

AAPM TG No. 218 解读

雷宏昌

河南省肿瘤医院

中国生物医学工程学会医学物理分会
京津冀冀+放射物理专业组
第十一届全国会议

- 
- ▶ Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA
 - ▶ published 23 March 2018
 - ▶ 基于测量的调强剂量验证的容差限值和方法学

中国生物医学工程学会医学物理分会
京津冀第三次学术会议

- 
- 一、背景和重要性说明
 - 二、剂量差异, DTA, γ 分析和验证方法
 - 三、测量方法回顾
 - 四、绝对剂量验证的方法学回顾
 - 五、回顾IMRT测量和计算一致性报告
 - 六、厂商调查和算法测试
 - 七、基于流程的容差限值和干预限值
 - 八、建议
 - 九、结论
- 中国肿瘤物理学会放疗物理专业组 第二十二次学术会议

一、背景和重要性

- ▶ 国际上适形调强放射治疗的概念最早开始于20世纪90年代
- ▶ 我国在上世纪末开展调强治疗IMRT

调强治疗方式主要分为两个大类，固定野调强和旋转机架调强。

- ▶ 固定野调强包括步进式（静态子野），滑窗（动态）和补偿器等方法。
- ▶ 旋转机架调强包括
 - ▶ 螺旋断层调强 TomoTherapy
 - ▶ 容积旋转调强(VMAT) VARIAN、Elekta

一、背景和重要性

- ▶ 美国医学物理学会 (AAPM), 美国放射学会 (ACR), 美国放射肿瘤学学会 (ASTRO)

强烈推荐特定患者 IMRT QA 作为临床调强实施流程中的一部分, 它涉及到检验IMRT剂量计算的准确性和在放射治疗计划传输中的临床相关差错, 从而保证患者的安全和治疗的准确性。

- ▶ QA方法

- ▶ 基于物理测量
- ▶ 独立计算核查, 总和校验方法及日志文件分析等
- ▶ 特定患者的IMRT QA 的价值在物理师之间任存在争议, 特别是基于计算的验证方法是否能取代物理测量。

AAPM 构建 218 号工作组，如下内容：

- ▶ 回顾关于固定野IMRT、VMAT，螺旋断层放疗技术的测量数据和计算数据之间可达到的一致性的文献和报告。
- ▶ 回顾常规使用的测量方法：所有照射野使用实际治疗参数合成测量，角度归零合成野测量和角度归零分野测量。讨论每种方法的优缺点。
- ▶ 回顾点剂量测量（小平均体积），绝对剂量验证中使用电离室和二维探测器阵列的 1D 和 2D 分析方法，主要进行测量的和计算的剂量分布差别和距离一致性（DTA）比较，还有使用了这两种方法的整合（ γ 方法）。
- ▶ 调查研究剂量偏差/DTA和验证方法的使用情况，以及不同设备厂商的多样性，包括用于 IMRT QA分析方法的参数的选择。

AAPM 构建 218 号工作组：

- 本报告的目的是解决以上这些问题。
- 报告还提供了关于容差限值和测量方法的建议。尤其对不同测量方法进行了回顾和讨论。
- 对剂量偏差/DTA 和 γ 分析方法进行了深入的研究和分析。
- 回顾了不同类型的计划系统和传输系统中测量数据和计算数据之间的预期或者可达到的一致性。
- 介绍了 TG-218 开发的测试例在调节好的条件下来评价厂商剂量对比软件的结果。
- 提出了使用 γ 分析方法和如何选择确定容差限值的一些建议。

IMRT计划和传输过程中的不确定性

治疗计划方面

MLC 叶片端效应
MLC 凹凸槽效应
叶片/准直器透射因子
准直器/叶片半影
补偿器系统
小野输出因子
治疗头后散射和离轴比
剂量计算网格尺寸
非均匀修正精确的IMRT
精确TPS射束建模

传输方面

MLC 叶片位置误差
MLC 叶片加速度/减速度
机架旋转稳定性
治疗床移动稳定性
射束稳定性 (平坦度, 对称性,
输出因子, 剂量率, 小跳数子野)
治疗机头设计
加速器的使用时间

其他

读取QA结果的测量
和分析工具 (参数选择)



