



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

辐射探测在放射治疗中的应用

杨益东 & 卢晓明

中国科学技术大学 & 合肥离子医学中心

2022.8.7

主要内容

- 放射治疗及主要流程
- 辐射探测在放疗中的应用
- 新放疗模式对辐射探测的需求



放射治疗

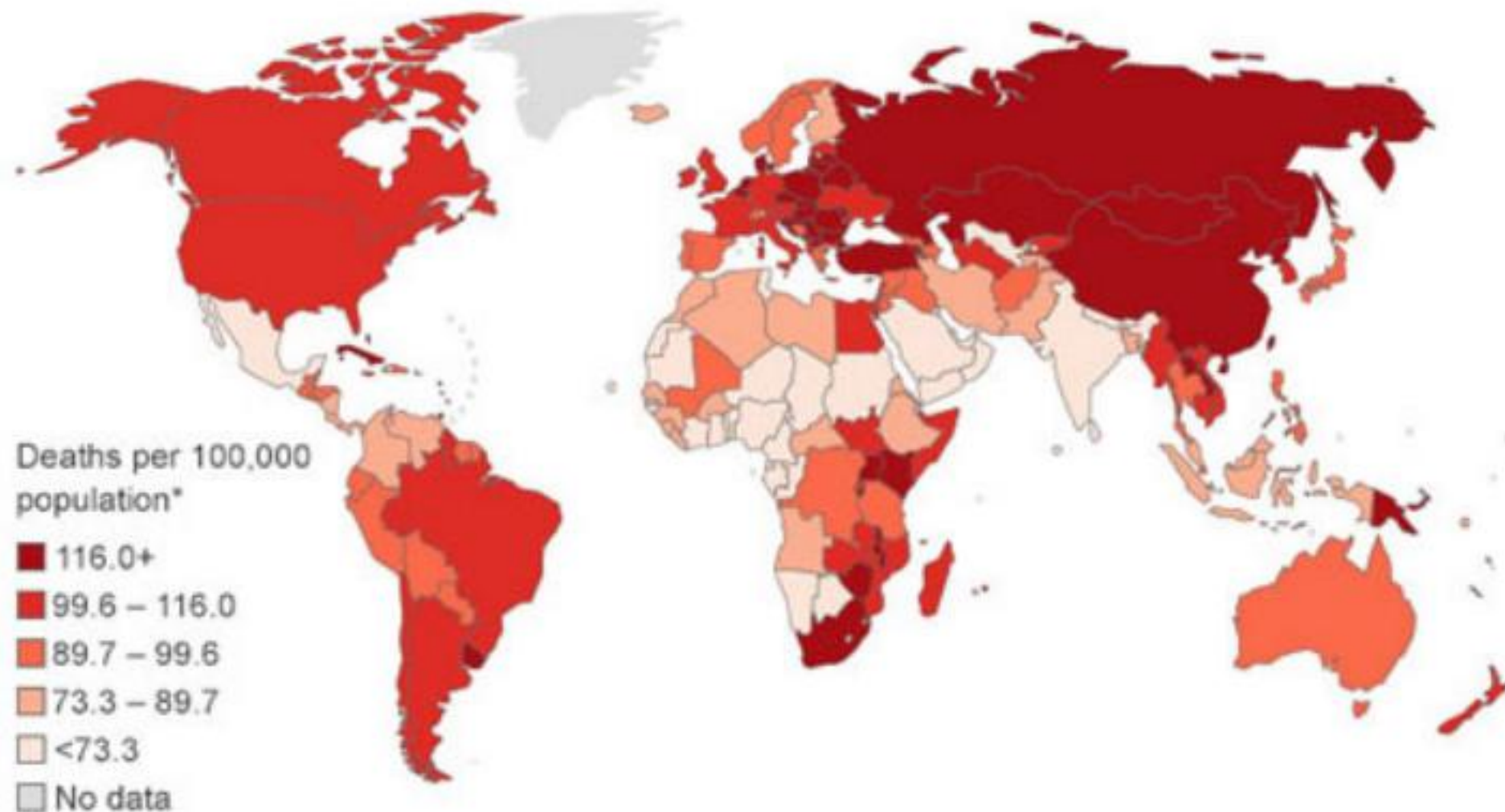
放射治疗：用X光、电子、质子、重离子定向照射肿瘤

- 放疗、手术、化疗是治疗癌症的三大手段
- 60%肿瘤患者接受放射治疗

放疗主要流程：放射治疗计划的制定和实施、质量保证、放射安全



全球癌症统计



新增**1810**万人，死亡**960**万人，经济负担**10**万亿元

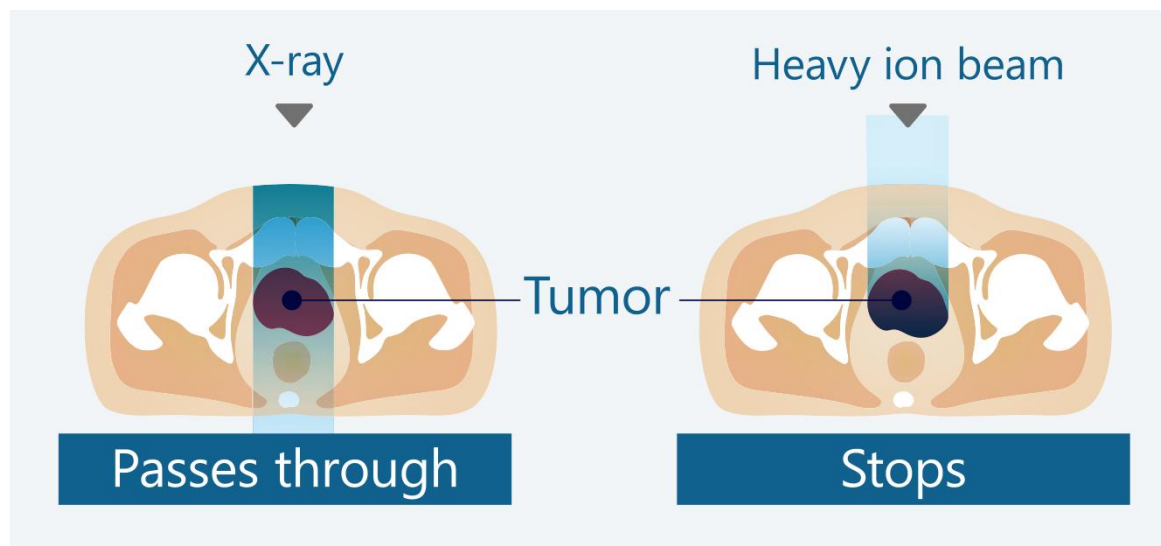
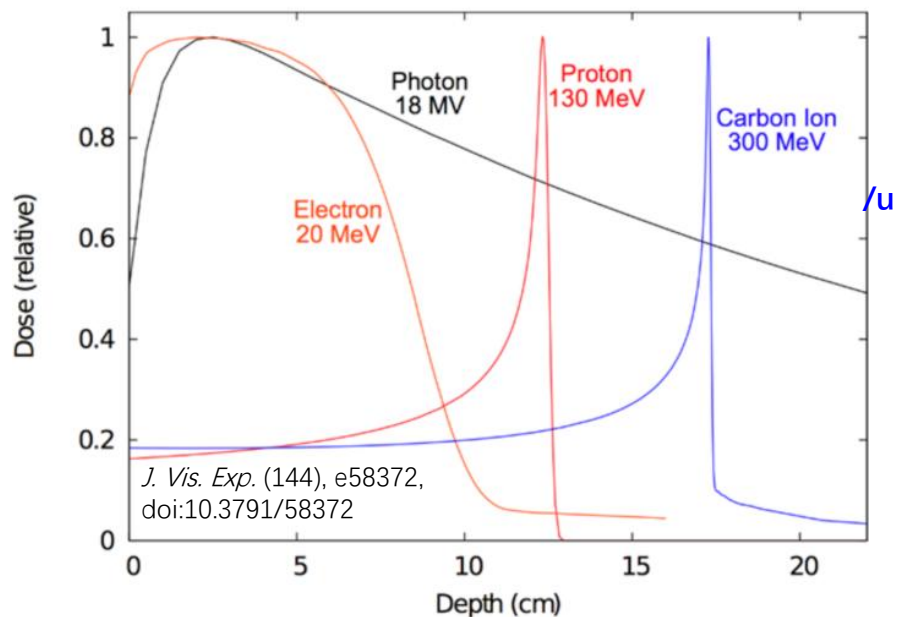


不同治疗方式的主要区别

■能量范围不同：

光子6-15MV；电子4-25MeV；质子70-300MeV；重离子100-400MeV/u

■剂量分布不同：



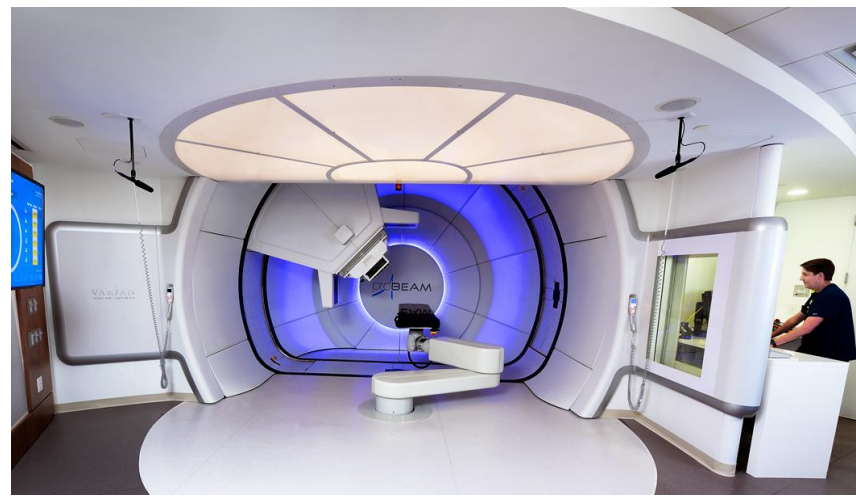
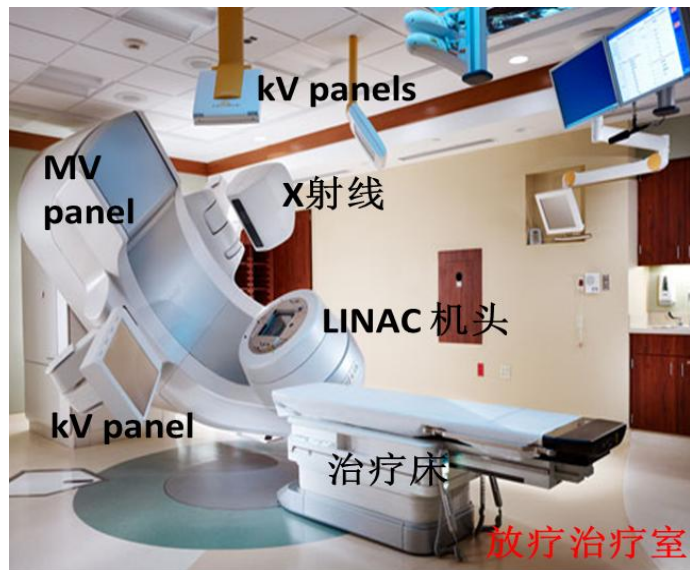
www.toshiba.com/heavy-ion/



