

调强放疗的计划设计

中国医学科学院
肿瘤医院放疗科

戴建荣

概要

- ❖ 计划设计的基础知识
- ❖ 定义感兴趣区
- ❖ 给定处方剂量要求
- ❖ 确定射野参数
- ❖ 评价治疗计划

计划设计定义

❖ 计划设计是根据临床要求，优化确定一个治疗方案的全过程，是整个放射治疗过程中的一个重要环节。

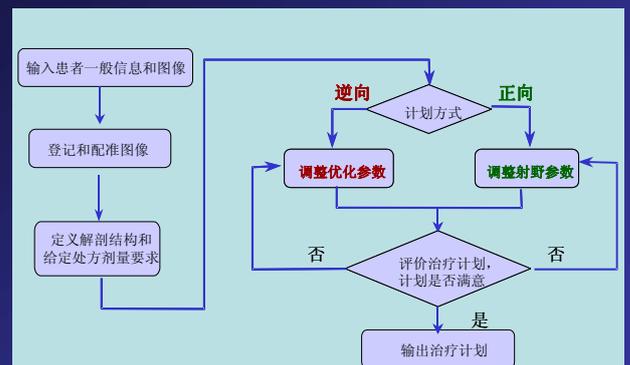
❖ 计划设计内涵的扩展

剂量计算和剂量显示



优化确定治疗方案

计划设计过程



有关逆向计划设计的误解

- ❖ 逆向计划设计一定可以提高计划的质量
- ❖ 逆向计划设计一定可以节省时间
- ❖ 逆向计划设计对计划人员的要求降低了

概要

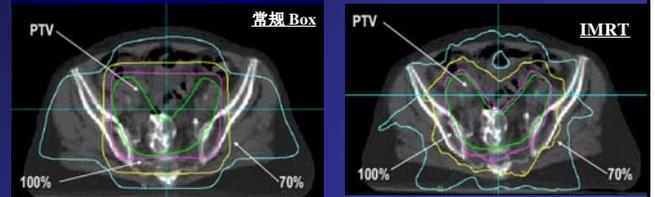
- ❖ 计划设计的基础知识
- ❖ 定义感兴趣区
- ❖ 给定处方剂量要求
- ❖ 确定射野参数
- ❖ 评价治疗计划

定义感兴趣区

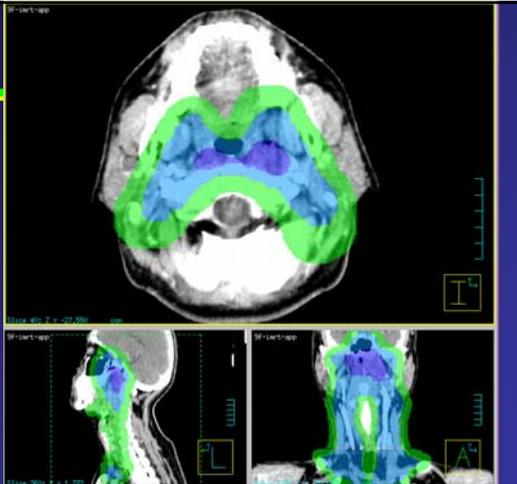
- ❖ 定义解剖结构 (靶区和危及器官)
- ❖ 剂量成形结构
 - ❖ 包围靶区的壳层 (Dose Shell)
 - ❖ 定义在靶区凹陷部位的扇形区 (Dose Fan)
 - ❖ 剂量热点和冷点
 - ❖ 当靶区贴近皮肤时, 加补偿薄层

IMRT要求靶区定义准确

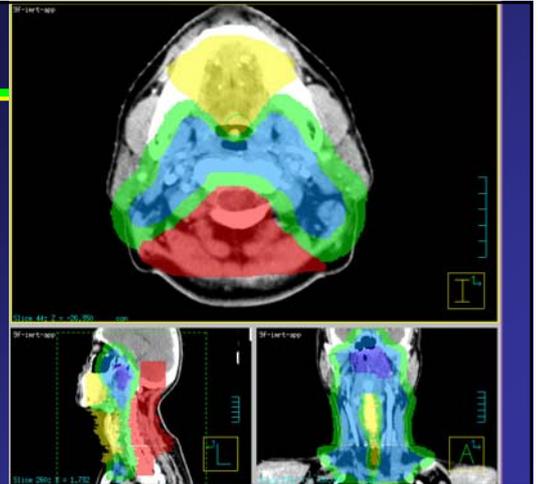
IMRT提供了与靶区高度适形剂量分布的物理手段。这意味着正确的靶区、正确的适形; 错误的靶区、错误的适形。



