

生物医学工程导论

第十一章 放射治疗技术

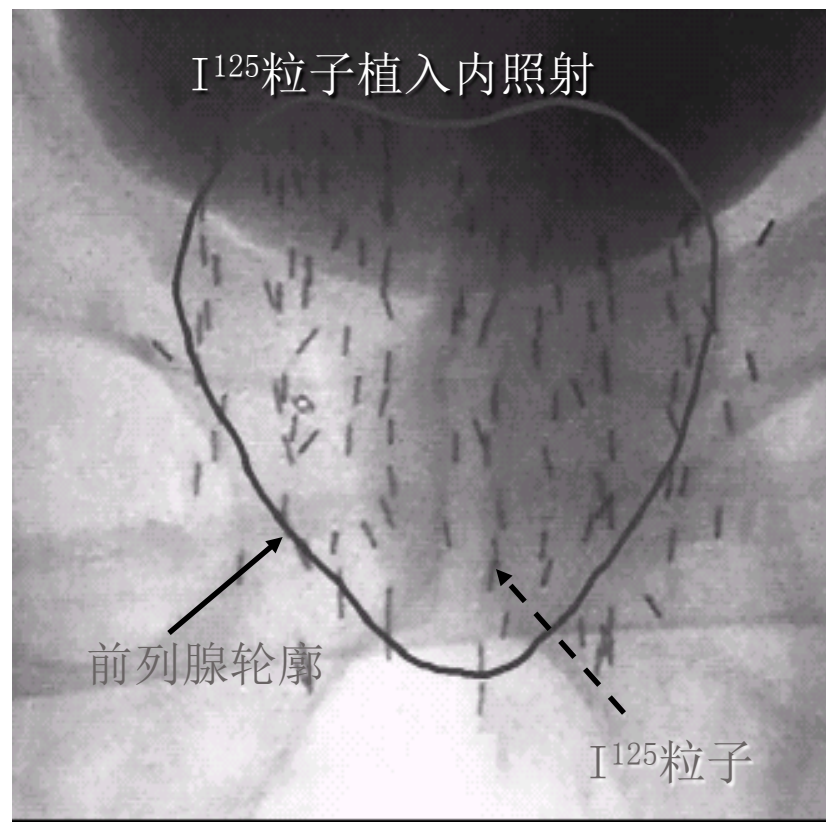
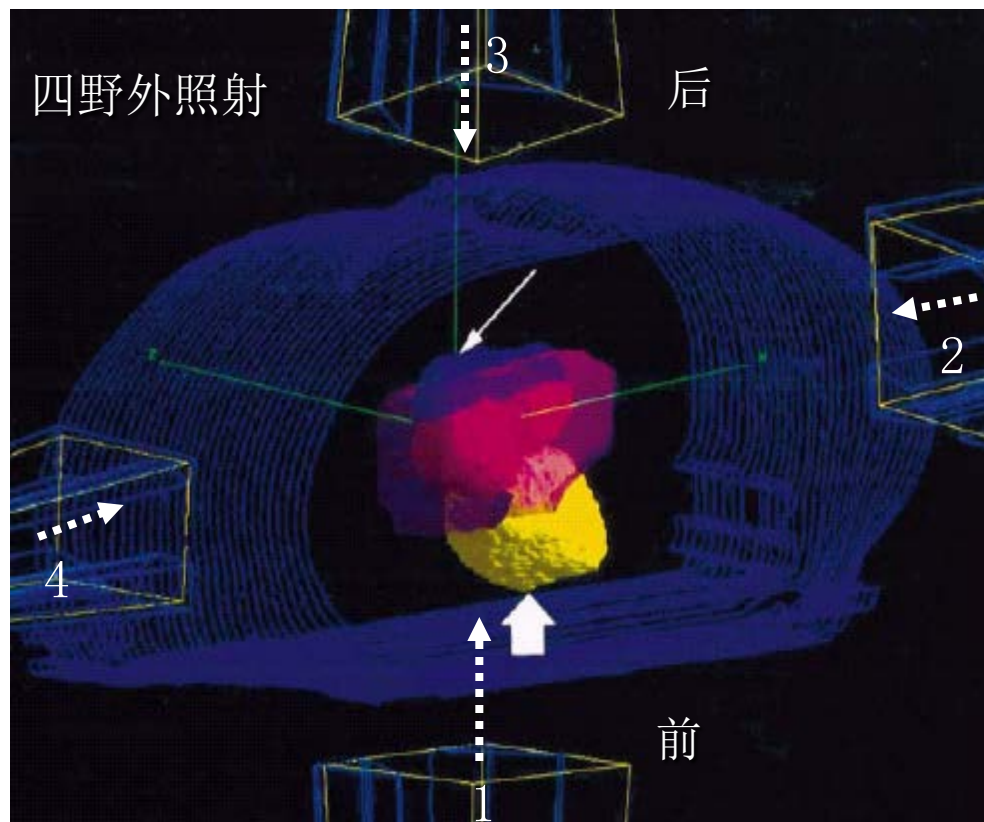




放射治疗方式

- 外照射，或称远距离放射：放射源位于体外一定距离，集中照射某一处组织，是最常用的方式
- 内照射，或称近距离放射：指放射源密闭后直接放在人体表面、自然腔道内或组织内

前列腺癌的外照射与内照射



名词定义

射线束

- 从放射源发出沿着光子或电子等辐射粒子传输方向，其横截面的空间范围称为射线束

射线束中心轴

- 射线束的对称轴，并与由光阑所确定的射线束中心，准直器的旋转轴和放射源中心同轴。

照射野

- 由准直器确定射线束的边界，并垂直于射线束中心轴的射线束平面称为照射野。
- 照射野的大小一般有两种定义方法：
- 医师几何学照射野，即放射源的前表面经准直器在模体表面的投影；
- 再一为物理学照射野，这是剂量学概念，即以射线束中心轴剂量为**100%**。照射野相对两边**50%**等剂量线之间的距离，为照射野的大小。

- **源皮距** 从放射源前表面沿射线束中心轴到受照物体表面的距离
- **源轴距** 从放射源前表面沿射线束中心轴到等中心的距离
- **参考点** 模体中沿射线束中心轴深度剂量确定为**100%**的位置，对于势能低于**400KV**的**X**射线，该点定义为模体表面。高能**X**（**r**）射线，定义为最大剂量点位置。

体外远距离照射的放疗技术

常规放射治疗：采用规则形状或用铅模遮挡方式取得的二维方向上的不规则形状照射野。

优点：设备、技术条件要求较低，操作相对简单；

缺点：照射野形状与肿瘤在三维方向的形状上不完全相符，照射野内包括的正常组织较多，对于肿瘤周围有敏感组织和要害器官的病例不太适宜。

常用的治疗机

1. 60钴治疗机
2. 医用直线加速器
3. 模拟定位机
4. CT模拟

1.60钴治疗机

作为外照射放射治疗的重要设备在各类医院放射治疗部门广泛使用，对于提高肿瘤治疗的临床效果起过很大的作用。尽管随着MV级医用直线加速器的发展和推广，60钴治疗机的一些应用领域被其替代，但其仍不失为一种结构相对简单、安全有效的放射治疗机。

60钴放射治疗机所用的60钴放射源，通常有多枚1mm×1mm的圆柱形小颗粒组成，放置在直径10-20mm、高20-25mm的不锈钢容器中，并将其嵌入治疗机的储源器中。

钴治疗机，它包括机座、旋转机架、治疗头、治疗床及控制系统等主要部件。

60钴治疗机临床应用特点

1. 60钴 γ 射线的平均能量为1.25MeV，在组织中具有较强的穿透能力。
2. 60钴 γ 射线在组织中有明显的剂量建成效应，即表面剂量较低，最大剂量点位于表面下约5mm深度处。起到保护皮肤的作用。
3. 60钴 γ 射线与物质相互作用，主要是发生康普顿效应，作用截面几乎不依赖于物质的原子序数。即人体中的骨组织和软组织具有相同的吸收剂量。