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

常用的放疗加速器设备

直线加速器（加速电子束）、回旋和同步加速器（加速质子、重离子）



主要内容

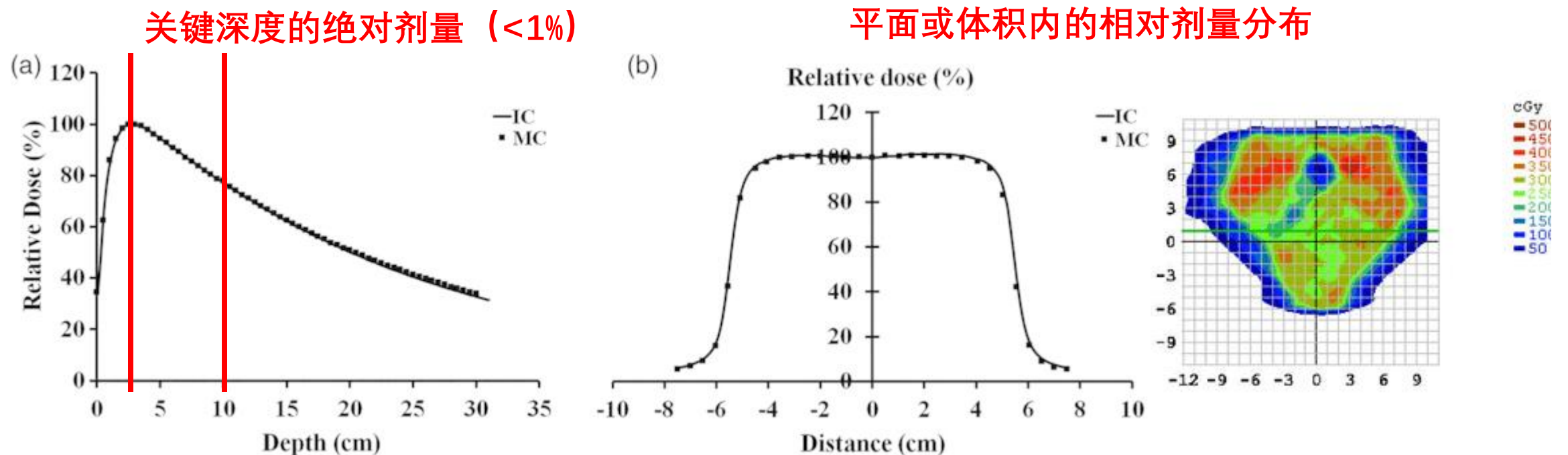
- 放射治疗及主要流程
- **辐射探测在放疗中的应用**
- 新放疗模式对辐射探测的需求



放疗中的辐射探测

■绝对剂量与相对剂量

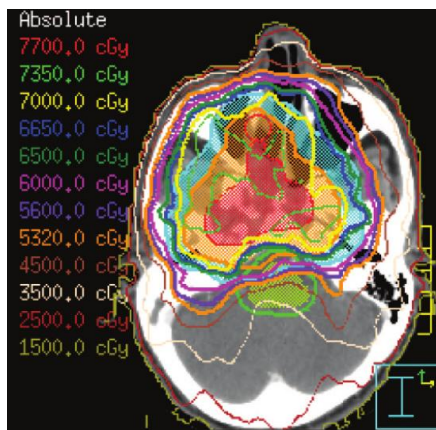
- 绝对剂量：放射剂量的绝对值，以Gy为单位
- 相对剂量：剂量的相对值或者相对的剂量分布



放疗中辐射探测主要需求

■ ICRU Report 24 (1976): 放射治疗靶区的剂量误差 $< 5\%$

■ 剂量误差：辐射测量误差、剂量计算误差、靶区定位误差



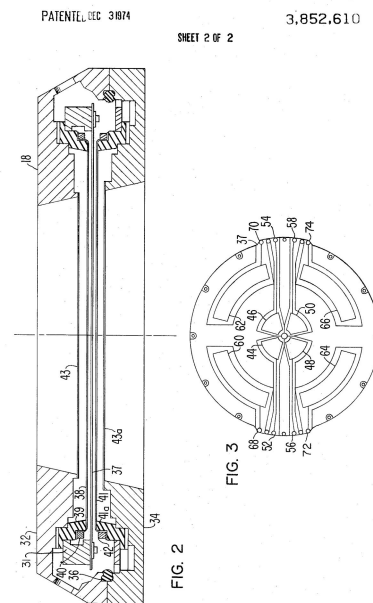
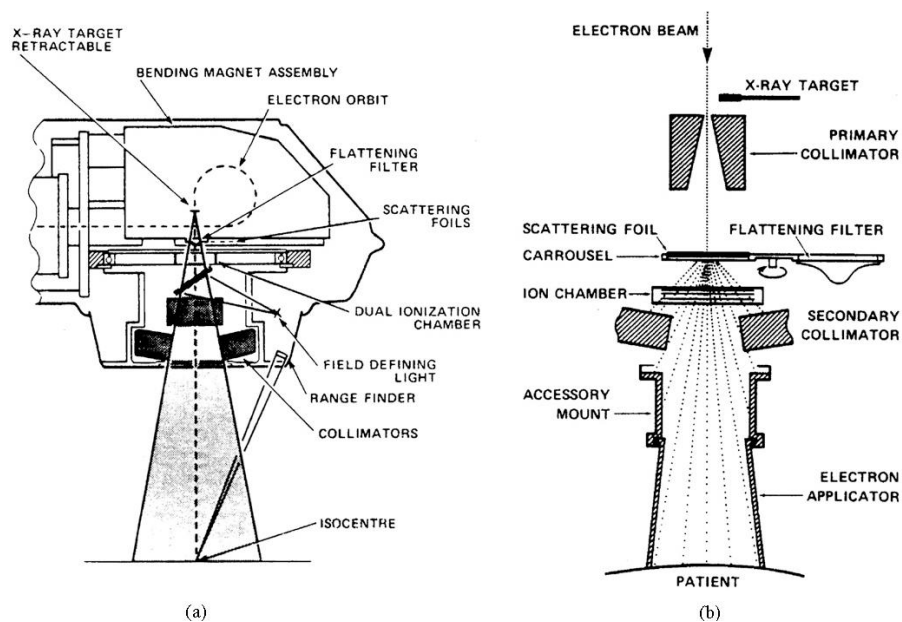
■ 辐射探测贯穿于放射治疗质量保证（QA）的全过程

■ 设备运行的监测；放射剂量的标定；治疗计划的确认；患者剂量的测量



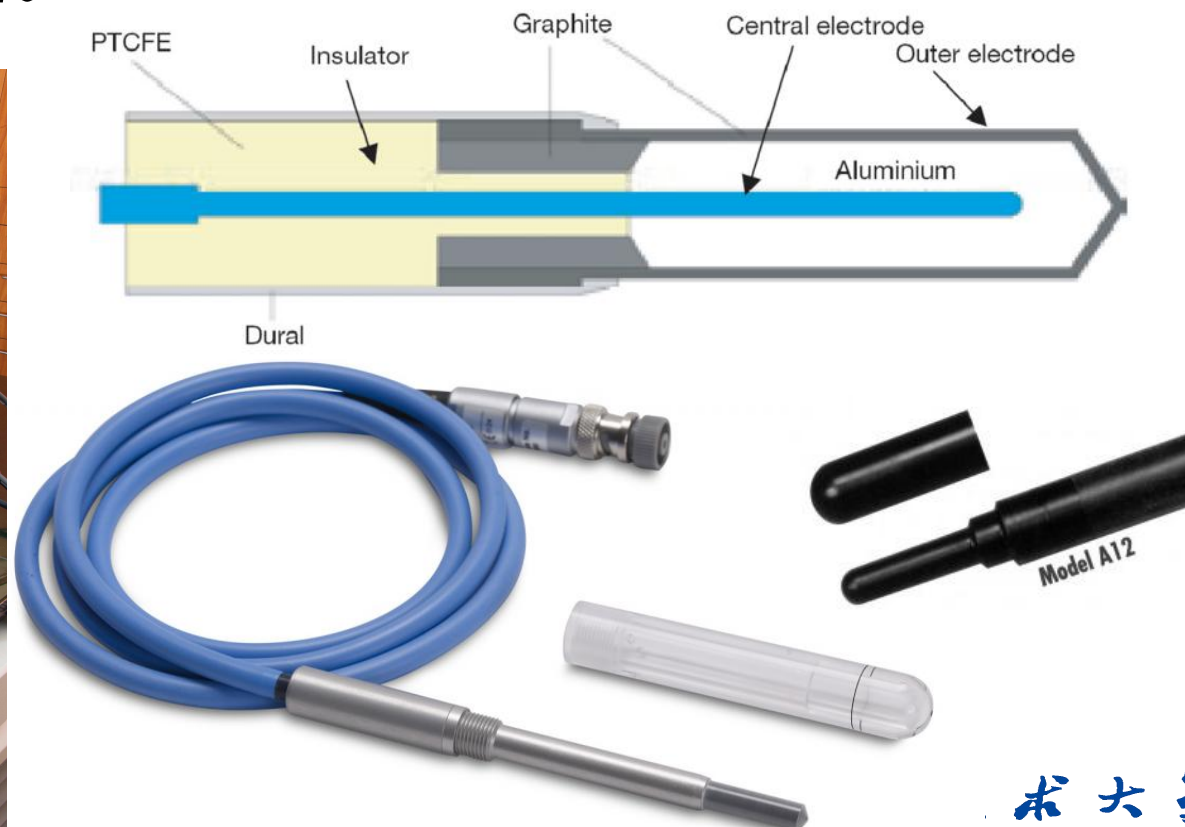
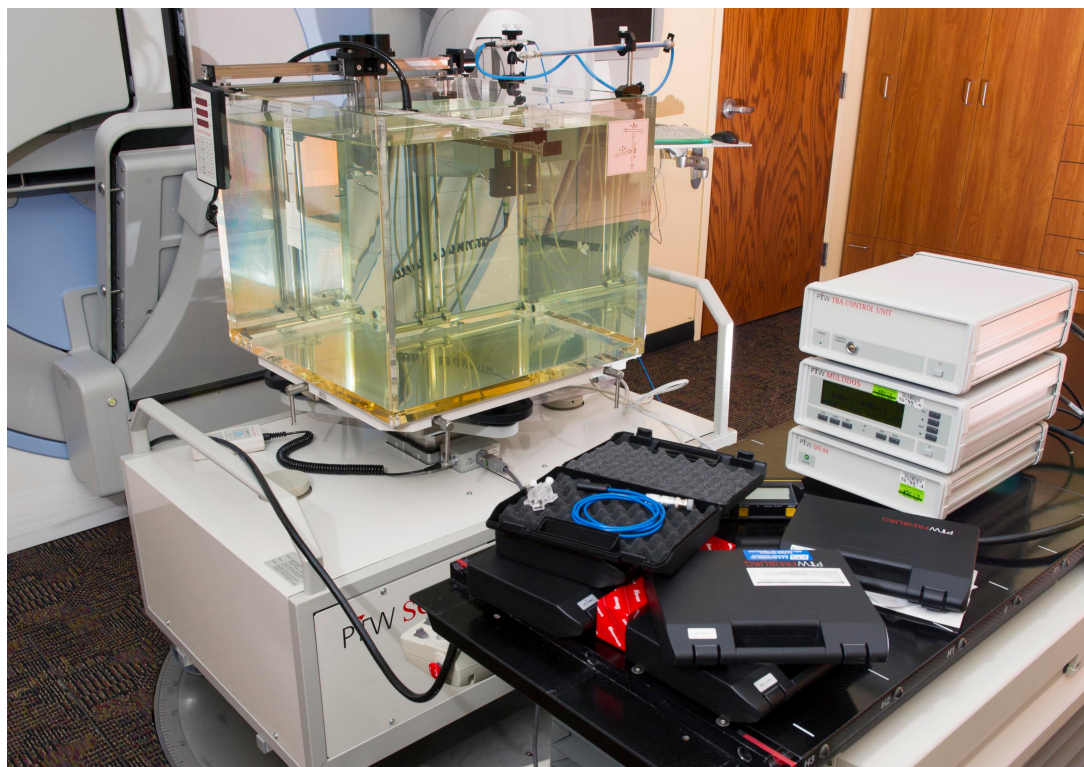
设备运行的监测

