠近胸壁；
- 乳腺癌 VMAT 计划宜选择 6 MV X 射线，计算网格 3 mm×3 mm×3 mm 及以下；
- 应使用计划系统设计控制点的间距为 2°，每个控制点宜先采用最大机架速度，通过剂量率的调制完成控制点方向的 MU 权重调制，在最大剂量率无法满足控制点方向的 MU 照射要求时再降低机架转速；
- 剂量率由计划系统根据计划调制需要自动控制。

5.4 患者准备

开展VMAT设计前应评估患者以下情况。

- a) 纳入患者标准应为乳腺癌改良根治术后 1.5 个月至 6 个月内的患者，需行胸壁联合锁骨上下引流区放疗，放疗指征符合以下条件宜考虑给予 VMAT 计划设计辅助放疗，其他条件符合 NCC/T—RT 008—2021 的有关要求；
 - 1) 原发肿瘤最长径≥5 cm，或肿瘤侵及乳腺皮肤、胸壁；
 - 2) 腋窝淋巴结转移≥4 个，或存在锁骨上或内乳淋巴结转移；
 - 3) 原发肿瘤分期 T1-2 期且腋窝淋巴结转移 1~3 个的患者，但对其中的无任何高危复发因素，即接受规范全身治疗、年龄≥50 岁、肿瘤分级 I-II 级、无脉管瘤栓、淋巴结清扫数目≥10 枚且淋巴结转移比例<20%、激素受体阳性且无 HER-2/neu 过表达的患者，可考虑省略放疗；
 - 4) 新辅助化疗前或手术病理中乳腺肿瘤最长径≥5 cm，或者新辅助化疗前或术后病理证实存在腋窝淋巴结转移的患者。
- b) 治疗前所有患者均签署放射治疗知情同意书。

5.5 设计者准备

开展VMAT设计前设计操作人员应核对以下情况。

- 核对计划设计申请单与计划系统中患者的病史、术前及术后影像学检查结果、手术记录等基本信息，对其病情进行全面分析；
- 核对计划设计申请单中治疗方式、治疗设备、计划系统等匹配情况；
- 核对计划设计申请单中治疗次数、靶区处方剂量和 OAR 限量异常情况。

6 设计流程

开展VMAT设计流程见图1。

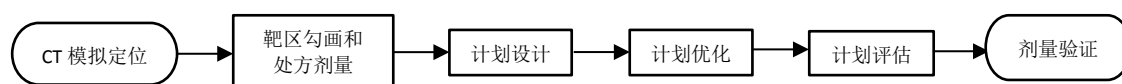


图1 设计流程图

7 设计操作

7.1 CT 模拟定位

7.1.1 放疗定位前，根据放疗靶区、患者上肢活动情况及拟采用的放疗技术，选择合适的体位运动管理，包括但不限于以下内容：

- 可选用的固定方式有乳腺专用托架固定、发泡胶固定、热塑膜固定、真空垫固定、热塑膜与真空垫/发泡胶/乳腺托架联合固定，以及热塑膜与真空垫(发泡胶)加体架联合固定；
- 宜根据患者情况采用深吸气后屏气、门控技术、俯卧位放疗等器官运动管理手段；
- 胸壁和乳腺靠近空气的一侧，可适当加大射野外放，覆盖器官运动；
- 采用光学表面引导确定摆位，通过 CT 定位进一步调整位置符合 NCC/T—RT 008—2023 乳腺癌运动管理的要求。