60钴治疗机与医用直线加速器相比较，结构简单，制作和运行费用较低，便于维护，工作安全可靠。

2.医用电子直线加速器

医用电子直线加速器于**20世纪50年代初**，先后在英美等国家用于放射治疗，并逐渐得到很大发展。从**70年代**以后，直线加速器在许多方面已替代**60钴**治疗机，目前成为放射治疗最主要的设备。

采用医用电子直线加速器产生的高能**X射线**和电子线来实施治疗更有利。

医用电子直线加速器是利用微波电场，沿直线加速电子得到较高能量，从而获得高能**X射线**或电子线的放射治疗装置。

医用电子直线加速器包括加速管、脉冲调制器、电子枪、微波系统、真空系统、射线束引出系统、治疗头、治疗床。

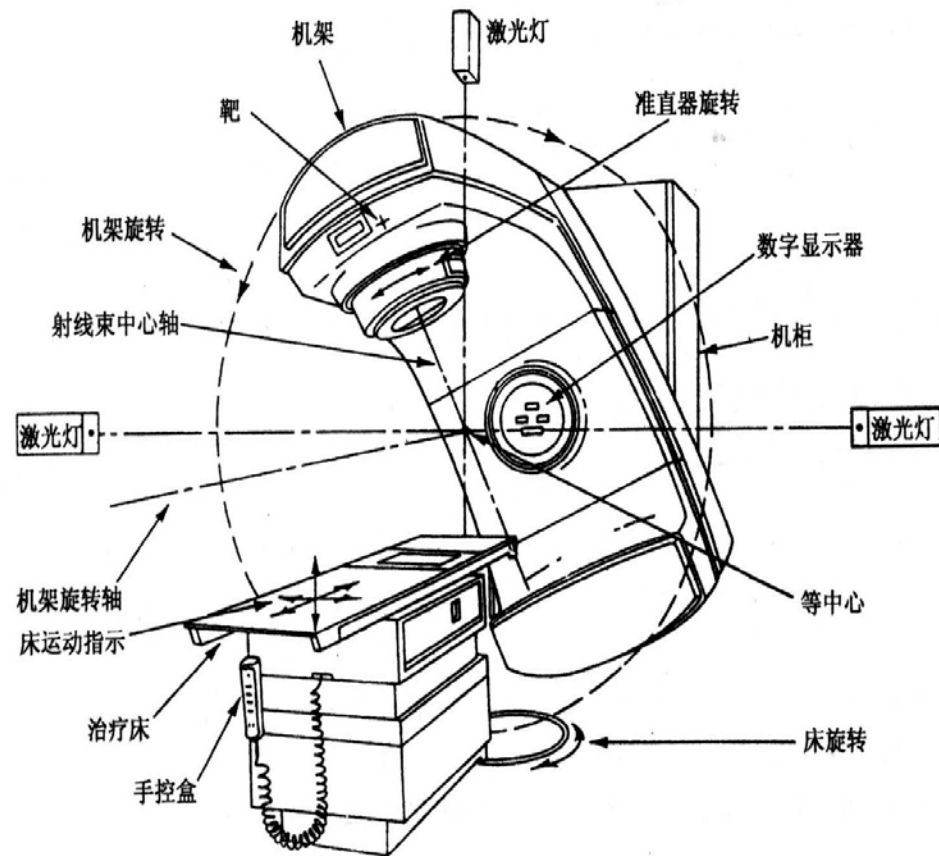


图 1-11 医用电子直线加速器机械示意图

临床应用特点

- 直线加速器可以产生能量更高、强度更大的X射线：具有比⁶⁰钴 γ 射线更强的穿透能力，更低的表面剂量，以及更小的半影区。
- 低能档X射线用于治疗头颈及四肢部位肿瘤，高能档X射线用于治疗胸腹部较深部位肿瘤。
- 医用电子直线加速器无需永久放射源，设备在不加高压时无射线产生，而且加速器X射线靶点非常小，配合球面准直器在照射野边缘形成的半影也较^{Co60}治疗机小。设备结构复杂、技术要求高、日常维护及质量保证费用较高。

3.模拟定位机

简称模拟机，它将X射线诊断部件和具有外照射治疗机相关运动功能的机械部件组合在一起。可以在x射线电视监视器或x射线胶片上，提供具有诊断品质的，并带有照射野模拟标记的影像资料。

模拟机的射线束准直器，机架和治疗床等部分是模拟外照射治疗机设计的，使得患者在模拟机定位时的体位与实际治疗时一样，可重复“摆位”。

基本结构

模拟机由两部分构成：**x**射线系统和机械系统。**x**射线系统包括**x**射线管、**x**射线发生器和**x**射线影像增强器系统。机械系统包括有机座和机架、准直器、治疗床和控制系统。