- Linac配置放射剂量探测器，实时反馈射束剂量
- 透射式电离室探测器（transmission ion chamber）：面积大，厚度薄，既能覆盖整个射束，又要减少对射束的衰减



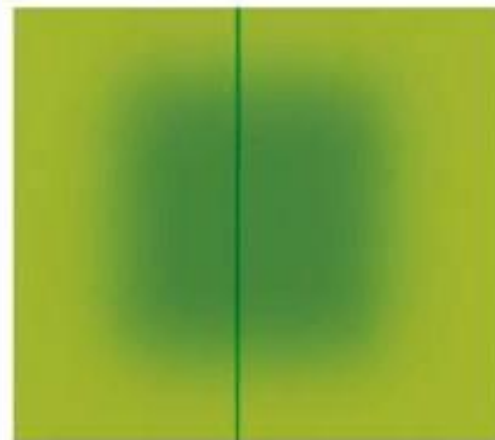
设备的验收和标定

- 设备使用前要严格标定加速器出束的剂量，确保测量误差 $<1\%$ 。
- 按照TG51临床用加速器剂量标定方法，剂量测试用Farmer 电离室探测器，在水中完成剂量标定。



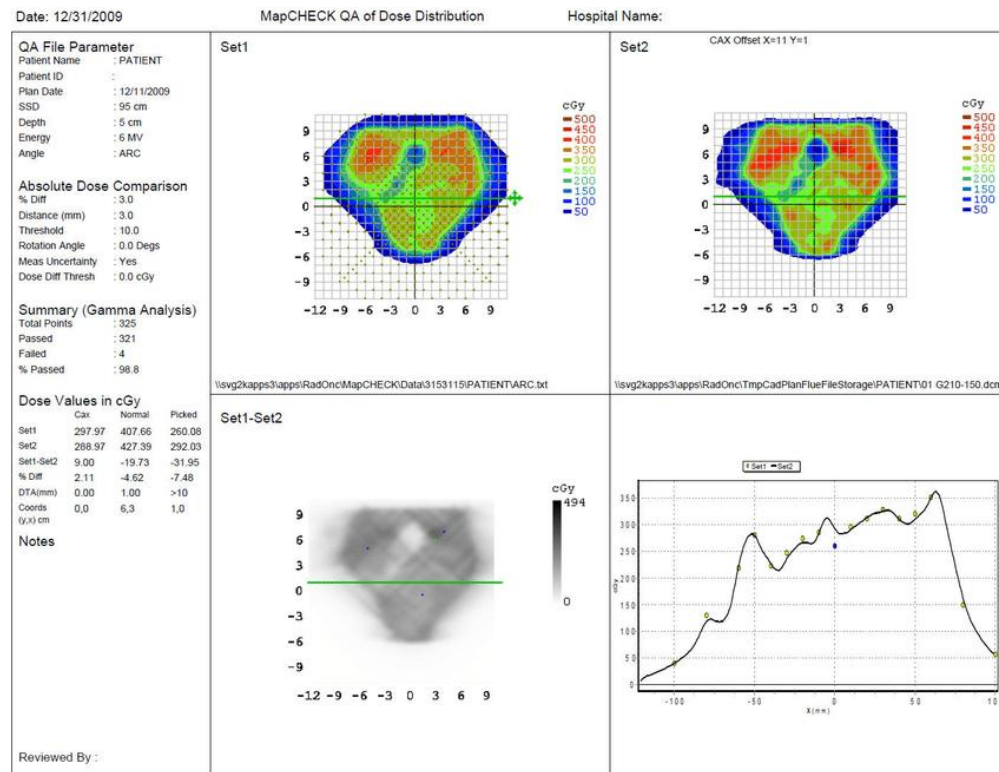
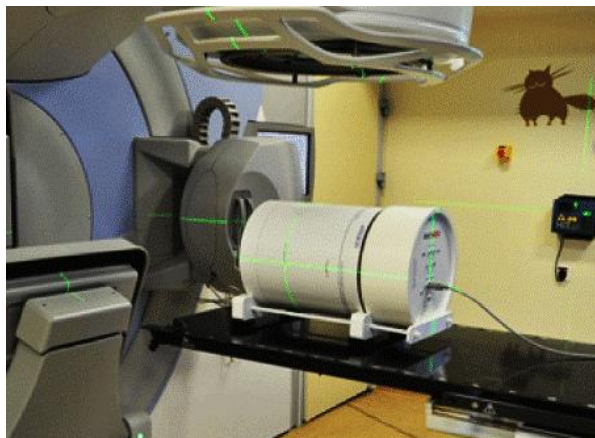
设备的定期检查

- 放射治疗有严格的质量保证（QA）方法和程序
 - 设备的年检、月检、日检
 - 射束的剂量和质量、图像引导、辐射安全
 - 主要探测器包括电离室探测器、半导体探测器阵列、胶片、热释光、盖革计数器等



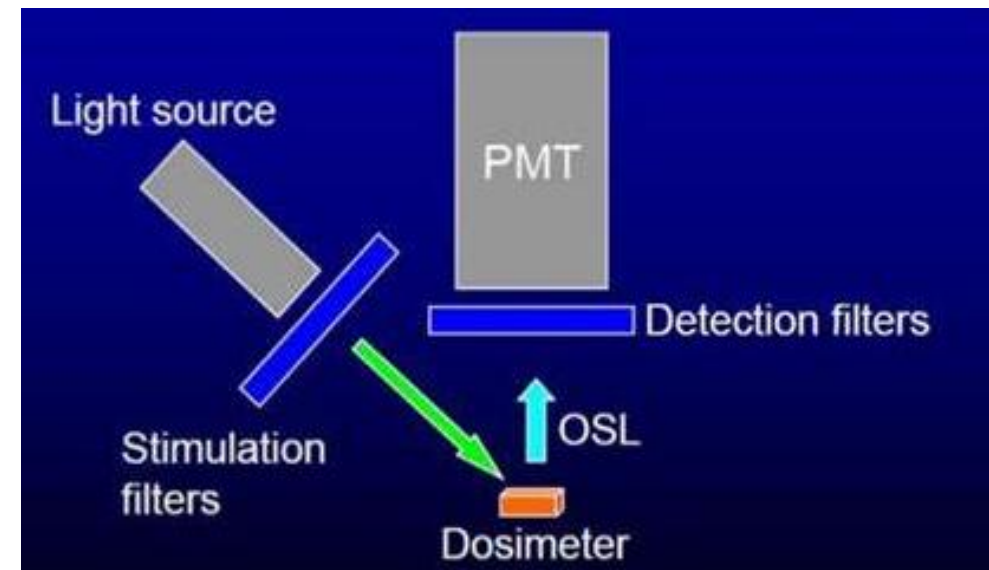
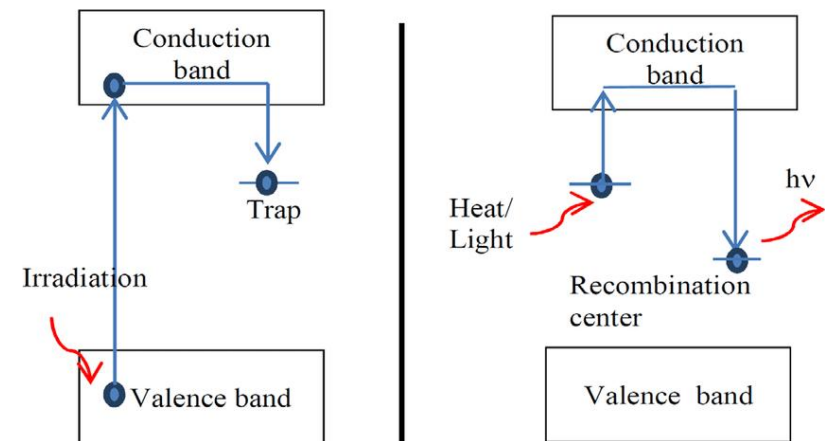
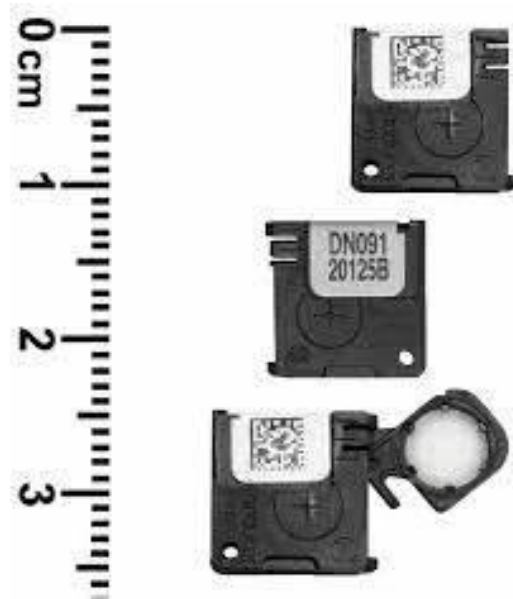
治疗计划的确认