干预 限值

在对患者没有伤害风险的前提下质控测量允许的偏差量，以及确定可以实施临床治疗的限值

容差 限值

整个治疗流程都是在正常的运行范围之内，只受随机误差的影响。

应对超出容差限值的测量结果进行分析研究来判定造成这种结果的原因是否可以确定和进行修正。

这个方法的目的在是还没达到临床不可接受的阈值或者实施限值之前解决这些问题。

二、剂量差异，DTA， γ 分析和验证方法

- ▶ 剂量分布几乎都是呈点阵方式呈现的，每个点对应一个位置和一个剂量值。这些点之间的间距就是分布的空间分辨率，剂量值在所有空间分布和位置上它不一定相同。剂量分布的空间分辨率在现实评估过程中是非常重要的。粗糙的分辨率会拉低一些对比技术的水平，所以需要插值。
- ▶ 剂量对比技术会假定两种分布，
 - ▶ 参考剂量
 - ▶ 评估剂量
- ▶ 参考分布通常是用来和评估分布进行比较

二、剂量差异, DTA, γ 分析和验证方法

- ▶ 剂量比较过程是临床工作流程中的一部分。它的目标是确定参考剂量分布和评估剂量分布的差别是否一致满足临床要求的限值。临床相关问题不仅考虑剂量本身, 它还涉及剂量梯度和空间不确定性导致的剂量差错。
- ▶ 剂量差别
- ▶ 剂量偏差的空间考虑 DTA, 两种剂量分布一致性的距离

二、剂量差异, DTA, γ 分析和验证方法

- ▶ 剂量分布比较
- ▶ 一个直接比较方法就是比较它们的数值差异。
- ▶ 在剂量梯度大的区域, 剂量偏差对空间位置是非常敏感的。这种敏感性会导致大的剂量差异, 即使对于临床无关的空间错位, 也容易超过剂量偏差的标准。
- ▶ 比较剂量分布的常用方法是叠加他们的剂量曲线
- ▶ 如果分布具有很好的一致性, 等剂量线就会重叠, 反之就不重叠, 此时等剂量线会分开。分离距离由两个因素局定: 剂量的偏差和局部剂量梯度。
- ▶ 当梯度很大(很陡峭)的时候, 等剂量线会随着剂量缓慢移动, 以至于很大的剂量偏差只是对应于小的剂量线分离。因此, 比较陡峭剂量梯度区域中的等剂量线对剂量偏差几乎没有提供任何有效的帮助, 因为明显的等剂量线移动需要非常大的剂量偏差。另一方面, 在低剂量区域即使小的剂量偏差也会导致等剂量线移动很远