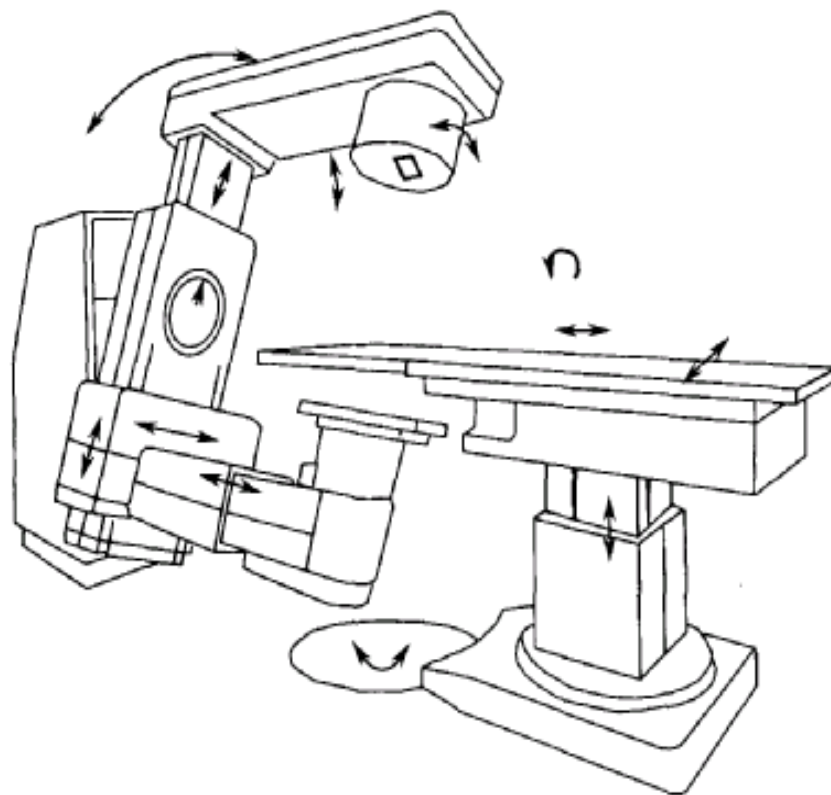


图 2-1-6 模拟定位机结构示意图

临床应用

1. 肿瘤和敏感器官的定位
2. 治疗模拟
3. 治疗计划验证
4. 治疗计划修改

4.CT模拟

20世纪90年代前后发展的一种新的肿瘤定位技术，一经问世就迅速发展成实施三维适形、调强放射治疗必不可少的工具。

它主要包括三部分，即一台**CT**扫描机，一台**CT**模拟工作站及其软件和一套激光照射野定位仪。

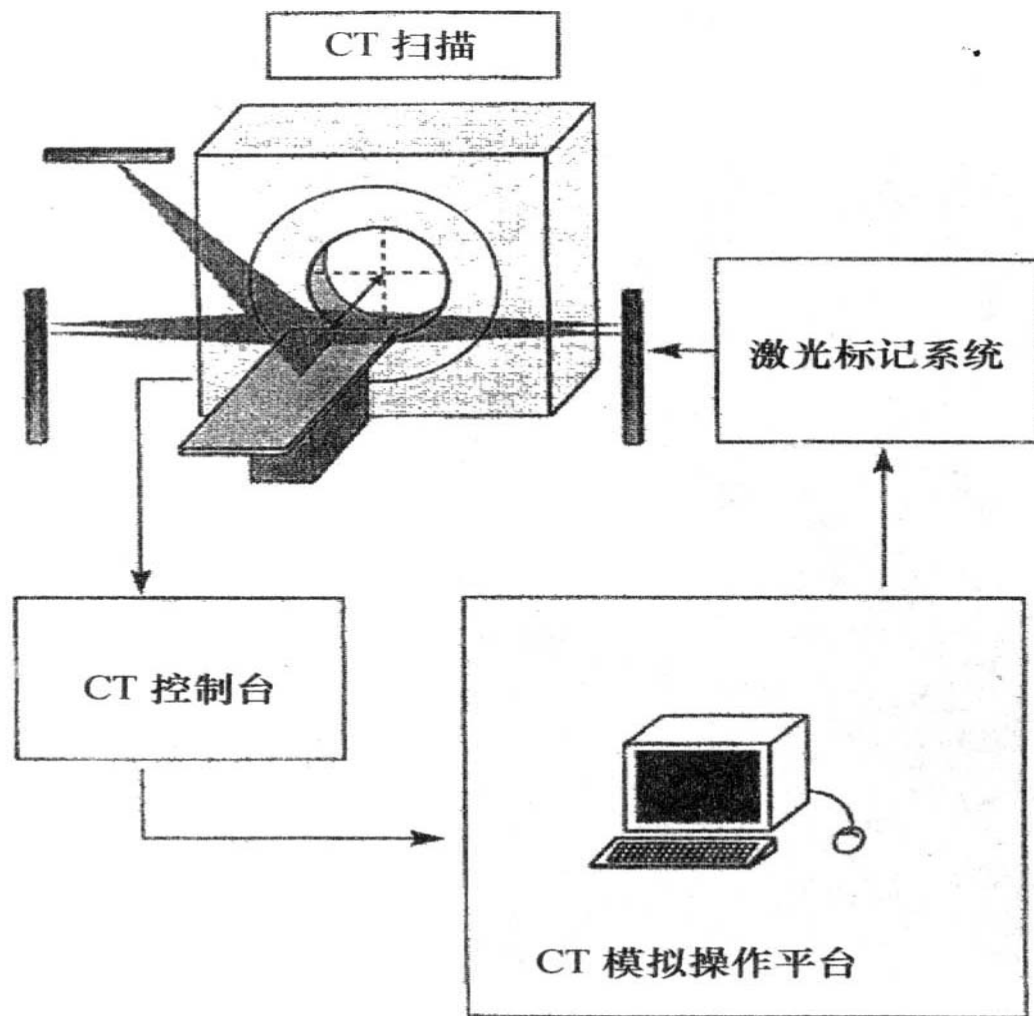


图 1-33 CT 模拟系统主要组成部分和定位过程示意图

CT模拟的临床实施过程

- 首先，肿瘤患者按照治疗体位，仰卧或俯卧于CT扫描床上，带好体位固定装置，用可在CT影像上显像的介质作好标记，并作为定位参考点，行CT扫描。
- 第二步是将行CT扫描所获得的影像资料，通过网络或光盘等介质输入CT模拟工作站，并以这一工作站作操作平台，完成对肿瘤患者的模拟和定位。
- 第三步是将模拟定位的结果，主要是各照射野的等中心点，相对于CT扫描时定位参考点的位移，传输给激光照射野定位仪。

体外远距离照射的放疗技术

精确放射治疗：从三维方向上，采用多角度、多个照射野进行照射。

优点：可以提高肿瘤的照射剂量，更有效地杀灭肿瘤细胞，而且可以达到更有效地保护正常组织和器官、提高疗效、改善生存质量的目的，并且扩大了放疗适应症范围。

不足：必须使用螺旋CT扫描三维成像、模拟定位系统及逆向三维治疗计划系统，成本较昂贵、技术复杂，严格的体位重复、操作难度大。

常用的治疗机

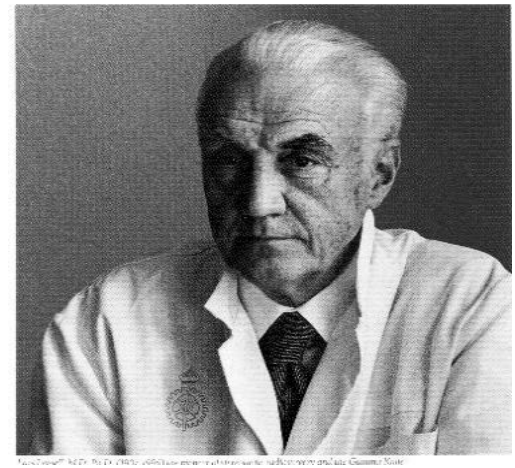
1. 立体定向放射外科设备
2. 计算机治疗计划系统

立体定向放射治疗：是使用专用的立体定位装置，通过CT或MRI扫描定位，利用聚焦的原理，将各个照射野或照射弧的放射线集中到肿瘤区（靶区），而靶区周围正常组织受量很少。根据肿瘤特点可进行单次立体定向放射外科（SRS）和分次立体定向放射治疗（SRT）。

三维适形放射治疗：从三维方向上，采用多个照射野、多角度进行照射，而且每个照射野的截面形状与对应的肿瘤截面形状相一致。

调强放射治疗：根据肿瘤情况，利用CT扫描，逆向三维治疗计划系统设计出合理的、变化的剂量分布，以使肿瘤表面和内部各点受量均匀。

立体定向放射治疗



- 1951年瑞典神经外科Lars Leksell医生首先提出了立体定向放射手术的概念；
- 1968年第一台 γ 刀(γ -knife)装置在瑞典诞生--leksell & larsson
- 1985年美国Colombo & Hartman利用直线加速器实现了非共面多弧度等中心旋转治疗，即现在称之为x刀(X-knife)，颅脑X刀问世。
- 1996年瑞典korolinska医院研制成功体部X刀

SRT 俗称 X(γ)刀, 包含

- 立体定向放射外科(Stereotactic Radiosurgery, SRS)
- 分次立体定向放射治疗(Fractional Stereotactic Radiotherapy, FSRT)