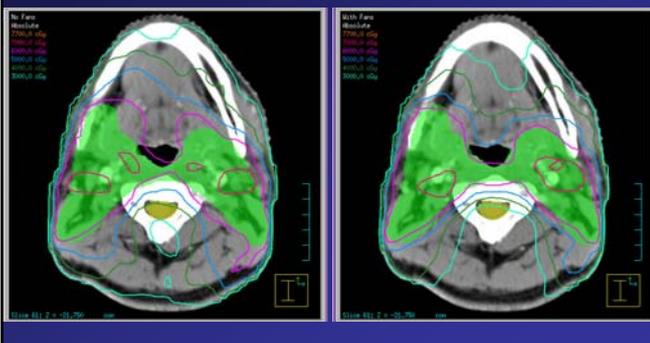
包围靶区的壳层



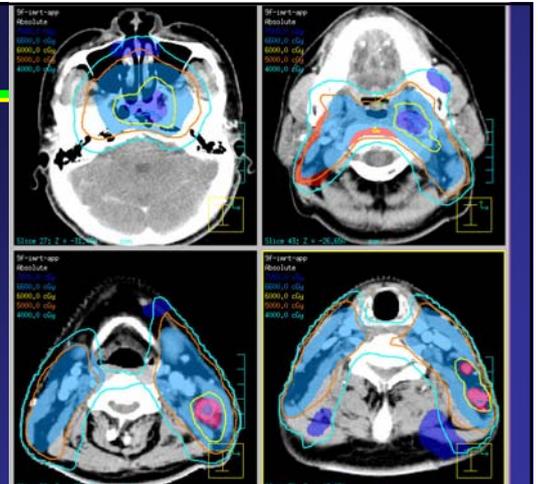
靶区凹陷部位的扇形区



扇形区的作用



剂量热点 / 冷点



概要

- ❖ 计划设计的基础知识
- ❖ 定义感兴趣区
- ❖ 给定处方剂量要求
- ❖ 确定射野参数
- ❖ 评价治疗计划

给定处方剂量要求

- ❖ 给定靶区处方剂量，该剂量应至少包括95%体积的靶区
- ❖ 给定危及器官的耐受剂量要求
 - ▶ 串联组织 D_{max} 约束
 - ▶ 并型组织 DV约束
 - ▶ 其它类型 D_{max} 和DV约束

No requirements, No Considerations

正常组织耐受剂量

| 器官 | 剂量(Gy) \geq | 体积(%) \leq |
|---------|---------------------------|--------------|
| 脑干 | 45-50 | 0 |
| 眼晶体 | 8 | 0 |
| 视神经、视交叉 | 50 | 0 |
| 腮腺 | 25-30 | 50 |
| 脊髓 | 45(2Gy fx), 32(3Gy fx) | 0 |
| 单肺 | 30 | 40 |
| | 40 | 30 |
| 全肺 | 20 | 25-35 |
| | 30 | 18 |
| 食管 | 70 | 0 |
| | 60 | 长度 5-10 cm |
| 心脏 | 50 | 50 |
| | 60 | 25-30 |
| 肾 | 25 | 33 |
| | 20 | 50 |
| 肝 | 30 | 33 |
| 直肠 | 60 | 50 |
| | 70 | 25 |
| 膀胱 | 60 | 50 |
| 股骨颈 | 50 | 5 |