- 患者治疗之前，将治疗计划在装有阵列探测器的体模上提前运行一遍，确保实际递送的剂量分布符合治疗计划的预期



患者剂量的测量

- 实际施照过程中对患者的剂量进行确认
- 需要探测器体积小，易放置于患者表面，剂量可以快速读出，使用OSLD，TLD



主要内容

- 放射治疗及主要流程
- 辐射探测在放疗中的应用
- **新放疗模式对辐射探测的需求**
 - **磁共振加速器**
 - **超高剂量率放疗**
 - **质子重离子治疗**

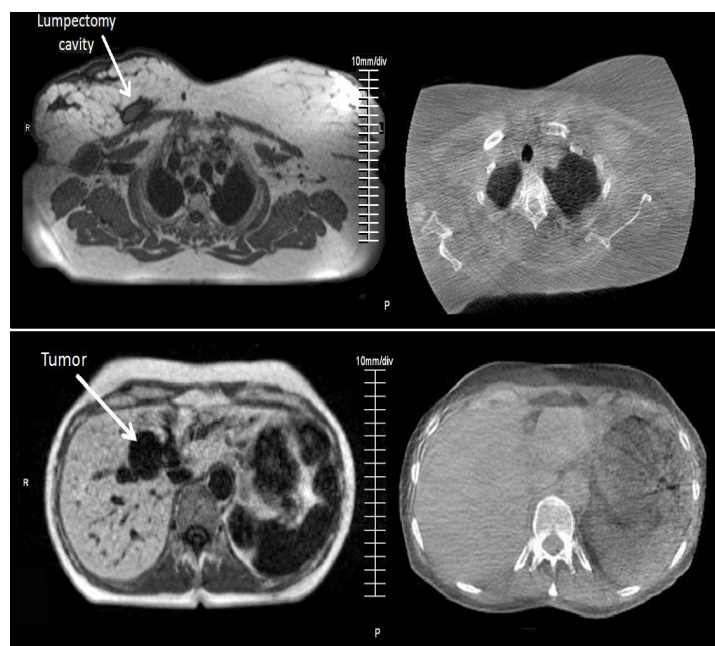


新的放疗模式带来的挑战

■ 磁共振引导放疗加速器

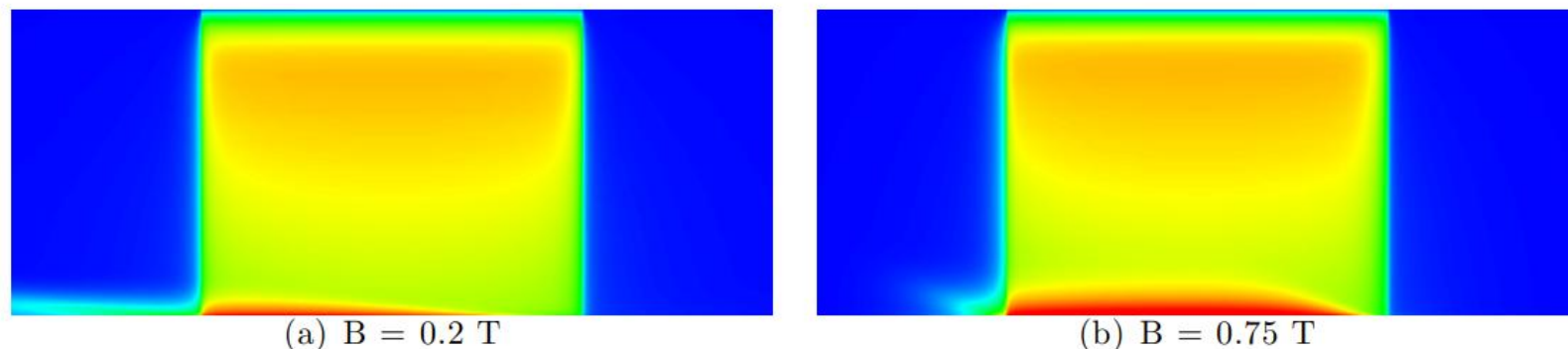
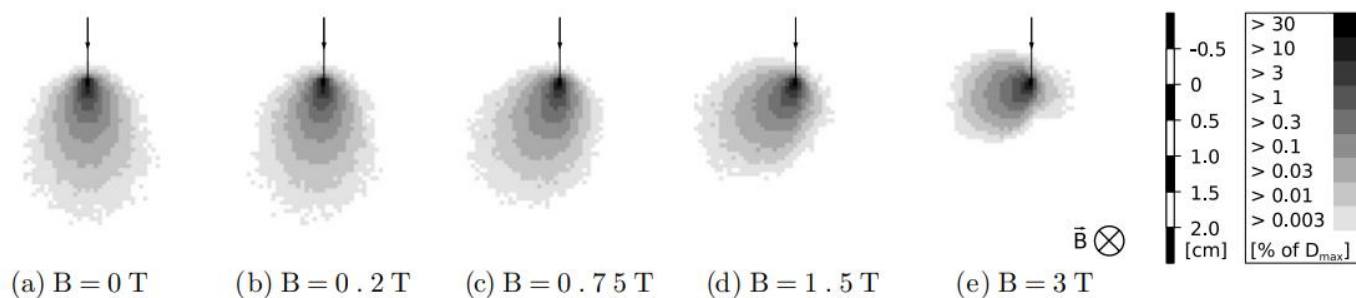
■ 磁共振图像提供了更好的软组织分辨率

■ 磁场影响剂量分布，对辐射探测带来干扰，需要对结果进行校正



0.35T低场MRI

锥形束CT



电离室探测器的磁场校正

- 通用的校正参数不受磁场影响
- 强磁场下读数变大，需要额外的磁场校正参数
- 1.5T 磁场中，读数增加 $4.9 \pm 0.2\%$

无磁场时的读数校正：

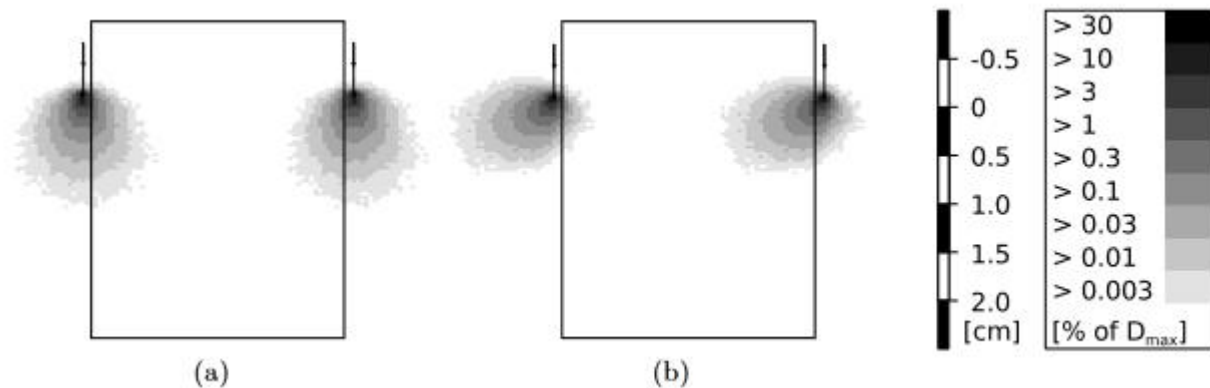
$$M = M_{\text{raw}} \times P_{TP} \times P_{\text{ion}} \times P_{\text{pol}} \times P_{\text{elec}}$$