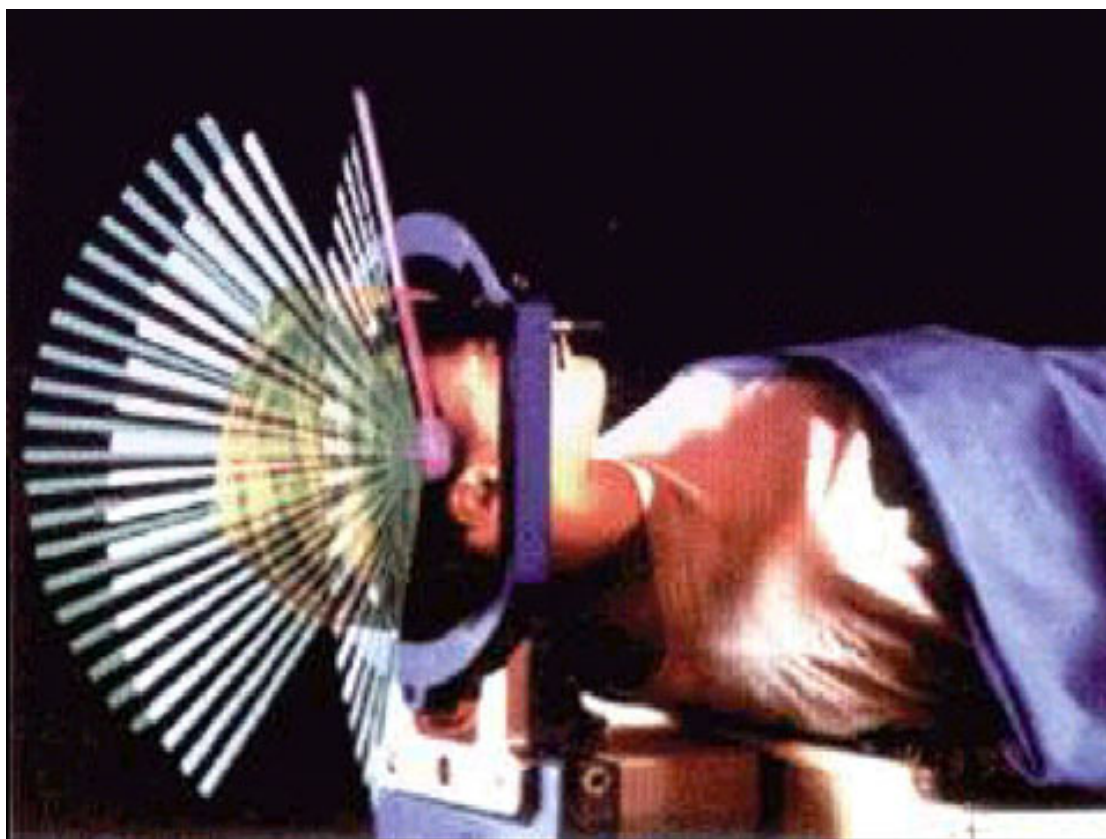
SRS概念：

- SRS是以精确的立体定位和聚焦方法对病变靶区进行**多角度、单次大剂量**照射。
- 其靶区剂量分布特点：
 - (1) 高剂量分布相对集中
 - (2) 边缘等剂量线以外剂量锐减



γ 刀

201个钴放射源排列成半球形,每一个放射源发射出的 γ 射线都聚焦到一个点上。



特点：

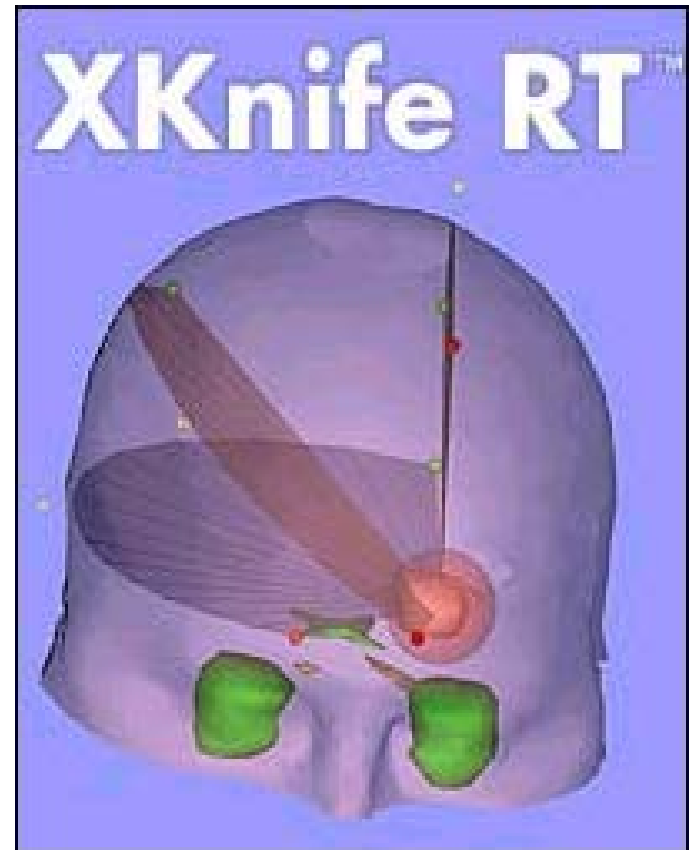
- 治疗区（高剂量区）和非治疗区（低剂量区）靶点内外的界限非常清楚，象刀切一样，故形象的称之为“ γ 刀”。
- 这种技术不用开刀，却通过一次或少数几次治疗达到了开刀切除肿瘤的效果。
- 主要用于颅内 $<3\text{cm}$ 的病变。

X刀

根据同样原理，采用加速器产生的 X线进行**同中心的多个弧形照射**，使射线都聚焦到一个点上，使肿瘤细胞遭受到损毁性的打击，称为“X刀”。

特点：

- X刀除应用在头部肿瘤外，还可应用在胸、腹、盆等区域，应用范围比 γ 刀广。
- 可用于<4cm的病变。



立体定向放射外科与传统手术比较

- 优点：避免了开颅手术的许多风险，诸如麻醉意外、出血、感染以及因为切除脑组织而导致脑部功能的缺损，也不会遗留疤痕，住院时间缩短。
- 问题：肿瘤需数月后才能逐渐消退；有些肿瘤虽然被灭活，但也许不会永远消失。

立体定向放疗的局限性

乏氧细胞对放射线抗拒

肿瘤细胞周期时相性对放射线抗拒

受肿瘤体积、形状限制

靶区边缘定位的精确度尚待提高

靶区周围重要组织放射耐受性有限



分次立体定向放射治疗
Fractional Stereotactic Radiotherapy
FSRT

FSRT的特点：

- FSRT是利用SRS的定位、体位固定及治疗计划系统。
- 根据肿瘤的生物学行为，FSRT保留了常规放疗的分次照射。
- 原理：用多个小照射野从三维方向一次大剂量的治疗颅内不能手术的疾病，包括脑肿瘤和良性病变，特别是对颅内动、静脉畸形开辟了一条新的治疗途径。

分次照射的优点：

- 使那些对放射线抗拒的乏氧细胞在两次照射之间有时间发生再氧合，转变为对放射线敏感的充氧细胞。
- 使处于细胞周期中对放射不敏感时相的细胞向敏感时相转变, 从而提高放射的效果。

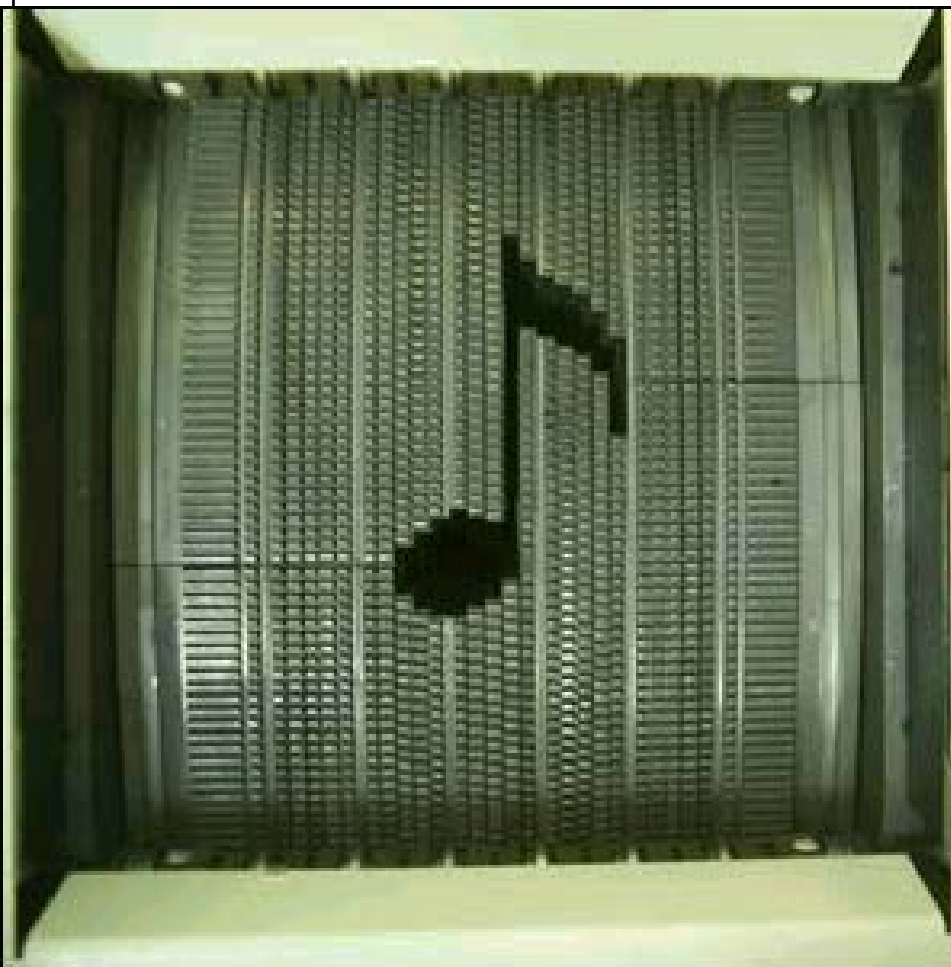
三维适形放射治疗

3-dimensional conformal radiation therapy
3DCRT

- 理想的放射治疗技术应是按照肿瘤形状给靶区很高的致死量，而靶区周围的正常组织不受到照射。
- 在1960年代中期日本人高桥（Takahashi）首先提出了适形治疗(conformal therapy)的概念。
- 三维适形放射治疗（3DCRT）是立体定向放射治疗技术的扩展。