概要

- ❖ 计划设计的基础知识
- ❖ 定义感兴趣区
- ❖ 给定处方剂量要求
- ❖ 确定射野参数
- ❖ 评价治疗计划

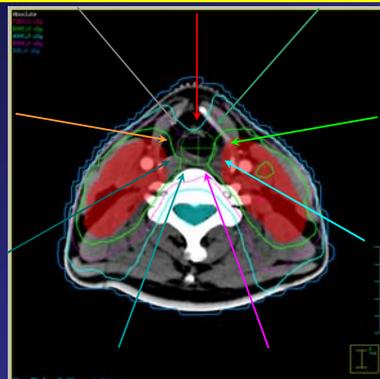
确定射野参数

- ❖ 等中心位置
- ❖ 照射野数目和方向
- ❖ 射线束能量
- ❖ 照射子野序列/叶片运动轨迹

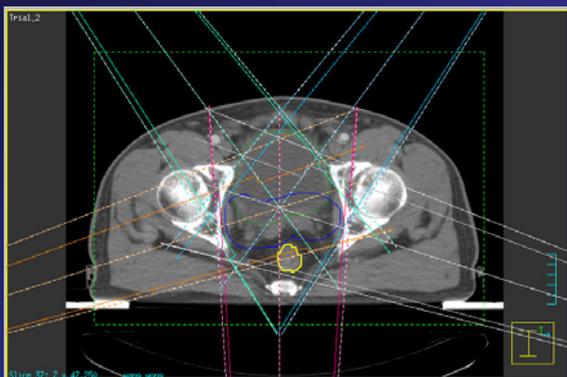
确定照射野数目和方向

- ❖ 以采用奇数射野对称分布为起点布置射野，避免对穿
- ❖ 为了形成凹形分布，无需危及器官照射
- ❖ 通常不采用非共面布野
- ❖ 鼻咽癌采用7/9个共面等机架角均分的布野方案
- ❖ 前列腺癌采用5-7个射野

鼻咽癌九野方案



前列腺癌五野方案



确定射线束能量

- ❖ 头颈部肿瘤， $\leq 8\text{MV}$
- ❖ 胸部肿瘤由于肺的影响，拟采用低能而不是高能
- ❖ 腹部肿瘤可考虑用低能代替高能

IMRT与能量无关?

❖ Yes

Sternick et al (1997);
Papanikolaou (2001);
O'Brien et al (2002);
Dong et al (2003); ...

❖ No

Pirzkall et al (2002)

该答案影响购置加速器时的能量配置要求

确定照射子野序列/叶片运动轨迹

- ❖ 采用逆向方式，即定义、求解最优化问题
- ❖ 需设定的优化目标/约束条件
 - 对靶区和危及器官，设定临床处方剂量要求，高权重
 - 对靶区和危及器官，设定辅助目标/条件，中/低权重
 - 对剂量成形结构设定辅助目标/条件，低权重

优化目标/约束条件的类型

❖ 物理类

- 剂量目标/约束
- 剂量体积目标/约束

❖ 放射生物类, 包括TCP, NTCP和P+

❖ 等效均匀剂量 (Equivalent Uniform Dose, EUD)

物理优化的局限性: 目标函数

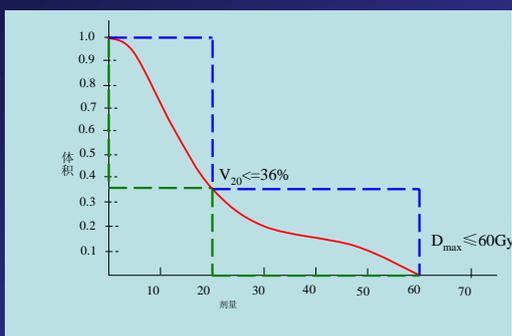
❖ 最小化靶区实际剂量与处方剂量的差别是最常用的物理目标函数, 可表示为: $S = \sum_i (D_{T,i} - D_{Ti})^2$

❖ 对于上述函数, 函数值的大小不能预测肿瘤的控制率。

例如, 一靶区共1000个功能单元, 处方剂量要求为66Gy。计划1, 所有单元的剂量为60Gy, 函数值为36000, 控制率大于0; 而计划2, 999个单元的剂量为66Gy, 1个单元的剂量为0, 函数值为4356, 控制率为0。

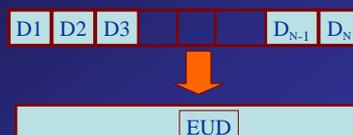
Mohan. ASTRO 2004

物理优化的局限性: 约束条件



等效均匀剂量概念

对于靶区或正常组织, 不均匀剂量分布产生的放射生物学效应可以与某个均匀剂量分布等效, 该均匀剂量称为等效均匀剂量 (EUD)



Niemiecko. Med Phys 26: 1101,2000

EUD计算

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

其中 a 是反映靶区或正常组织生物学特性的参数。

对于靶区, $a < 1$;

对于并行正常组织, $a = 1$;