温度和气压 离子对复合
电压极性 静电计读数

有磁场时的读数校正：

1.5T磁场下校正因子为0.953

$$P_{1.5\text{T}} = \frac{M_{0\text{T}}}{M_{1.5\text{T}}}$$

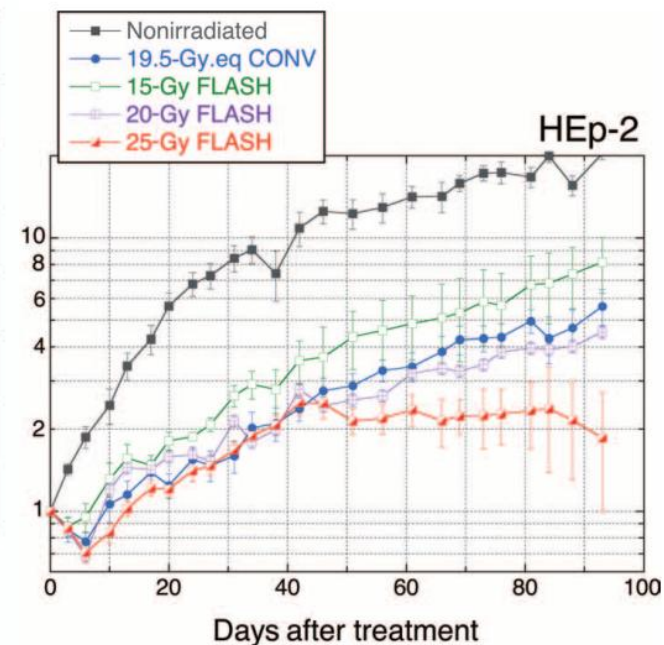
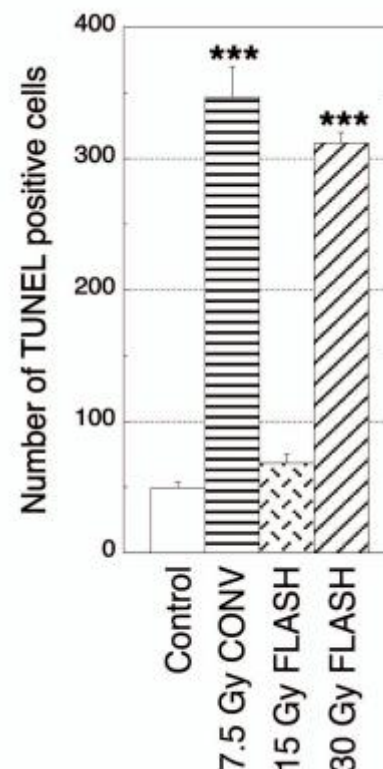
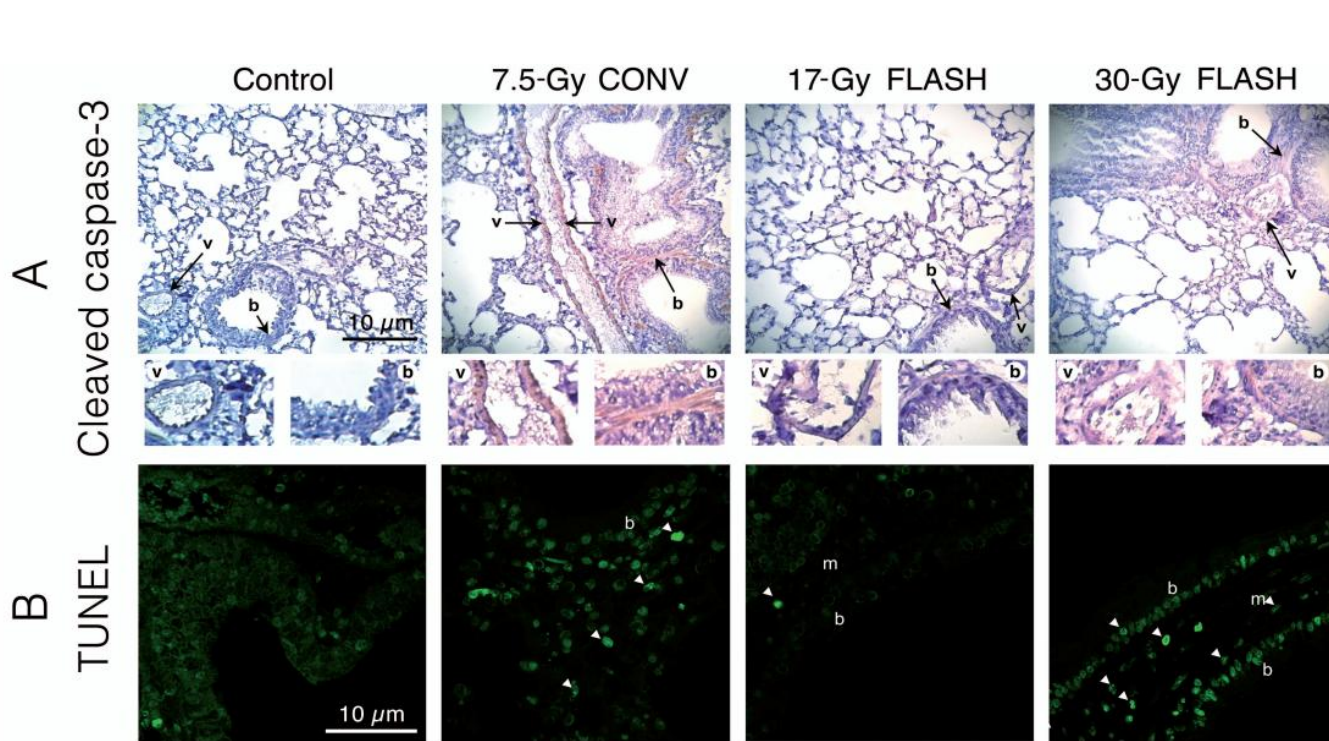


超高剂量率放疗

■FLASH闪疗是传统放疗剂量率的1000倍

■FLASH剂量率 $>40\text{Gy/s}$ ，传统剂量率 $\sim 5\text{Gy/min}$

■研究证明闪疗能大幅降低对正常组织的损伤

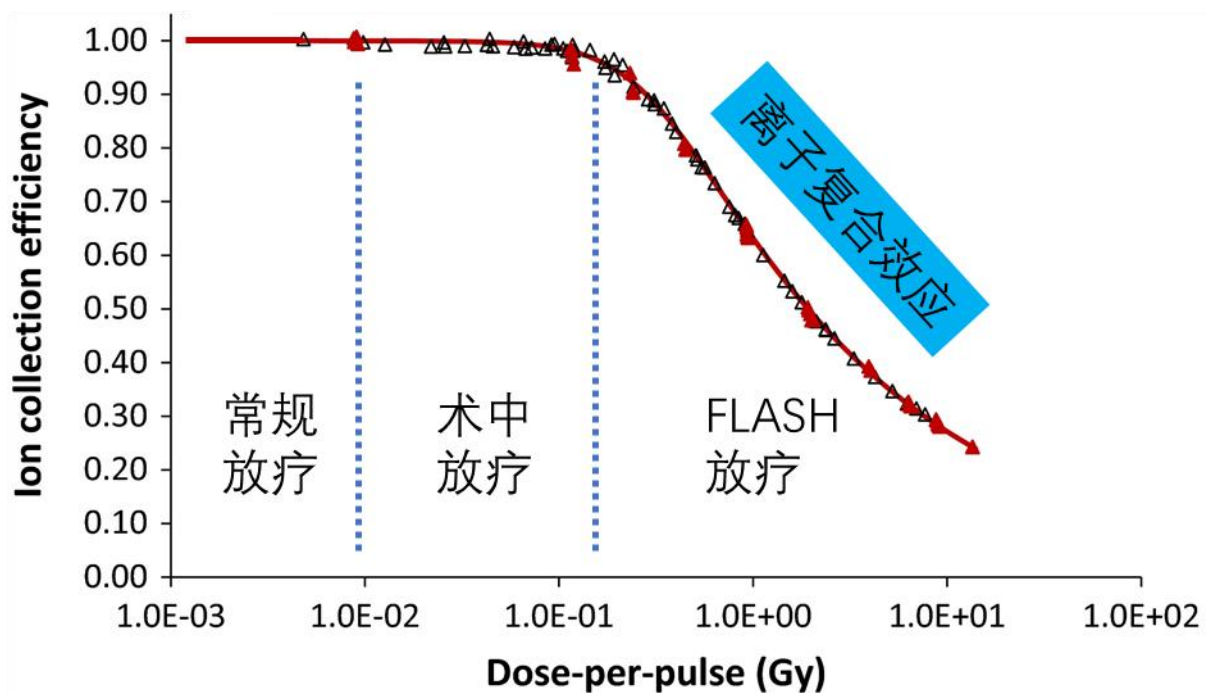


肿瘤体积变化

正常组织损伤

FLASH放疗剂量测量问题

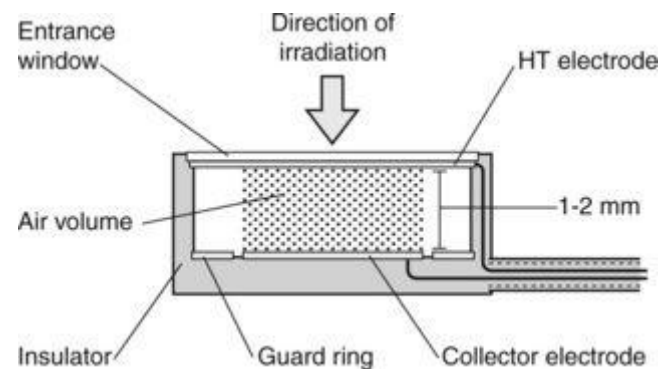
- 极短的时间内产生极多的离子对，导致显著的离子对复合效应
- 超高剂量率下，离子收集效率降低，需要对读数进行校正



Petersson et al. Med Phys. 44 (2017), 1157.

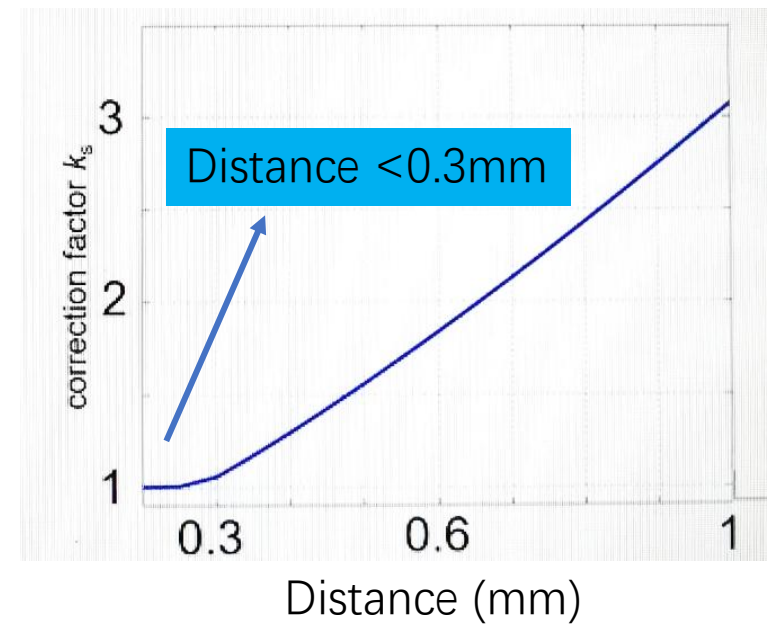
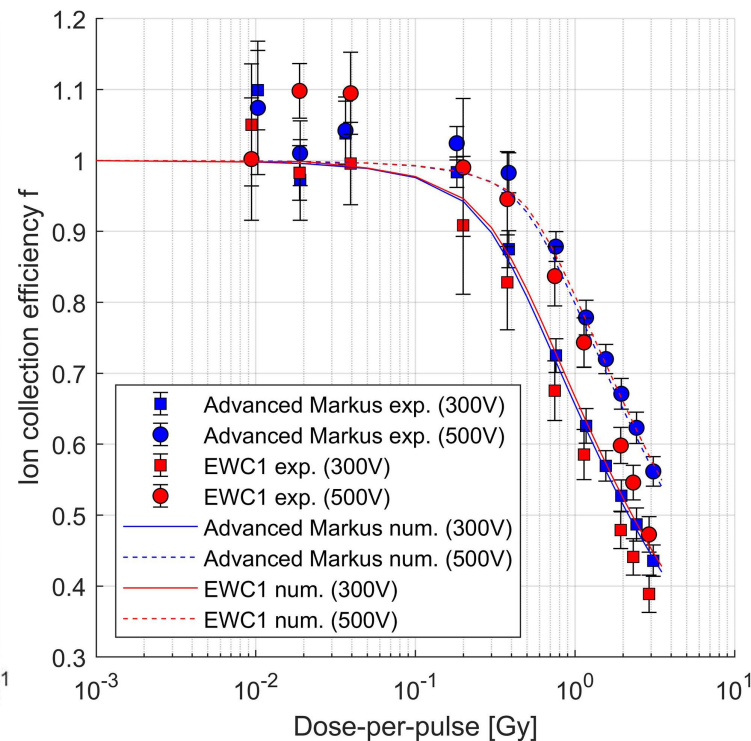
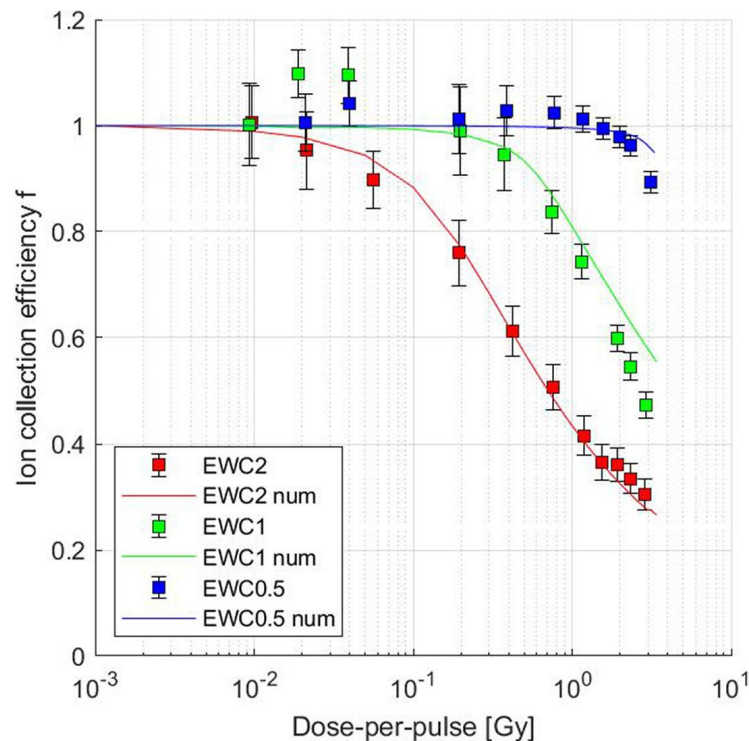