7.1.2 胸壁拟采用 X 线照射，宜使用铅丝标记拟照射的胸壁范围及拟添加组织补偿物的范围。

7.1.3 定位时行 CT 平扫，3mm~5mm 层厚，扫描范围上至乳突，下至膈下。扫描所得 CT 图像以 DICOM 格式传输至三维治疗计划系统进行三维重建。

7.2 靶区勾画和处方剂量

7.2.1 靶区勾画和处方剂量应符合 NCC/T—RT 008—2021 指南的相关要求。

7.2.2 CTV 应包括胸壁临床靶区 (CTV_{cw})，锁骨上下靶区 (CTV_{sc}+CTV_{axiii}+CTV_{axii})。

7.2.3 PTV 由 CTV_{cw} 前后左右外放 5 mm、上下外放 10 mm、缩至皮下 5 mm 以及 CTV_{sc}+CTV_{axiii}+CTV_{axii}，各向外放 5 mm、缩至皮下 5 mm。

7.2.4 PTV 的处方剂量 50 Gy/2 Gy/25 次。在 2/5 的照射次数中，于胸壁表面添加 3 mm~5 mm 的组织补偿物。PTV 接受处方剂量照射的体积 ≥ 95%，PTV 接受处方剂量的 107% 的体积小于 20%、接受处方剂量 110% 的体积小于 5%，D_{max} 小于处方剂量 120%。

7.2.5 OAR 勾画由放疗医师勾画或由人工智能勾画后再经放疗医师修改、审核确认。乳腺癌根治术后 OAR 及靶区勾画示例见附录 A。

7.2.6 OAR 剂量限制条件按 NCC/T—RT 008—2021 表 7 中的胸壁+锁骨上下+内乳一体化调强执行。

7.3 计划设计

7.3.1 弧的分割

7.3.1.1 根据患者患侧上肢摆位不确定性进行弧的分割，右侧乳腺癌逆时针起始角从 60° 至 182° 的完整弧分割成 3 段，分别为 60°~300°，300°~210°，210°~182°（角度可根据实际情况调整），再顺时针返回一次，示例见附录 B。

7.3.1.2 左侧乳腺癌设计角度顺时针起始角 300° 至终止角 178° 的完整弧分割成 3 段，分别为 300°~60°，60°~150°，150°~178°（角度可根据实际情况略作调整），再逆时针返回一次，示例见附录 C。

7.3.2 铅门限定参数

7.3.2.1 准直器角度根据各个射野方向观视方向靶区的形状沿着靶区长轴方向确定，所有弧的中心点一致。限定铅门 3D 示意图见附录 D。

7.3.2.2 左侧乳腺癌计划 $60^{\circ} \sim 150^{\circ}$ 度部分弧和右侧乳腺癌计划 $300^{\circ} \sim 210^{\circ}$ 度部分弧，应限定照射野范围即限定 X、Y 铅门的最大范围，遮挡上臂部分，使 X 射线仅对胸壁靶区进行调制照射。限定铅门鸟瞰示意图见附录 E。

7.4 计划优化

7.4.1 VMAT 计划优化宜采用 MCO 函数，根据目标函数得到计划设计结果组成帕累托优化解集。

7.4.2 根据交互式导航工具调整某一目标的权重并实时显示计划通量变化，从帕累托优化解集中获得用于 VMAT 计划优化设计的最优解。

7.4.3 VMAT 计划的 MCO 优化方法如下：

- 将感兴趣区域 (ROI) 分类为靶区或 OAR；
- 根据处方剂量和计划设计，设置靶区和各器官优化的权衡目标和约束目标。权衡目标按严格的条件设置，约束目标按比处方剂量要求高的条件进行设置；
- 按照权衡目标数量 $N+1$ 设置生成帕累托计划数量及计划；
- 利用交互式导航工具调整权衡目标的权重，选取最优剂量分布；
- 根据导航选取的最优剂量分布，生成 VMAT 计划并计算最终剂量；
- 对部分仅通过 MCO 无法满足临床要求的计划，在常规优化界面增加 MCO 函数和设置新的单目标优化参数。