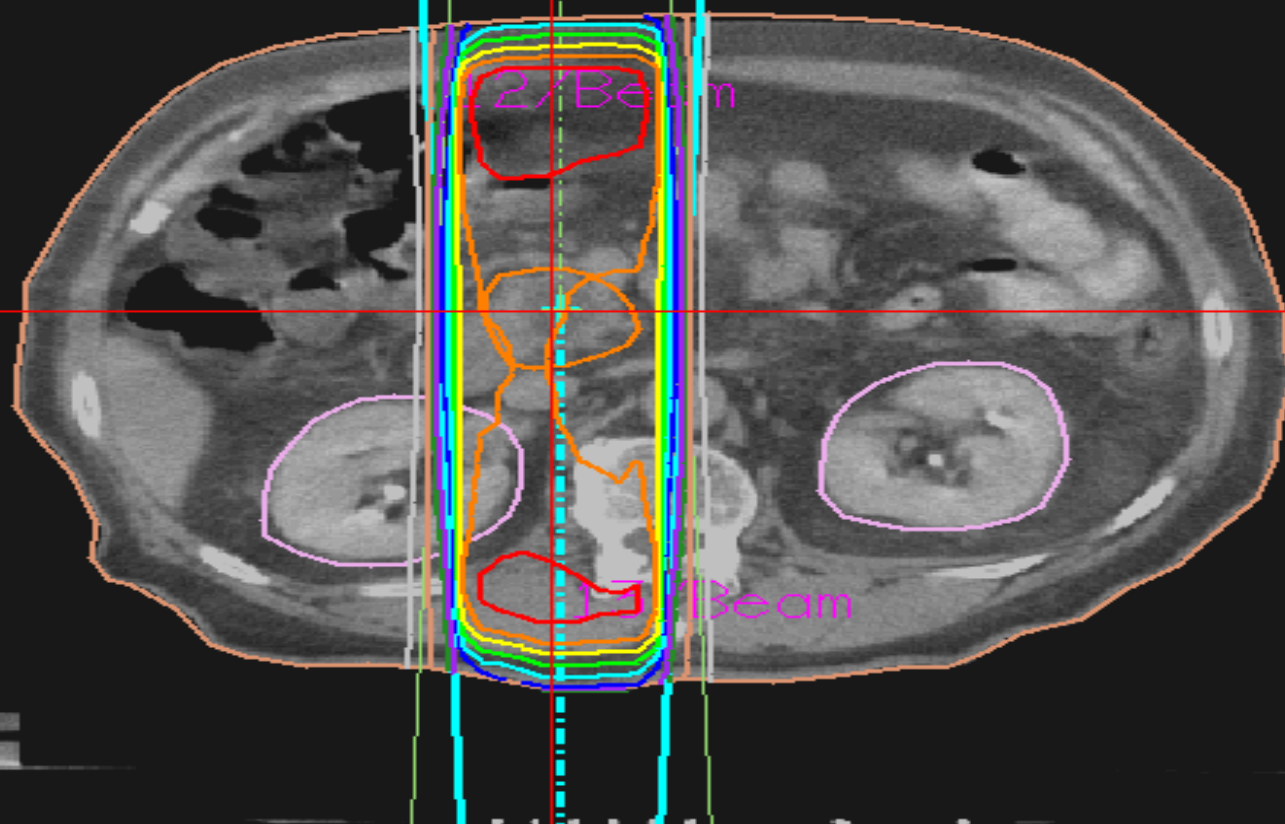
适形放射治疗

1. 3-DCRT要求要有高清晰度的图像检查技术(CT、MR、DSA、PET等)，将检查的图像经电子计算机处理，实行三维重建。
2. 同时还必须有三维治疗计划系统(3-dimensional treatment planning system, 3-DTPS)合理地设计治疗计划。
3. 利用多叶光栅或适形挡铅技术、将照射野的形状由普通放疗的方形或矩形调整为肿瘤的形状。
4. 使照射的高剂量区在人体内的三维立体空间上与肿瘤的实际形状相一致。
5. 提高了肿瘤的照射剂量，保护了肿瘤周围的正常组织，降低放射性并发症，提高肿瘤的控制率。



Display Define Dose

007

P
R L
A

Define Isodose Level .