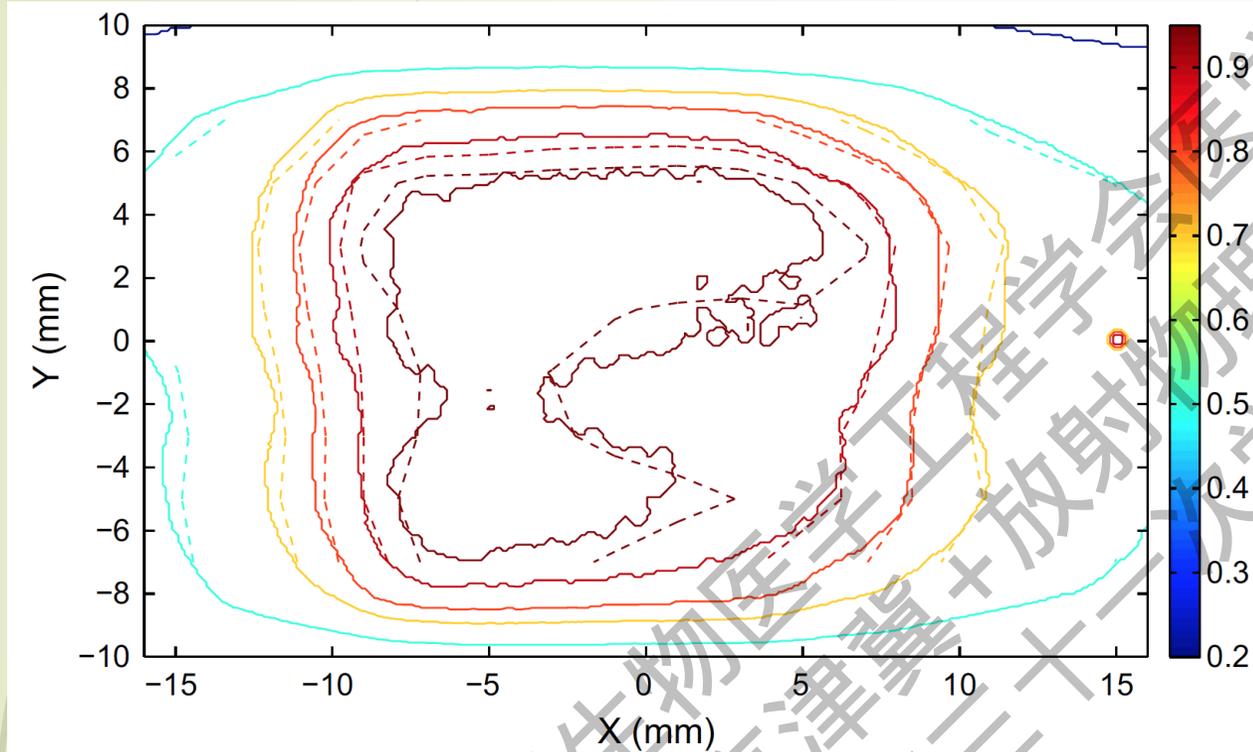


图1. 两次剂量测量等剂量线的叠加，实线表示的是辐射变色胶片的测量结果，虚线是固体填充电离室等测量数据。图片来自于Brulla-Gonzalez⁴⁶。图中显示了20%，50%，70%，80%，90%和95%的等剂量线。

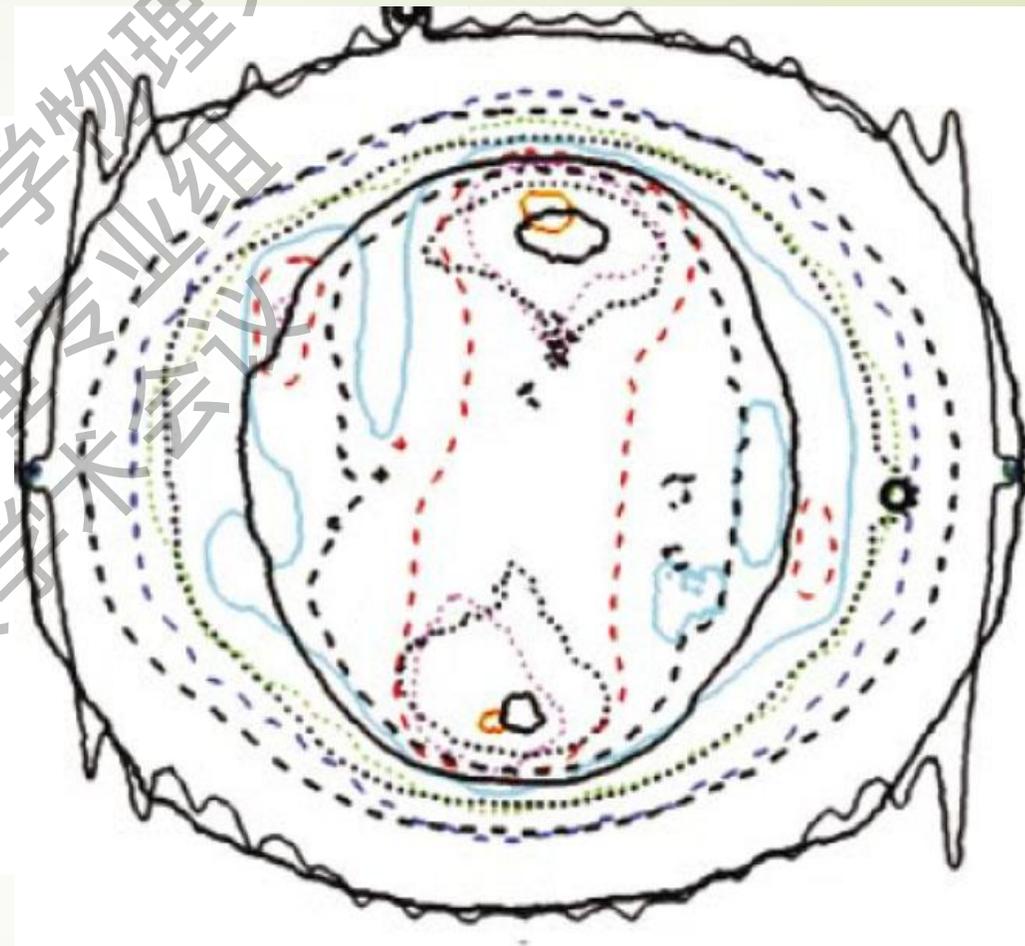
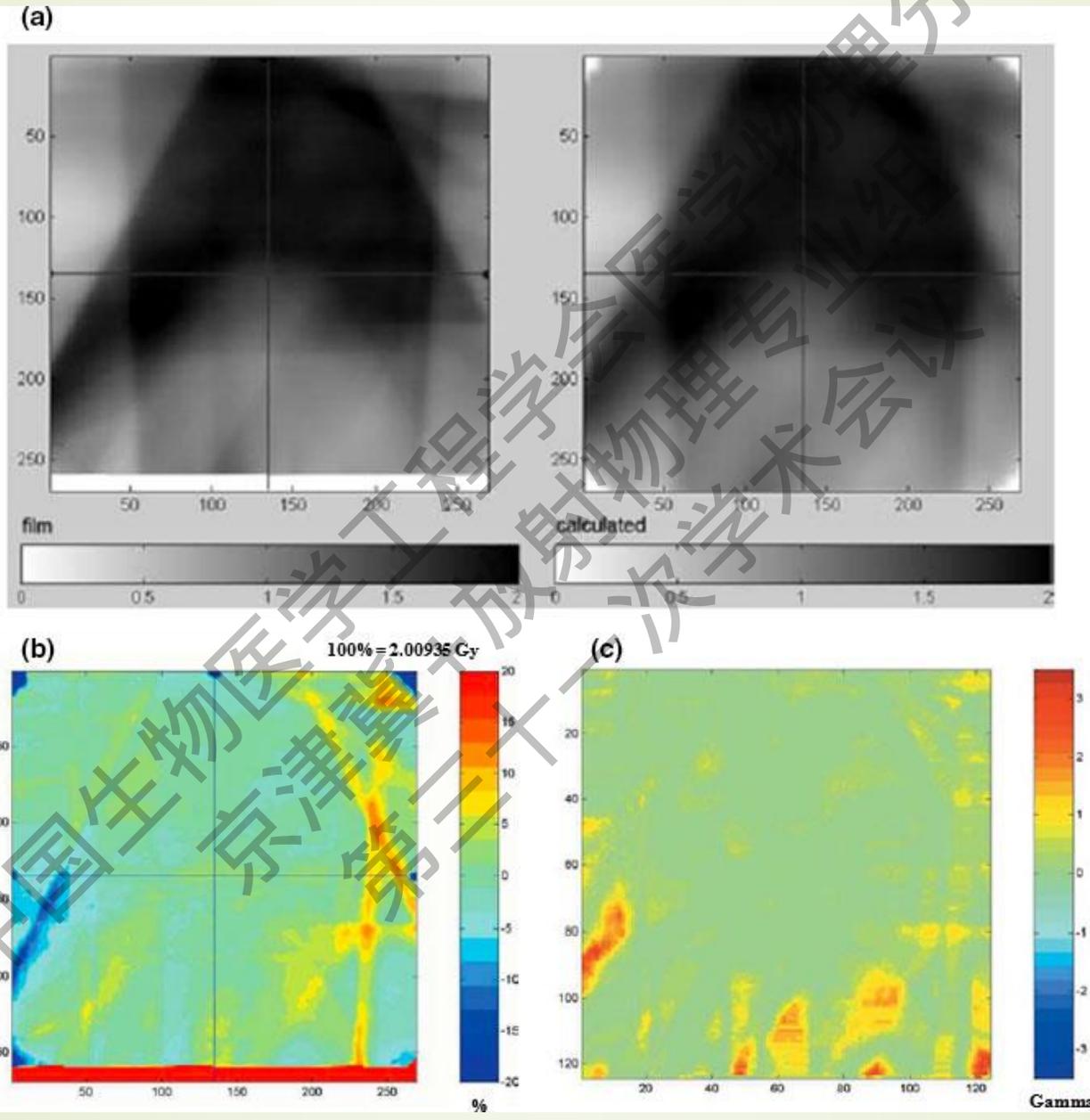