7.5 计划评估

7.5.1 计划评估指标

7.5.1.1 剂量学评估指标应符合 ICRU 第 83 号报告的要求。

7.5.1.2 评估计划的剂量 DVH 和横断面、冠状面、矢状面的等剂量分布图。

7.5.1.3 评估靶区 PTV 的最小剂量、平均剂量、最大剂量，以及 CI 和 HI 值。

7.5.1.4 分别统计好 107%、110% 处方剂量包绕靶区的体积 $V_{107\%}$ 、 $V_{110\%}$ 。

7.5.2 均匀性指数

根据公式 (1) 计算。

$$HI = \frac{D_{2\%} - D_{98\%}}{D_{50\%}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

HI ——均匀性指数，反映剂量分布的均匀性程度；

$D_{2\%}$ ——覆盖了 2% PTV 体积的最小吸收剂量值；

$D_{98\%}$ ——覆盖了 98% PTV 体积的最小吸收剂量值；

$D_{50\%}$ ——覆盖了 50% PTV 体积的最小吸收剂量值；

注： HI 范围为 0~1， HI 值越小，说明剂量曲线坡度越陡，靶区剂量分布越均匀。

7.5.3 适形指数

根据公式 (2) 计算。

$$CI = \frac{V_{Tref}}{V_T} \times \frac{V_{Tref}}{V_{ref}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

CI ——适形指数，反应计划靶区与处方等剂量线的一致性程度；

V_{Tref} ——参考等剂量线面所包绕的靶区体积；

V_T ——靶区的体积；

V_{ref} ——参考等剂量线面所包绕的所有区域的体积。

注： CI 范围为 0~1， CI 值越大，说明靶区适形性越好。

7.5.4 计划剂量评估

7.5.5 计划剂量评估时 PTV 的处方剂量应符合 7.2.4 的要求。

7.5.6 计划剂量评估时 OAR 的处方剂量应符合 7.2.6 的要求。

7.6 剂量验证

7.6.1 剂量验证指标

剂量验证指标应符合NCC/T—RT 005—2019的要求。

γ 通过率根据公式 (3)、(4) 计算。

$$\Gamma(\vec{r}_e, \vec{r}_r) = \sqrt{\frac{r^2(\vec{r}_e, \vec{r}_r)}{\Delta d^2} + \frac{\delta^2(\vec{r}_e, \vec{r}_r)}{\Delta D^2}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\gamma(\vec{r}_r) = \min\{\Gamma(\vec{r}_e, \vec{r}_r)\} \forall \{\vec{r}_e\} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\Gamma(\vec{r}_e, \vec{r}_r)$ ——参考点与评估点的计算伽马值；

$\gamma(\vec{r}_r)$ ——参考点的伽马值；

$r(\vec{r}_e, \vec{r}_r)$ ——参考点与评估点之间的距离；

$\delta(\vec{r}_e, \vec{r}_r)$ ——参考点与评估点之间的剂量偏差；

Δd ——距离评判标准；

ΔD ——剂量评判标准；

注： γ 值在0~1之间表明在剂量标准上通过，数值超过1表明没有通过，统计所有通过的测量点占全部测量点的比值即 γ 通过率。

7.6.2 剂量验证条件

根据病人的VMAT计划进行调强剂量验证，验证条件采用实际野整体测量以及绝对剂量，选择全局最高量的归一值，以及最大剂量10%剂量的阈值。

7.6.3 剂量验证标准

7.6.4 根据小于2 mm的距离偏差和小于3%的剂量偏差计算通过率 γ 值， $\gamma \geq 95\%$ 为计划验证通过；

7.6.5 通过率在 $90\% \leq \gamma < 95\%$ 时，需评估 γ 失败的分布，确定失败的点是否位于剂量偏差在临床上无关的区域且计划在临床上是否可以接受， γ 失败的点分布在靶区和 OAR 上并且与临床相关的剂量水平，则这个计划不宜使用；