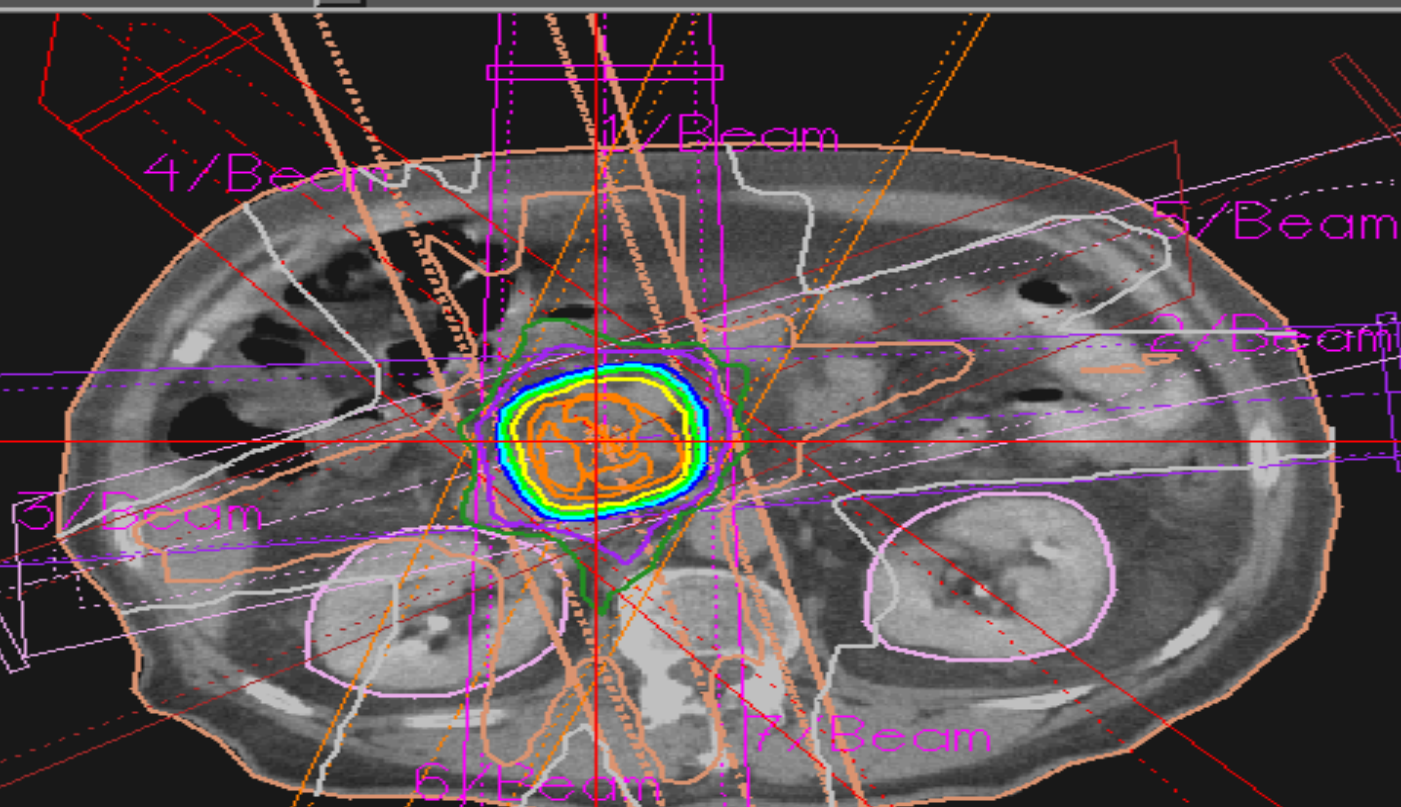
10	50	80	90	100
30	60	85	95	105

Change

Quit

Display Define Dose

007

P
R L
A

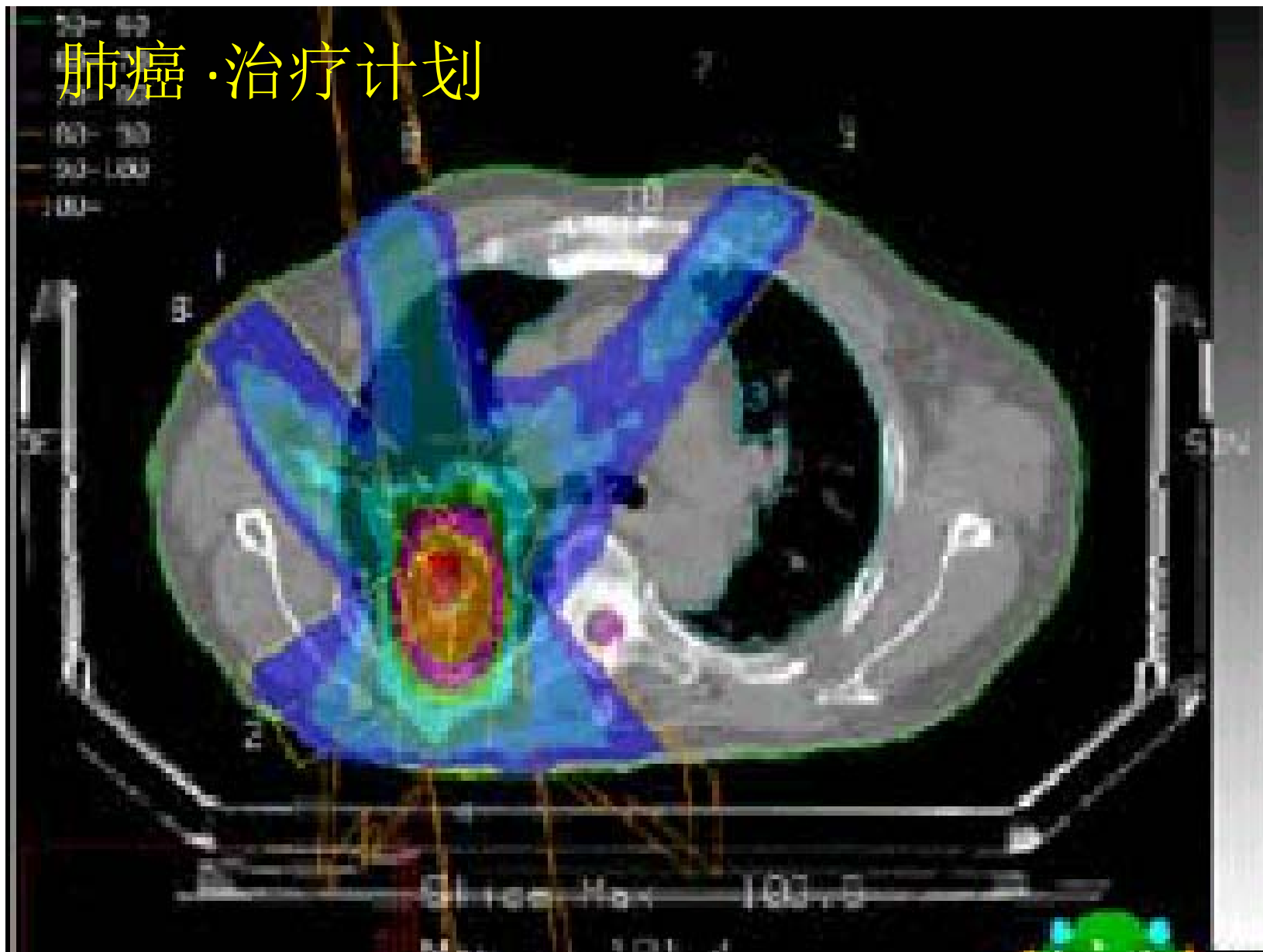
Define Isodose Level .

10	50	80	90	100
30	60	85	95	105

Change

Quit

肺癌·治疗计划



与常规放疗相比

- 3DCRT对肿瘤组织的适形聚焦照射和对正常组织的良好保护，提高了肿瘤与正常组织的剂量比。
- 在正常组织受到允许剂量照射的情况下，肿瘤组织可以得到比常规放疗更高的总剂量。
- 治疗时可以明显地提高单次剂量，缩短总的治疗时间。
- 可以更有效地保护正常组织，降低放射损伤，提高肿瘤的局部控制率。