对于串行组织, $a > 1$ 。

EUD优化方法对腮腺的保护作用: 材料与amp;方法

❖ 从已接受IMRT治疗的鼻咽癌患者中, 随机抽取12例患者。这些患者的计划均是采用物理约束条件优化设计的

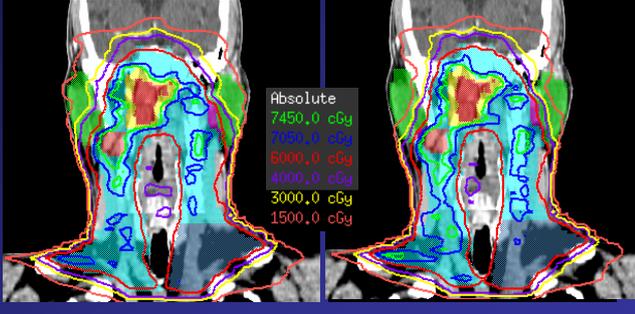
❖ 以上述计划为基础, 将腮腺的物理约束条件改为MaxEUD约束, 而保持其它感兴趣区的约束条件基本不变, 设计新的计划

❖ 比较新旧治疗计划

EUD优化方法对腮腺的保护作用： 比较截面剂量分布

物理计划

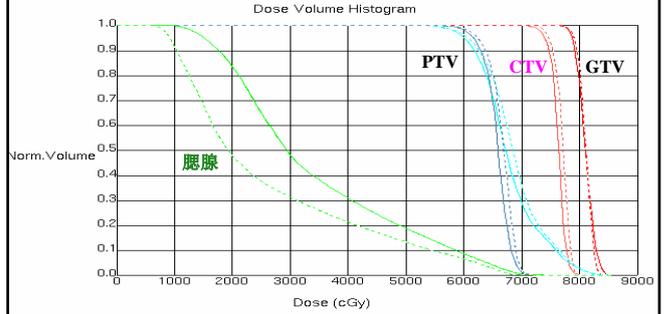
EUD计划



EUD优化方法对腮腺的保护作用： 比较DVH

实线：物理计划

虚线：EUD计划



EUD优化方法对腮腺的保护作用： 比较腮腺受照剂量

| | 物理计划 | EUD计划 |
|----------|-------|-------|
| 平均剂量 | 32.3 | 27.5 |
| V_{30} | 44.5% | 35.8% |

结论：EUD优化能够显著降低腮腺的受照剂量

每个正常组织定义一个MaxEUD的优化目标

概要

- ❖ 计划设计的基础知识
- ❖ 定义感兴趣区
- ❖ 给定处方剂量要求
- ❖ 确定射野参数
- ❖ 评价治疗计划

IMRT计划评价

与CRT相同，IMRT计划可以从三个方面评价：

- ❖ 治疗计划是否可以实施和实施效率
- ❖ 治疗计划是否满足临床处方剂量要求
- ❖ 治疗计划是否已无改进的余地

加速器防撞运动范围

| 治疗部位 | 头颈 | | 腹 | |
|------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | 模拟条件 | 模拟条件 | 模拟条件 | 模拟条件 |
| 机架 | 假设肿瘤位置是鼻咽部，用头颈肩固定架、膜和体部定位架、膜模拟 | 假设肿瘤位置是鼻咽部，用头颈肩固定架、膜和体部定位架、膜模拟 | 假设肿瘤位置是前列腺，用头部平架、膜和体部体架、膜模拟 | 假设肿瘤位置是前列腺，用头部平架、膜和体部体架、膜模拟 |
| 治疗床 | 极限范围 | 安全范围 | 极限范围 | 安全范围 |
| 0 | 0-360° | 0-360° | 0-360° | 0-360° |
| 10 | 0-360° | 0-360° | 0-360° | 0-360° |
| 20 | 250°-0°-180° | 255°-0°-180° | 255°-0°-180° | 260°-0°-180° |
| 30 | 275°-0°-180° | 280°-0°-180° | 277°-0°-107° | 282°-0°-102° |
| 40 | 285°-0°-180° | 290°-0°-180° | 305°-0°-73° | 310°-0°-68° |
| 45 | 290°-0°-180° | 295°-0°-180° | 314°-0°-68° | 319°-0°-63° |
| 50 | 295°-0°-180° | 300°-0°-180° | 298°-0°-66° | 303°-0°-61° |
| 60 | 306°-0°-180° | 311°-0°-180° | 303°-0°-54° | 308°-0°-49° |
| 70 | 307°-0°-180° | 312°-0°-180° | 305°-0°-49° | 310°-0°-44° |
| 80 | 307°-0°-180° | 312°-0°-180° | 306°-0°-46° | 311°-0°-41° |
| 90 | 308°-0°-180° | 313°-0°-180° | 305°-0°-46° | 310°-0°-41° |
| 100 | 308°-0°-180° | 313°-0°-180° | 305°-0°-47° | 310°-0°-42° |
| 110 | 308°-0°-180° | 313°-0°-180° | 307°-0°-52° | 312°-0°-47° |
| 120 | 307°-0°-180° | 312°-0°-180° | 307°-0°-25° | 312°-0°-20° |

计划是否满足临床的处方剂量要求?