7.6.6 通过率 $\gamma < 90\%$ 时则计划验证不通过。

8 放疗实施质量控制与质量保证

8.1 患者评估

8.1.1 应详细了解患者的病史、术前及术后影像学检查结果、手术记录、查体情况等，对其病情进行全面分析，确定是否符合适应证。

8.1.2 结合患者肿瘤情况及年龄、合并症等全身状况，确定适当的放疗范围及剂量。

8.2 模拟定位

8.2.1 根据患者放疗范围及患侧上肢的活动情况，选择合适体位和固定装置，采用呼吸运动管理手段。

8.2.2 接受乳腺照射的患者，注意对皮肤的保护。

8.3 靶区勾画

8.3.1 宜在 CT 模拟图像上根据 ICRU 83 号报告勾画靶区，应勾画双肺、心脏、对侧乳腺、患侧肱骨头等危及器官。

8.3.2 进行区域淋巴结照射时，宜勾画甲状腺、患侧臂丛神经等危及器官。

8.4 计划设计

核对患者信息、处方剂量，确定弧的角度，限定部分角度的铅门大小。

8.5 计划评估

评估计划时，需要对靶区的适形性、均匀性以及心肺等危及器官剂量进行仔细的评估。

8.6 剂量验证

$\gamma \geq 95\%$ 为计划验证通过，通过率在 $90\% \leq \gamma < 95\%$ 时，需评估 γ 失败的分布，确定失败的点是否位于剂量偏差在临床上无关的区域且计划在临床上是否可以接受，通过率 $\gamma < 90\%$ 时则计划验证不通过。

9 档案管理

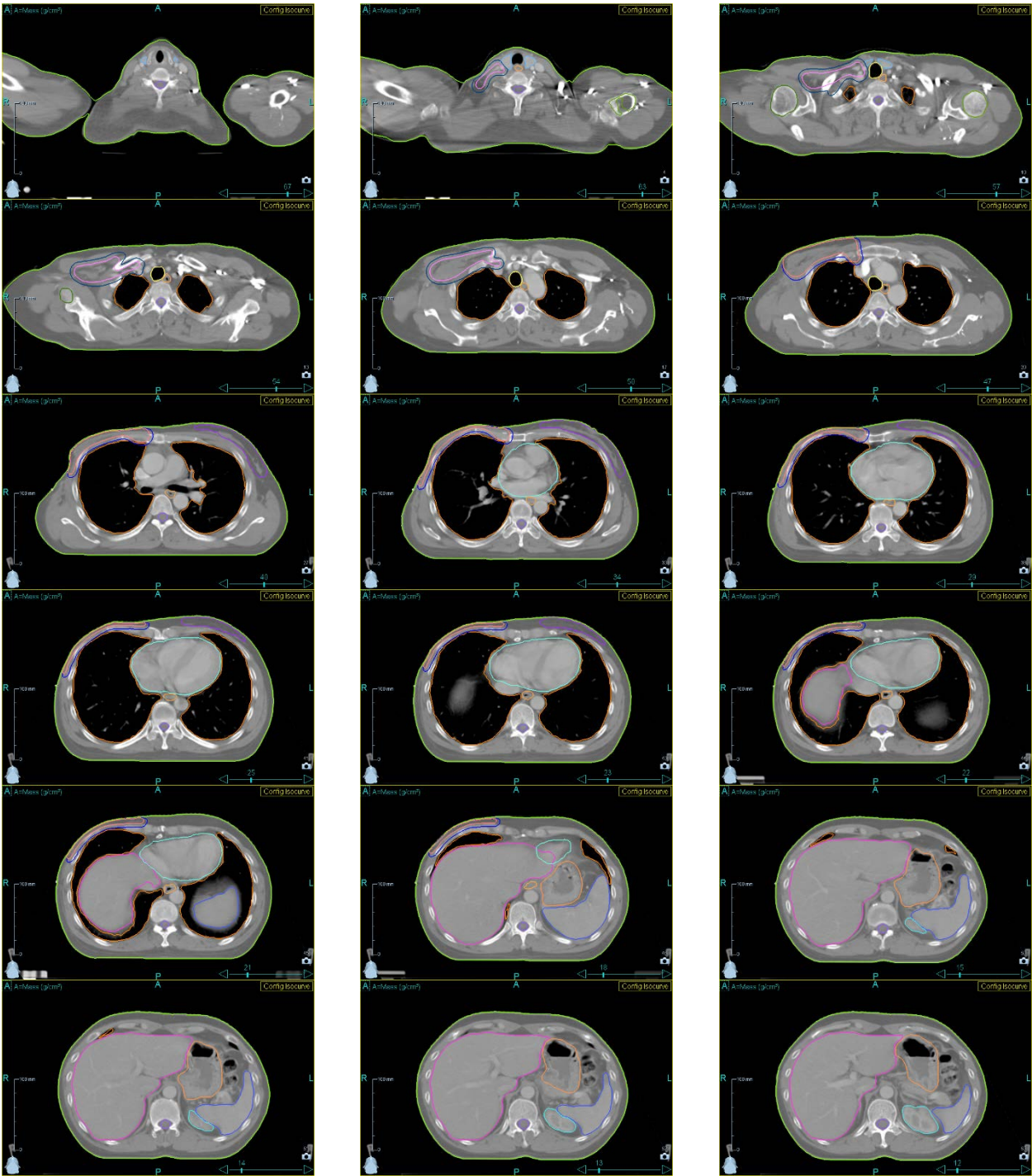
9.1 建立乳腺癌改良根治术后 VMAT 计划设计档案，宜包括：计划系统版本、患者基本信息、计划设计时间、计划名称、计划射野参数、剂量体积直方图、计划设计者和计划审核者签字。