三维适形放射治疗的局限性：

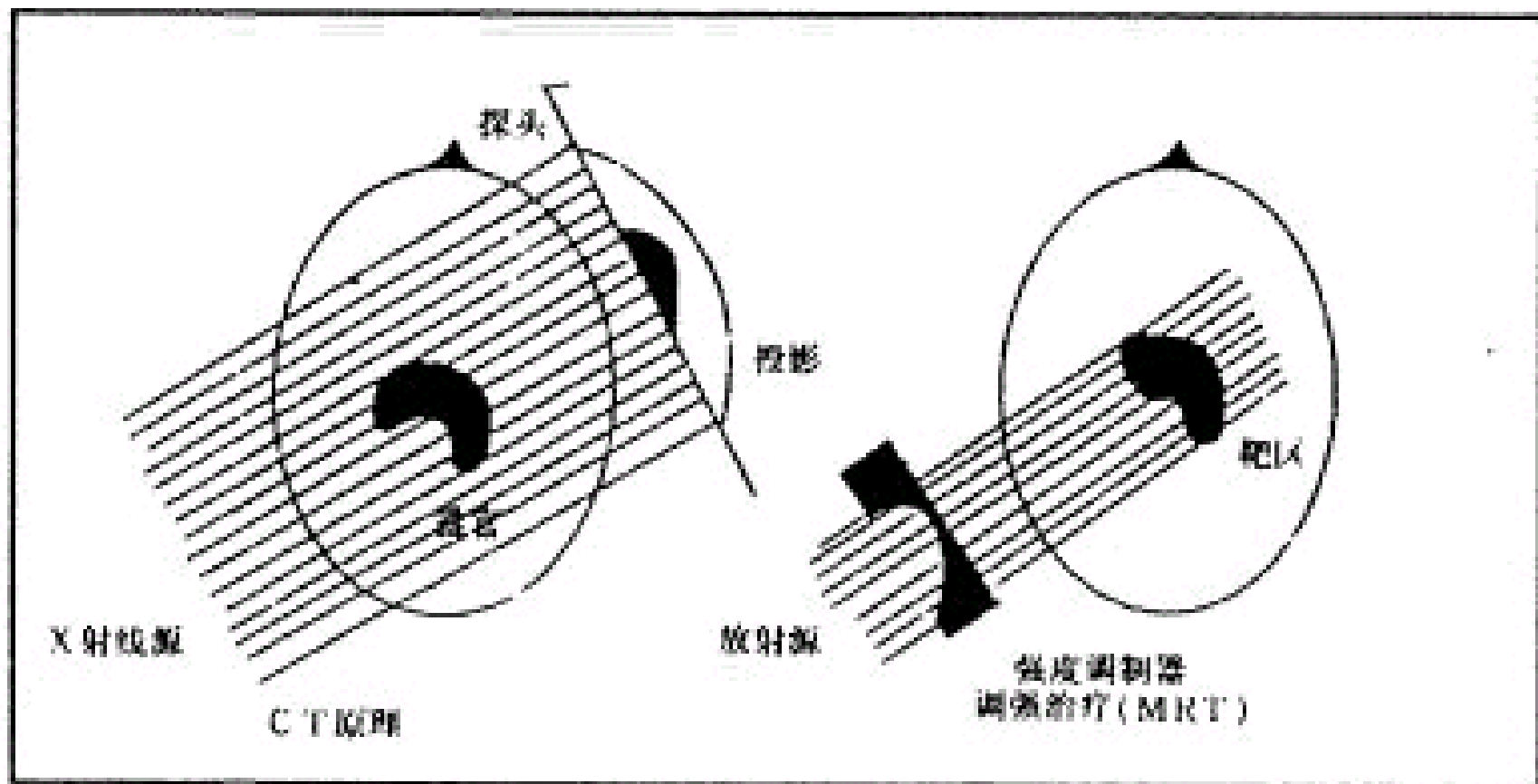
靶区形状虽已适形，但靶区内剂量分布欠均匀

调强适形放射治疗

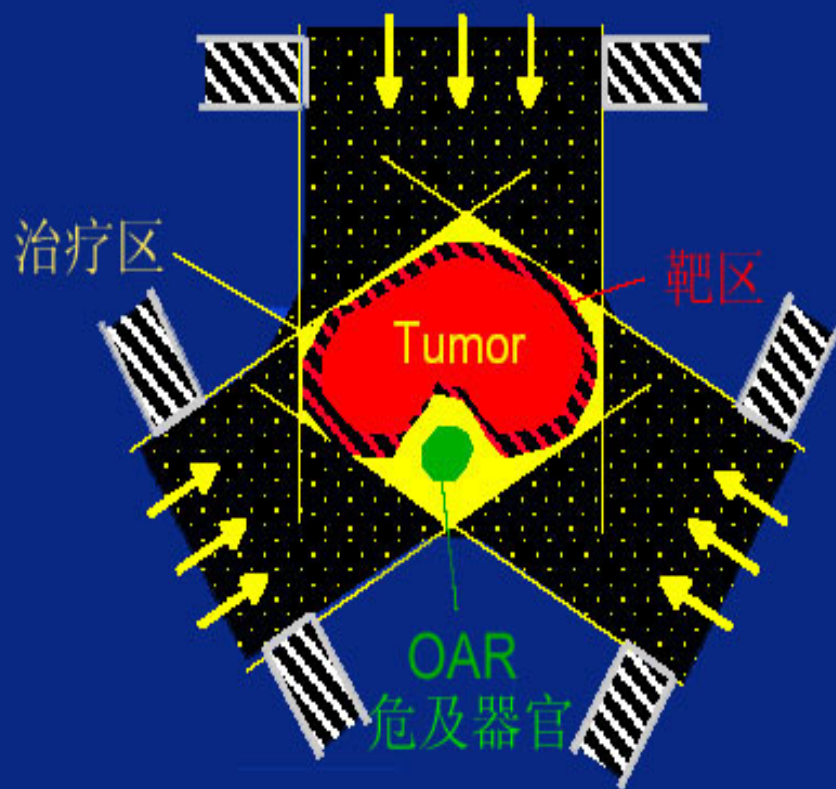
Intensity Modulation Conformal
Radiation Therapy, IMRT

- 迄今为止，放射治疗使用的都是强度几乎一致的射线，而肿瘤本身的厚度是不均一的，因此造成肿瘤内部剂量分布不均。为了实现肿瘤内部剂量均匀，就必须对射野内的射线强度进行调整。
- 瑞典放射物理学家Brahme教授首先提出了调强的概念。
- IMRT技术要求把一束射线分解为几百束细小的射线，分别调节每一束射线的强度，射线以一种在时间和空间上变化的复杂形式进行照射。