治疗计划申请表

姓名: [] 性别: [] 年龄: [] 科室: [] 日期: []

病案号: []

治疗目的: []

靶区名称: []

| 靶区 | 总剂量 Gy | 分次剂量 Gy | 分次数 |
|------------------|--------|---------|-----|
| CTV | 50 | 2.0 | 25 |
| PTV | 54 | 2.0 | 27 |
| CTV ₁ | 50 | 2.0 | 25 |
| CTV ₂ | 50 | 2.0 | 25 |

靶区剂量限制: [] % 靶区体积相关的最大剂量: []

| 器官 | 剂量限制 Gy | 限制类型 | 器官 | 剂量限制 Gy | 限制类型 |
|------|---------|------|-----|---------|------|
| 肺 | 20 | 限制 | 食管 | 65 | 限制 |
| 心脏 | 45 | 限制 | 脊髓 | 45 | 限制 |
| 肾脏 | 23 | 限制 | 膀胱 | 65 | 限制 |
| 肝脏 | 20 | 限制 | 小肠 | 65 | 限制 |
| 胃 | 45 | 限制 | 直肠 | 65 | 限制 |
| 脾 | 20 | 限制 | 卵巢 | 20 | 限制 |
| 胰腺 | 45 | 限制 | 子宫 | 20 | 限制 |
| 十二指肠 | 45 | 限制 | 阴道 | 45 | 限制 |
| 输尿管 | 45 | 限制 | 阴茎 | 20 | 限制 |
| 腮腺 | 26 | 限制 | 睾丸 | 20 | 限制 |
| 甲状腺 | 45 | 限制 | 前列腺 | 65 | 限制 |
| 垂体 | 45 | 限制 | 皮肤 | 65 | 限制 |
| 视神经 | 50 | 限制 | 骨 | 65 | 限制 |
| 视交叉 | 50 | 限制 | 骨髓 | 65 | 限制 |
| 脑干 | 50 | 限制 | 全脑 | 65 | 限制 |
| 海马体 | 20 | 限制 | | | |
| 垂体腺 | 45 | 限制 | | | |
| 腮腺 | 26 | 限制 | | | |
| 甲状腺 | 45 | 限制 | | | |
| 食管 | 65 | 限制 | | | |
| 心脏 | 45 | 限制 | | | |
| 肺 | 20 | 限制 | | | |
| 肾脏 | 23 | 限制 | | | |
| 肝脏 | 20 | 限制 | | | |
| 脾 | 20 | 限制 | | | |
| 胰腺 | 45 | 限制 | | | |
| 十二指肠 | 45 | 限制 | | | |
| 输尿管 | 45 | 限制 | | | |
| 膀胱 | 65 | 限制 | | | |
| 直肠 | 65 | 限制 | | | |
| 小肠 | 65 | 限制 | | | |
| 卵巢 | 20 | 限制 | | | |
| 子宫 | 20 | 限制 | | | |
| 阴道 | 45 | 限制 | | | |
| 阴茎 | 20 | 限制 | | | |
| 睾丸 | 20 | 限制 | | | |
| 前列腺 | 65 | 限制 | | | |
| 皮肤 | 65 | 限制 | | | |
| 骨 | 65 | 限制 | | | |
| 骨髓 | 65 | 限制 | | | |
| 全脑 | 65 | 限制 | | | |

治疗类型: [] 治疗射野数: [] 治疗射野数: []

治疗方式: [] 治疗日期: []

主治医生: [] 联系电话: [] 申请日期: []

IMRT计划评价的特殊性

- ❖ 子野数目和MU是评价实施效率的重要指标
- ❖ 靶区剂量均匀度的要求可适当放松
- ❖ 可能出现分散、孤立的剂量热点/冷点

概要

- ❖ 计划设计的基础知识
- ❖ 定义感兴趣区
- ❖ 给定处方剂量要求
- ❖ 确定射野参数
- ❖ 评价治疗计划

致谢

武汉大学物理学院

乐文友

中国医学科学院肿瘤医院

高黎