9.2 做好设计执行记录，宜包括：患者基本信息、计划基本信息、计划执行操作者签字、计划执行时间和次数等。

9.3 所有治疗相关医疗记录，按照医疗有关规定保存备查。

附 录 A
(资料性)
OAR 及靶区勾画示意图

OAR及靶区勾画示意图见图A. 1。

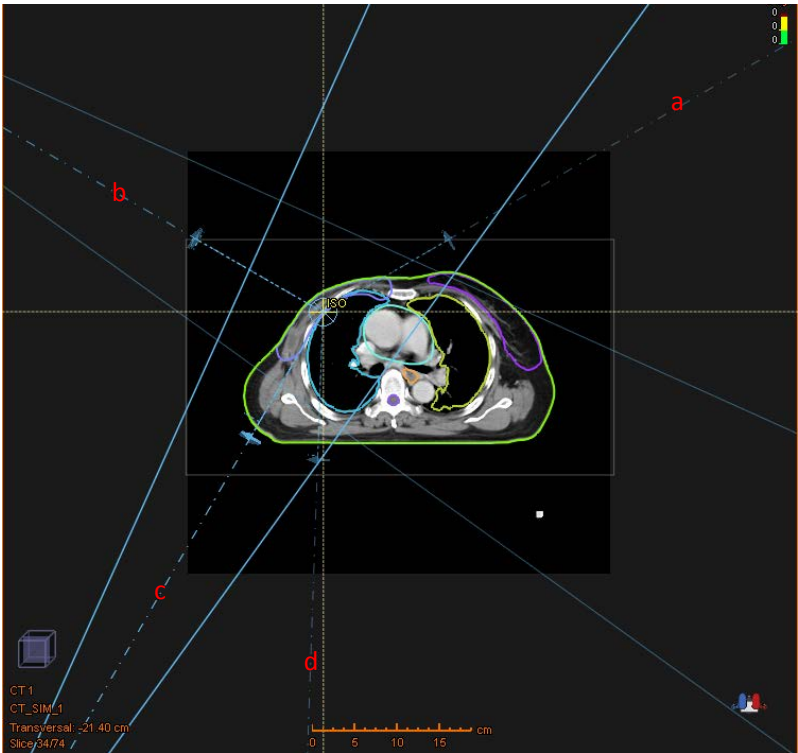


图A. 1 OAR 及靶区勾画示意图

附 录 B
(资料性)