Markus 平行板电离室探测器



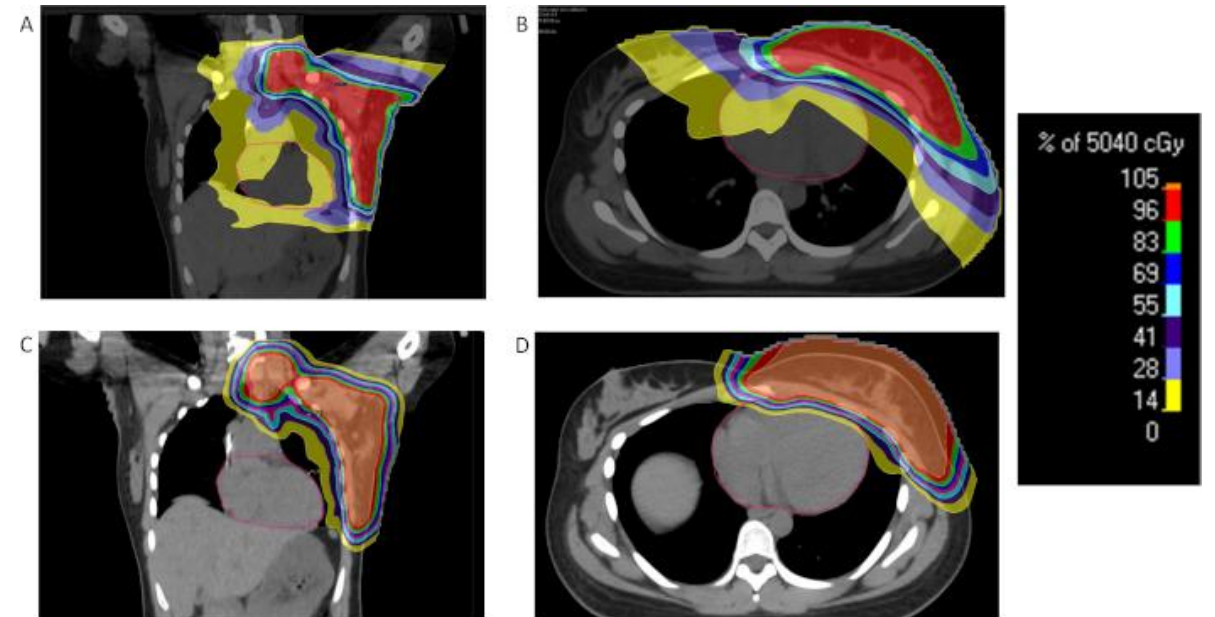
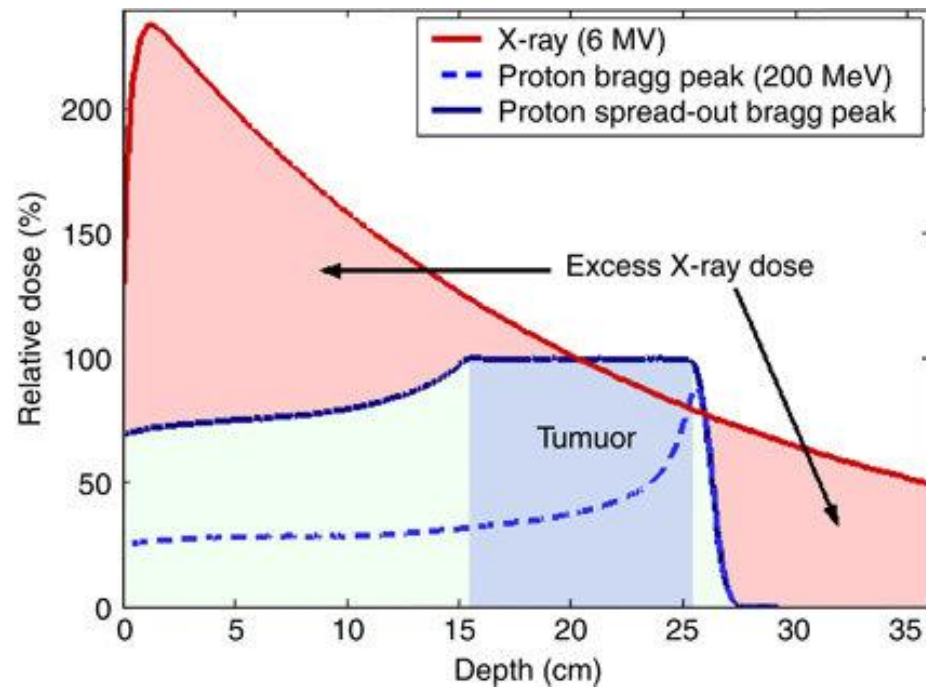
FLASH放疗剂量测量方法

- 需要设计专门的电离室探测器，并优化参数
- 主要优化参数：工作电压（越高越好）、电极间隔（越小越好）



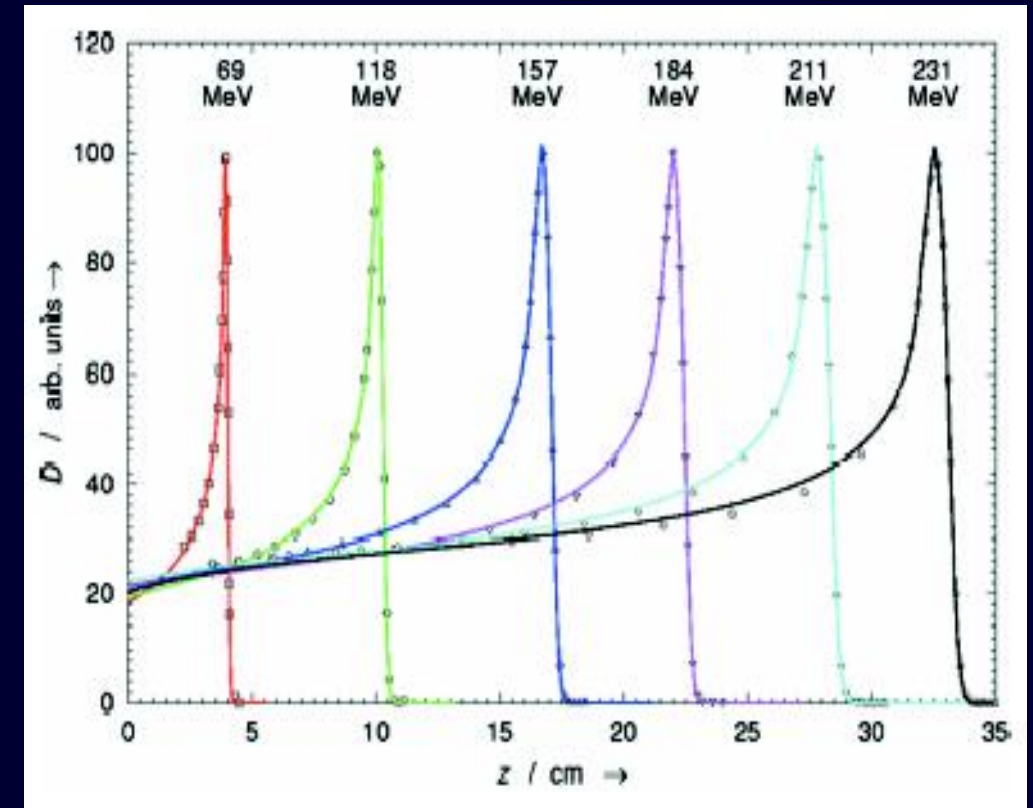
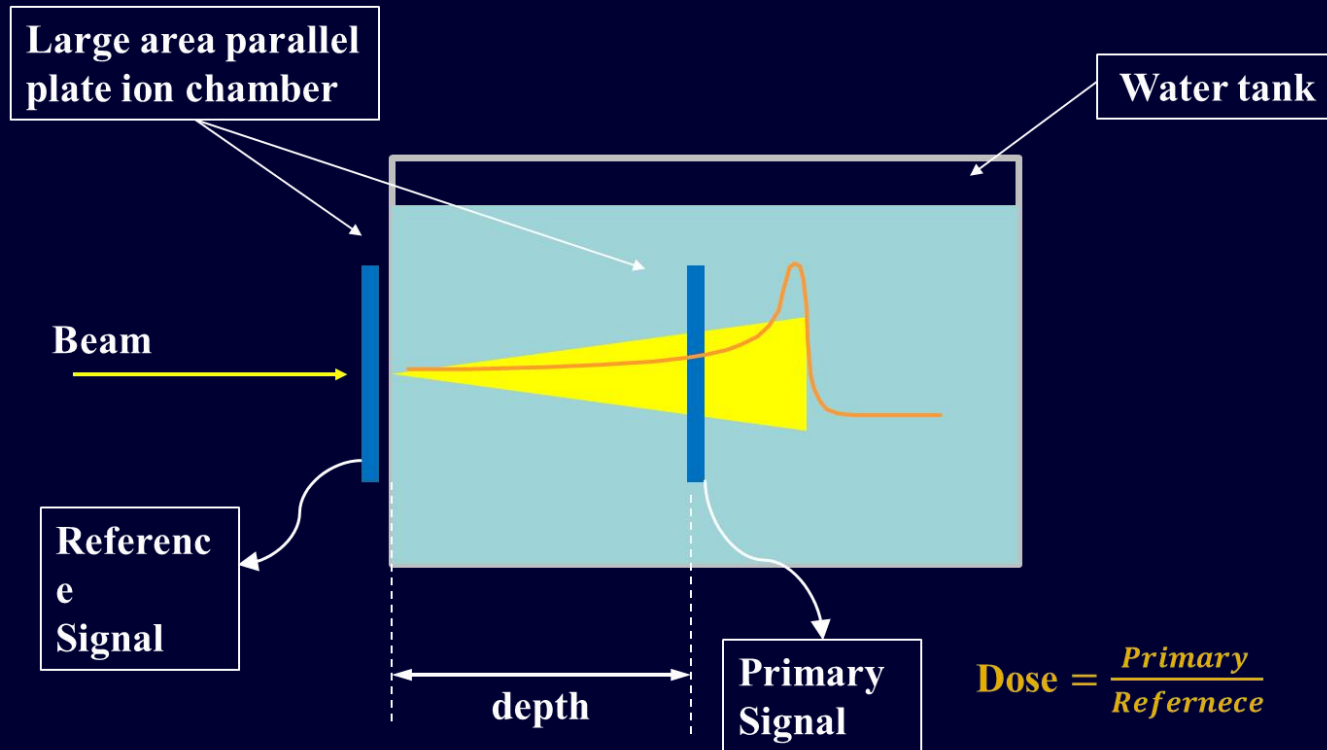
质子重离子放疗