调强的概念启发于 CT成像的逆原理

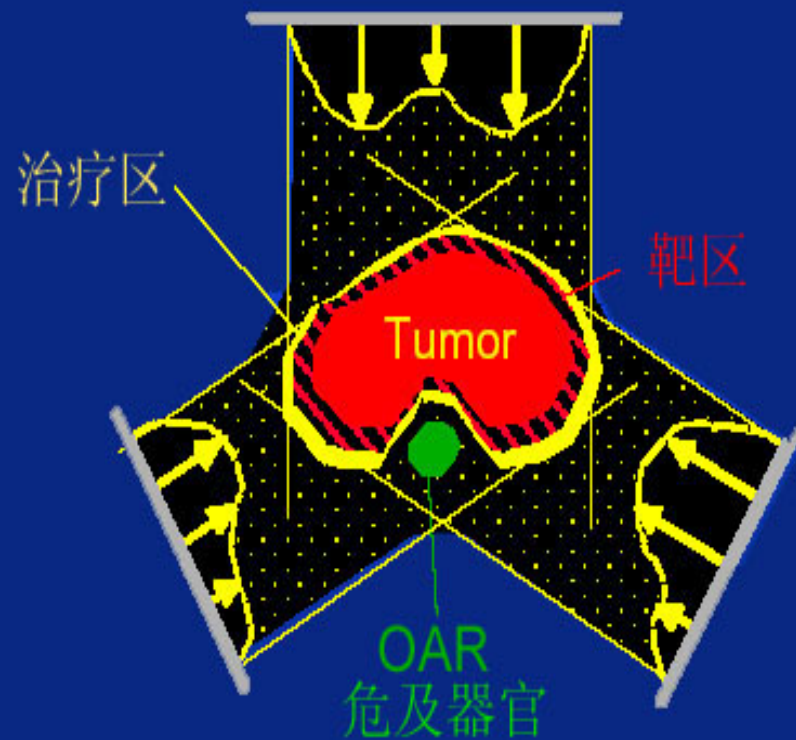


“经典”适形



准直器

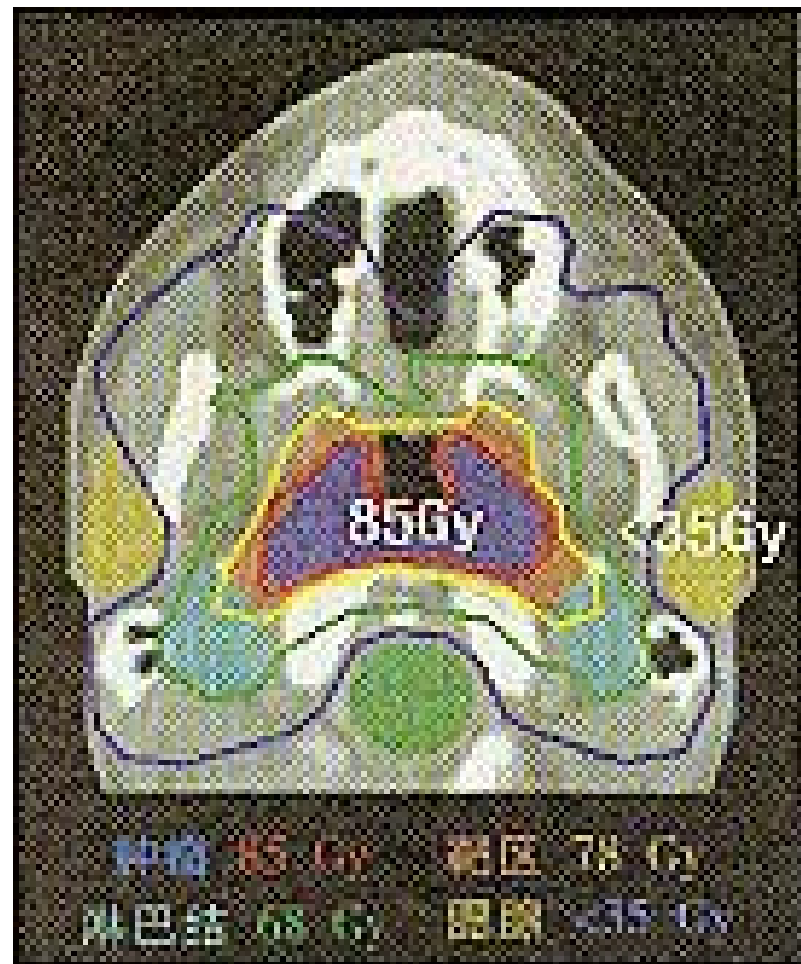
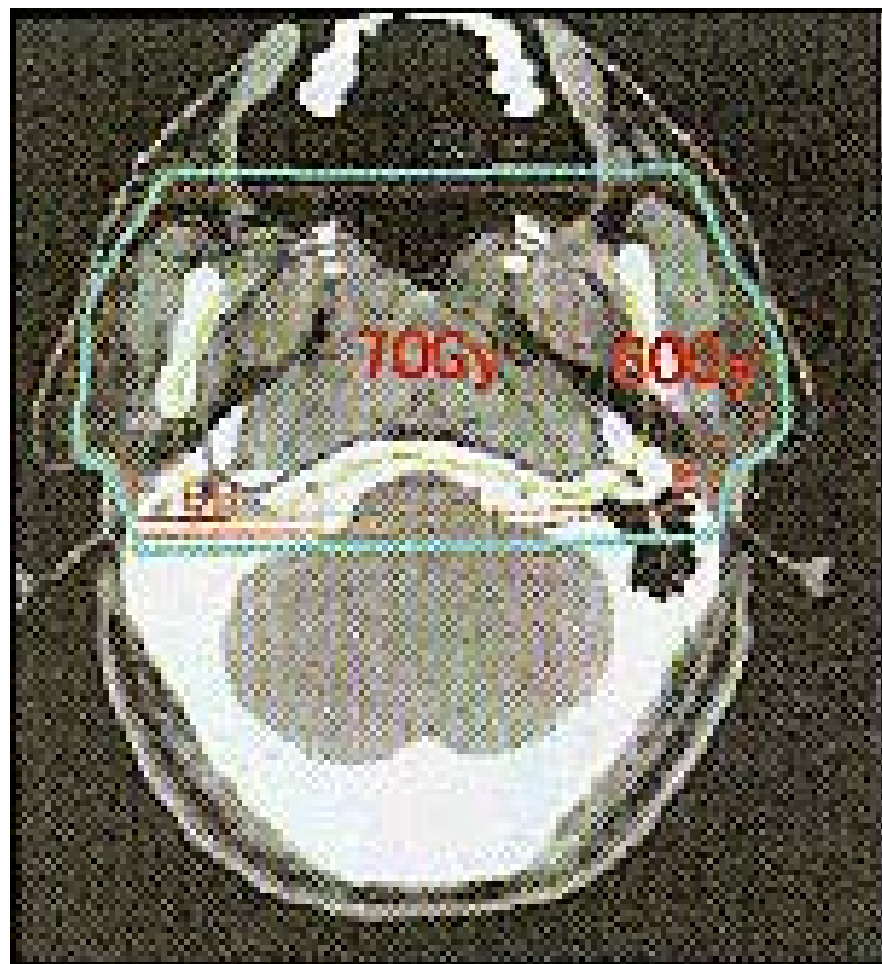
调强适形



- IMRT通过改变靶区内的射线强度，使靶区内的任何一点都能得到理想均匀的剂量，同时将要害器官所受剂量限制在可耐受范围内，使紧邻靶区的正常组织受量降到最低。
- IMRT比常规治疗多保护15%~20%的正常组织，同时可增加20%~40%的靶区肿瘤剂量。

调强适形放射治疗

- IMRT (intensity modulation radiation therapy, IMRT) 不仅要求照射野的形状与病变形状一致，而且还要求病变内各点的剂量是均匀的，这是在适形放射治疗的基础上的又一发展。
- 这种治疗已达到了精确定位、精确计划、精确摆位、精确照射。这种精确的放射治疗被认为是**21**世纪放射治疗的主流，我国许多大医院已广泛开展了这种治疗方法。



近距离后装治疗机

- 近距离治疗主要包括腔内、管内照射、组织间种植、术中置管和敷贴照射。
- 近距离治疗也是放射治疗的重要方法之一。它是将封装好的放射源，通过施源器和输源导管直接植入患者的肿瘤部位进行照射。
- 其基本特征是放射源贴近肿瘤组织，可以有效地灭杀肿瘤细胞，而邻近的正常组织，由于辐射剂量随距离增加而迅速跌落，受量较低。
- 近距离照射很少单独使用，一般作为外照射的辅助治疗手段，可以给予特定部位，如外照射后残存的瘤体以较高的剂量进而提高肿瘤的局部控制率。

现代近距离放射治疗机具有三个特点：

- 一是放射源微型化：放射源在体内的驻留位置和驻留时间可以由计算机精确控制，实现理想的剂量分布。
- 二是利用高活度Ir源可以实现高剂量率治疗，缩短照射时间减少了病人痛苦。
- 三是治疗计划由计算机模拟生成，不同治疗方案可以进行优化比较，提高了疗效。

放射治疗过程

临床检查及诊断↵ (明确诊断, 判定肿瘤范围, 做出临床分期, 了解病理特征)↵	放射肿瘤医师↵
确定治疗目的↵ 根治、姑息、综合治疗(与手术综合, 术前、术中或术后放射治疗, 与化疗综合)或单一放射治疗↵	放射肿瘤医师↵
确定放射源↵ (体外照射——常规照射、三维适形照射、调强放射治疗等, 近距离照射)↵	肿瘤医师↵
制作病人固定装置与身体轮廓↵	模拟机技师↵
模拟机下摄片或 CT 模拟↵	模拟机技师↵
确定靶区体积↵ 确定肿瘤体积及剂量↵ 确定危险器官及剂量↵	放射肿瘤医师↵
制定治疗计划↵ 设计照射野并计算选择最佳方案↵	放射物理师↵
制作铅挡块↵	模室技师↵
确定治疗计划↵ 设计照射野并计算选择最佳方案↵	↵
确定治疗计划↵	放射肿瘤医师↵ 放射物理师↵
验证治疗计划↵	放射肿瘤医师↵ 模拟机技师↵
签字↵	放射肿瘤医师↵ 放射物理师↵
第一次治疗、摆位↵	放射肿瘤医师↵ 放射物理师↵ 放射治疗技师↵
摄验证片↵	放射治疗技师↵ 放射肿瘤医师↵
每周摄验证片↵	放射治疗技师↵ 放射肿瘤医师↵
每周核对治疗单↵	放射肿瘤医师↵ 放射物理师↵
每周检查病人(必要时更改治疗计划)↵	放射肿瘤医师↵
治疗结束时进行总结↵	放射肿瘤医师↵
随诊↵	放射肿瘤医师↵

- 放射治疗有别于外科治疗，外科手术是一种直接合作完成的治疗过程。而放射治疗是一个多环节、多群体的间接合作的治疗过程。
- 技术员在整个放射治疗过程中，参与多个环节的工作。
- 技术员是计划的实施者，但更是医嘱的执行者
- 责任性更强，一次治疗失误就可能影响整个放疗的完美性。

病人情况
病期
CT. X片
病理类型
肝肾功能
血Rt

单纯放疗

放化疗

术前放疗

术中放疗

术后放疗

根治性

姑息性

同步

增敏

高姑息性

低姑息性

放射治疗的临床应用

- 根治性放疗：以根绝局部肿瘤为目的，以放射线为主，伴以或不伴以化疗、热疗。--患者可生存较长时间,且无严重的后遗症
- 综合治疗：指放疗与其他治疗手段的结合，以达到最好的治疗效果。
- 姑息性放疗：以减症和止痛为目的。
- 急症放疗：实际上是姑息的一种，但情形较急。

姑息性放疗(Palliative RT)

以解除病人痛苦，提高生存质量为目的，如清洁溃疡、解除疼痛或压迫

- 对象: 无法治愈的晚期癌症患者
 - 目的: 缓解症状, 如止痛、止血、清洁溃疡，改善生活质量
 - 要点: 不因治疗而增加痛苦
- 不是简单的推迟死亡，而是延长有意义的生命

To Cure —

Sometimes

To Relieve —

Always

To Encourage —

Forever