右侧乳腺 VMAT 计划弧角度的分割示意图

右侧乳腺VMAT计划弧角度的分割见图B. 1。



标引序号说明：

- a——表示起止角 60° ；
- b——表示起止角 300° ；
- c——表示起止角 210° ；
- d——表示起止角 182° 。

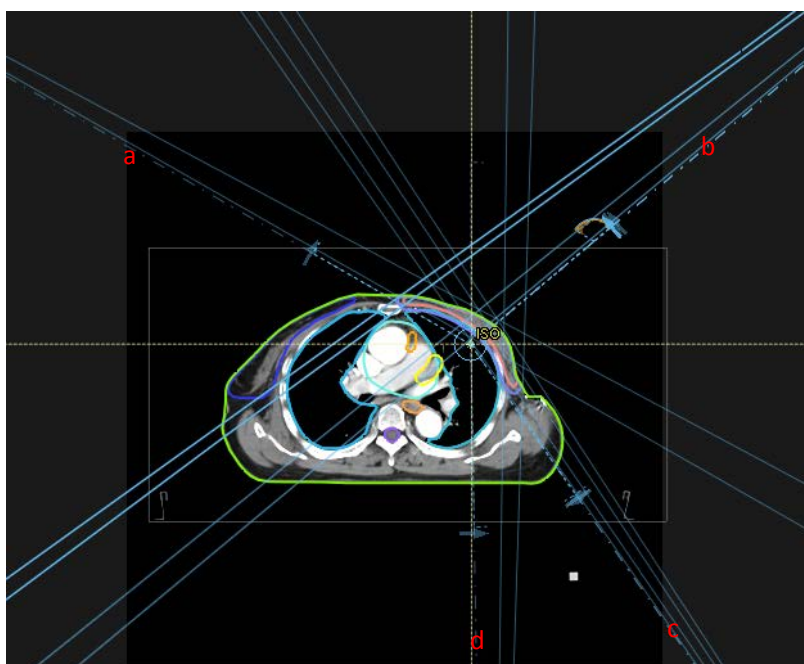
图B. 1 右侧乳腺 VMAT 计划弧角度的分割示意

附 录 C

(资料性)