- 质子重离子的主要能量沉积发生在布拉格峰，可以更好地保护健康组织
- 质子重离子治疗主要是沿着入射深度方向调强，剂量测量设备跟光子有所不同



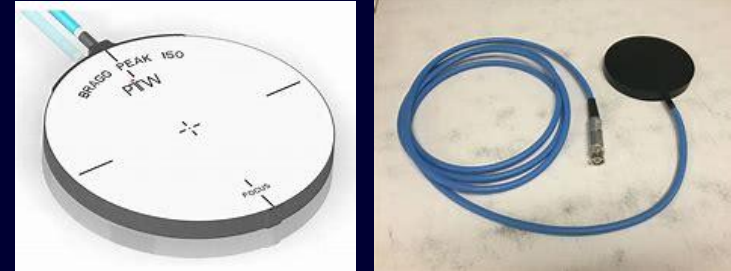
乳腺癌治疗计划对比

1) IDD (Integrated Depth Dose)



Large Area Parallel Plate Chamber

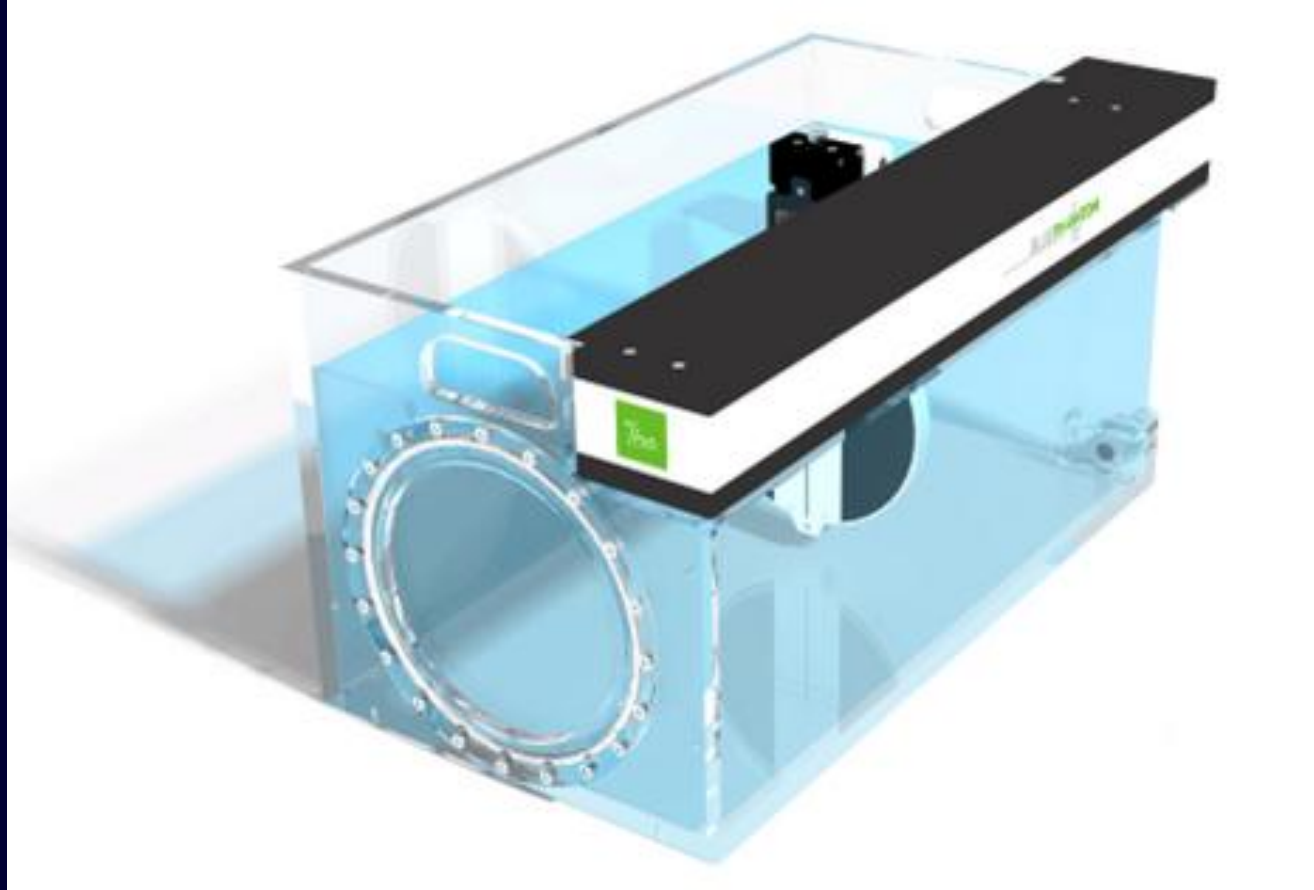
- Bragg peak chamber (PTW)
 - 81.6 mm diameter