左侧乳腺 VMAT 计划弧角度的分割示意图

左侧乳腺VMAT计划弧角度的分割见图C. 1。



标引序号说明：

a——表示起止角 300° ；

b——表示起止角 60° ；

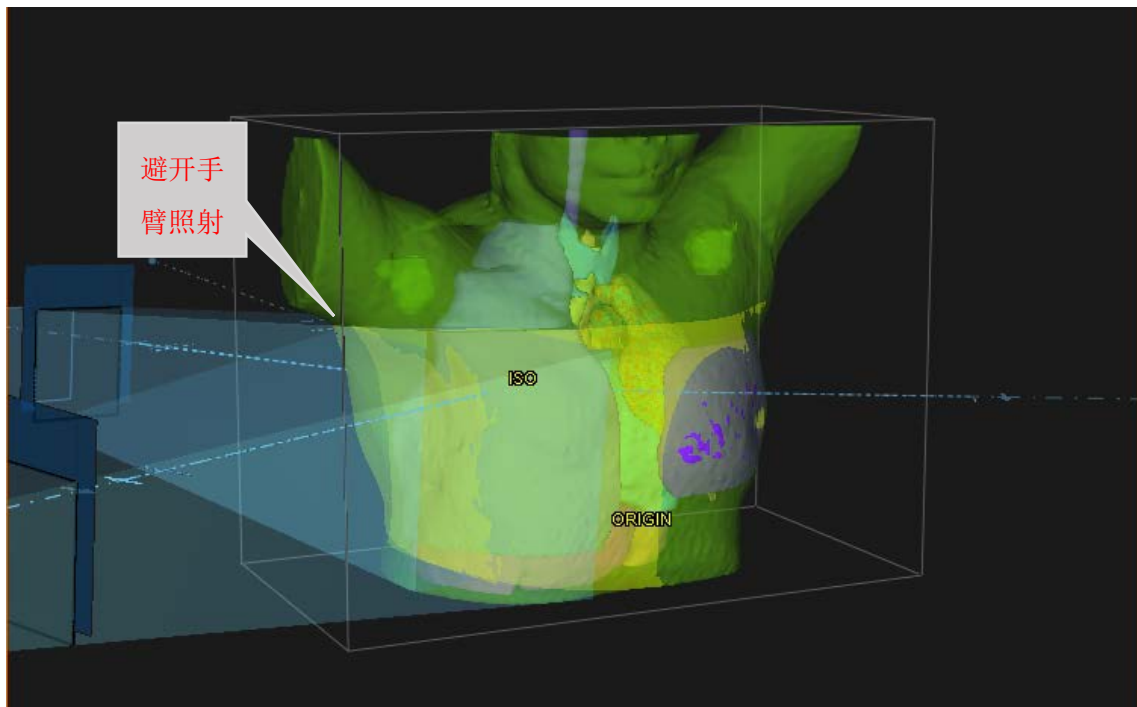
c——表示起止角 150° ；

d——表示起止角 178° 。

图C. 1 左侧乳腺 VMAT 计划弧角度的分割示意

附 录 D
(资料性)
限定铅门 3D 示意图

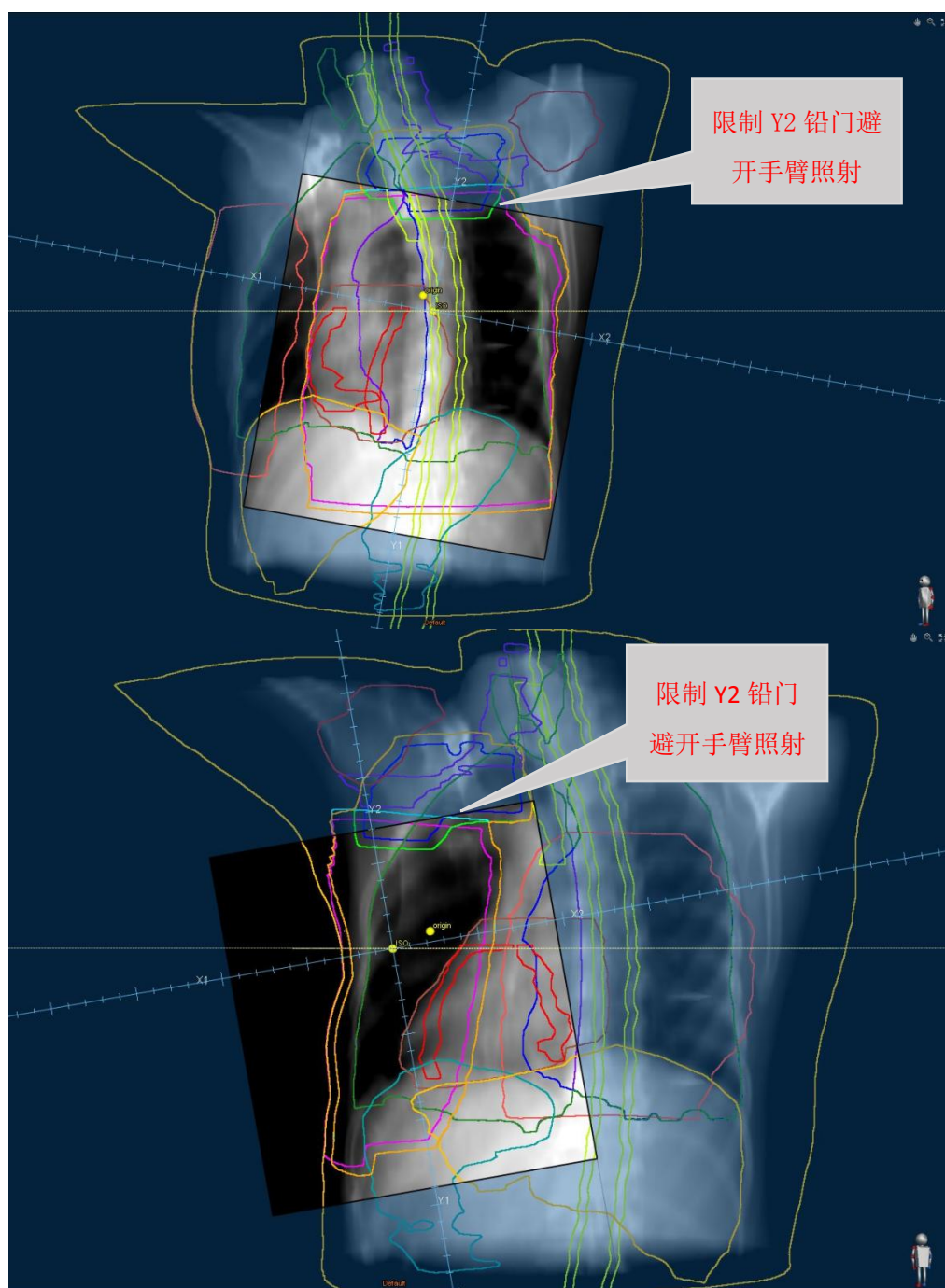
限定铅门3D示意图见图D. 1。



图D. 1 限定铅门 3D 示意图

附录 E
(资料性)
限定铅门鸟瞰示意图

限定铅门鸟瞰示意图见图E.1。



图E.1 限定铅门鸟瞰示意图

参 考 文 献

- [1] GBZ/T 126 电子加速器放射治疗放射防护要求
 - [2] GBZ/T 201.3 放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第3部分： γ 射线源放射治疗机房
 - [3] GB 9706.245 医用电气设备 第2-45：部分乳腺X射线摄影设备和乳腺摄影立体定位装置的基本安全和基本性能专用要求
 - [4] JJG 912-2010 治疗水平电离室剂量计检定规程
 - [5] T/CPMA 014—2020 中国女性乳腺癌筛查标准
 - [6] NCC/T—RT 001-2023 高能光子线外照射治疗计划系统质量保证指南
 - [7] Moyed Miften, et al. Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group No. 218[J]. Medical Physics, 2018, 45(4): e53-e83.
 - [8] 贺先桃等. 固定铅门模式下容积旋转调强放疗与动态调强放疗在乳腺癌根治术后放疗中的比较[J]. 中国医学物理学杂志2018, 35(8): 889-894
 - [9] 国家肿瘤质控中心乳腺癌专家委员会. 中国乳腺癌规范诊疗质量控制指标(2022版)[J]. 中华肿瘤杂志, 2022, 44(3): 203-208
 - [10] 李钢等. 固定铅门模式下控制点间距对乳腺癌容积旋转调强放射治疗计划剂量学的影响[J]. 医疗卫生装备, 2022, 43(11): 48-53
 - [11] 中国抗癌协会乳腺癌专业委员会, 中华医学会肿瘤学分会乳腺肿瘤学组. 中国抗癌协会乳腺癌诊治指南与规范(2024版)[J]. 中国癌症杂志, 2023, 33(12): 1092
 - [12] 柏晗等. 保乳术后全乳腺放疗容积旋转调强放疗(VMAT)物理计划的设计[J]. 医疗装备 2018, 31(1): 9-12
 - [14] 杨进福. 等不同体位固定方式对乳腺癌容积旋转调强放疗(VMAT)患者摆位误差的影响[J]. 甘肃医药2023, 42(5): 432-434
-

中华人民共和国团体标准
乳腺癌改良根治术后VMAT计划设计规程
T/GXAS 900—2024
广西标准化协会统一印制
版权专有 侵权必究