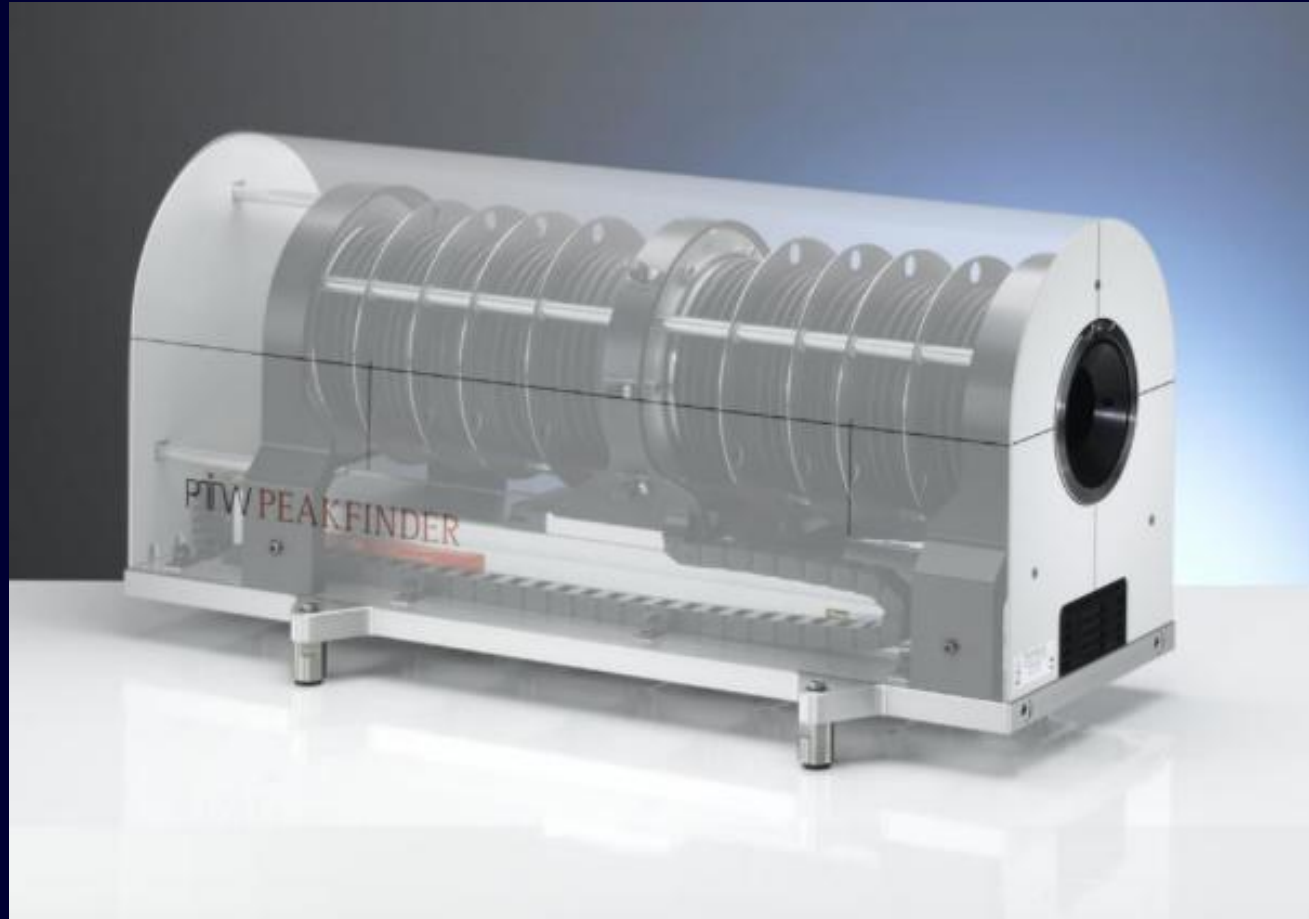
- Stingray (IBA)
 - 120 mm diameter



IBA 1D Water Tank

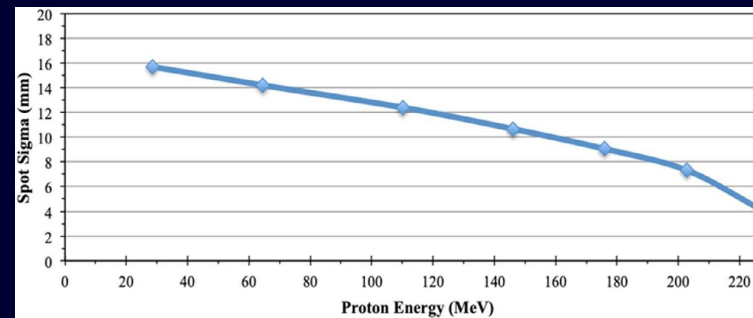
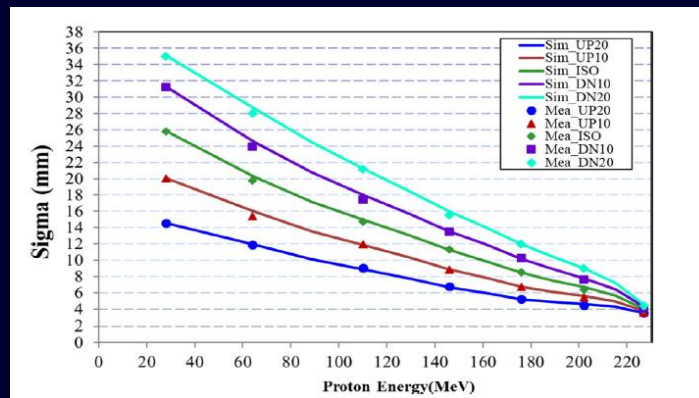
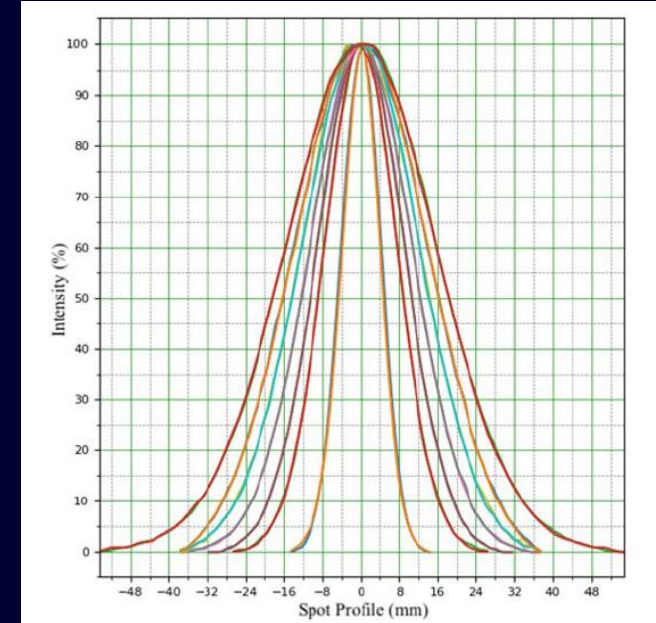


PTW Peak Finder



2) PBS Spot Measurement

- Spot position
- Spot profile
 - Spot size
 - Spot symmetry
- For all energies
- At all gantry angles
- At iso, up/down stream



Lynx or Phoenix (IBA)



Lynx

- Scintillator based
- High resolution
- Mount onto IBA nozzle
- Or tilted to measure 45 and 135 deg



Phoenix

- a:Si panel
- Direct conversion
- 0.2 mm resolution
- Distortion-free

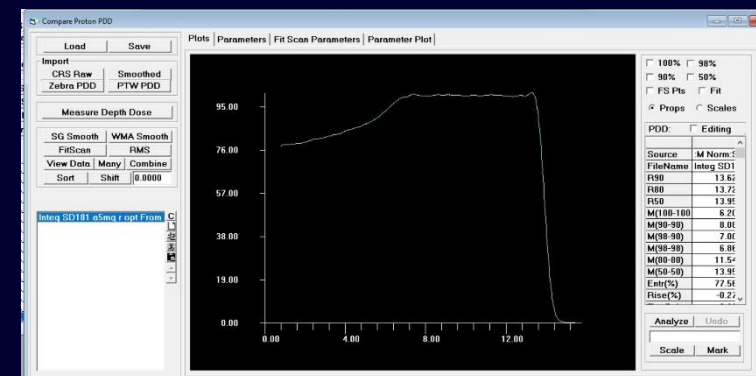
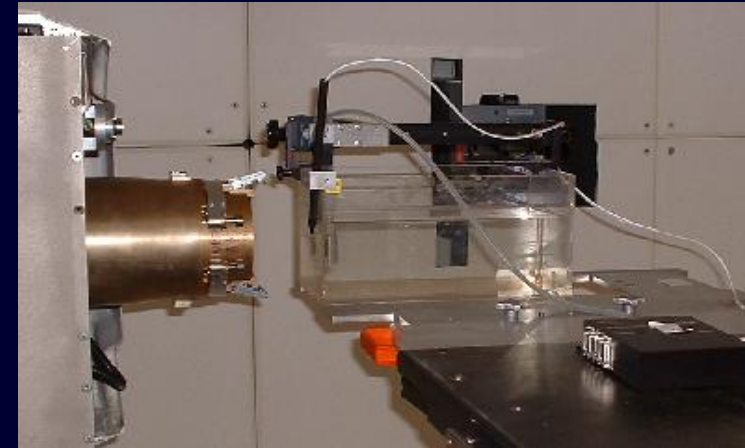
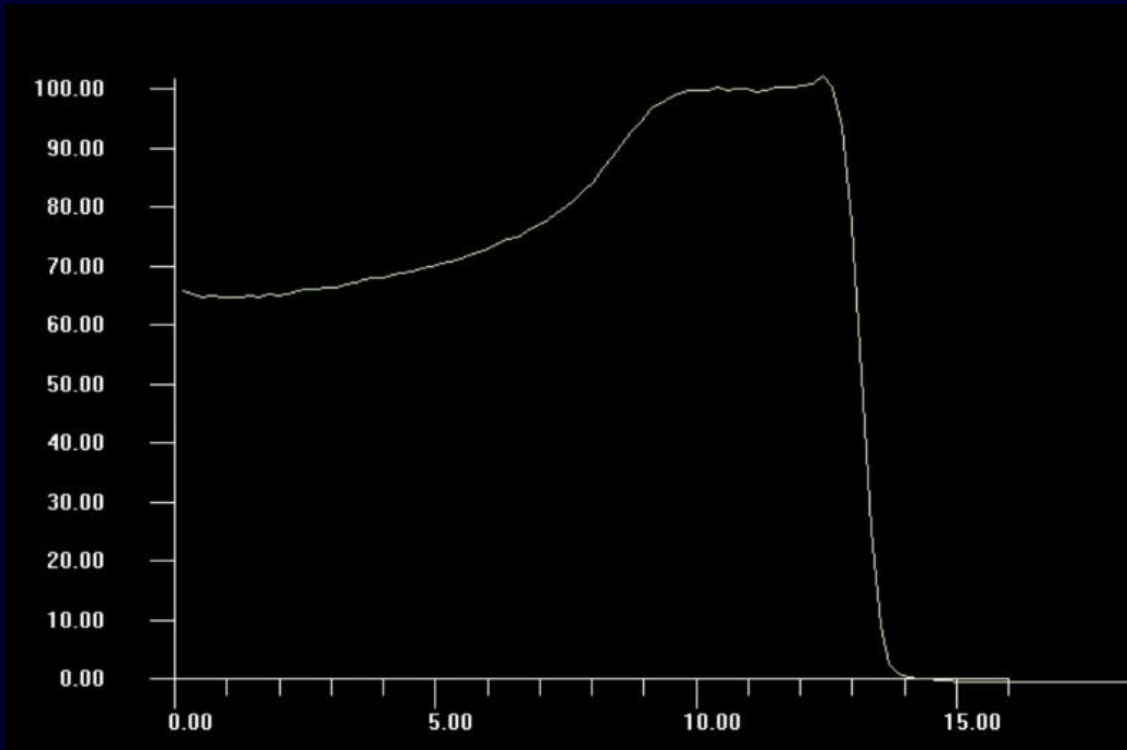
Logos System

XRV-3000 Eagle



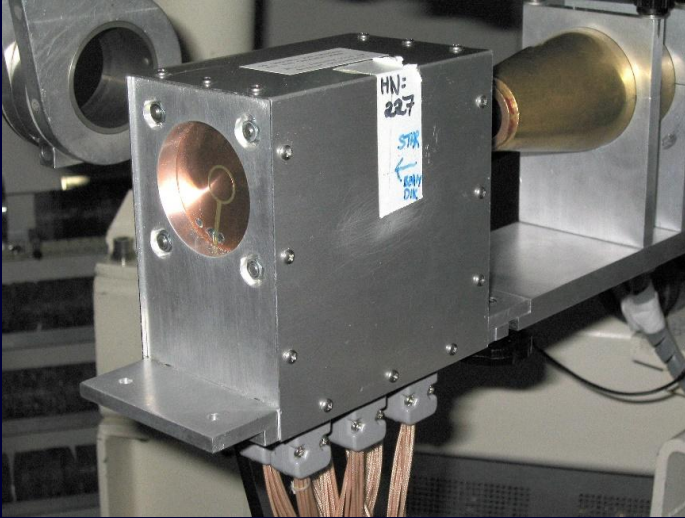
3a) Depth Dose in SOBP

- For scattered beams



3b) For Pencil Beam Scanning

Multilayer Chambers



Prototype

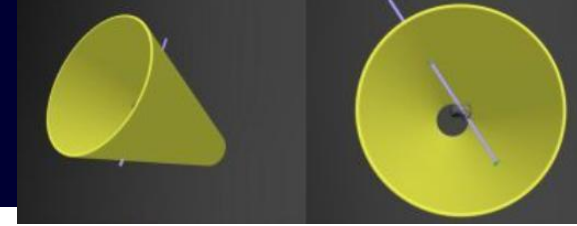


Commercial - Zebra



4) Beam and X-ray Coincidence

Logos Systems



XRV-124 Features and Benefits:

- Real-time Proton and X-ray 3D beam vector and profile capture over 360 degrees of rotation
- 140 mm long field of view
- 4 – 60 mm beam/field widths
- Filmless Winston-Lutz delivery accuracy analysis
- Fast Star Shot pattern gantry wobble analysis
- MLC sliding window analysis
- Captures VMAT deliveries up to 40 minutes



XRV-124 Detector Phantom



5) Plan QA - DigiPhant PT (IBA)



6) Daily QA Device

- Sphnix (IBA)



谢谢聆听！