图2. 两种不同剂量分布的等剂量线分布的叠加。我们可以清晰的看出两种分布具有不一致性，但是在这个类型的图上我们无法使用肉眼来定量估计两者的差别。

- ▶ 剂量分布比较的一个更具挑战性的方面是
- ▶ 具有不同几何形状的体模导致体模剂量和患者剂量之间的差异。对应于评估计划剂量精确性测量方面，这个对比标准理想情况应基于临床器官之间的耐受量。
- ▶ 肿瘤剂量 3% 肌肉组织 10%
- ▶ 脊髓 2mm 皮肤 5mm

剂量偏差测试

- 在位置 (\underline{r}) 处，评估剂量 $D_e(\underline{r})$ 和参考剂量 $D_r(\underline{r})$ 的数值差为 d 。数学上，两种剂量的差可以表示为：
- $$d(\underline{r}) = D_e(\underline{r}) - D_r(\underline{r})$$
- 在低剂量梯度区，剂量偏差能够很好的提供剂量一致性的评估
- 在剂量梯度陡峭的区域，即使存在较大的剂量误差，也只是导致非常短距离的改变



DTA测试

- ▶ Van Dyk等人把距离一致性（DTA）的概念用于治疗计划QA，强调两个剂量分布的距离标准而不应是剂量偏差，作为在剂量梯度陡峭区域的评估标准。
- ▶ 他们将DTA定义为在参考分布与评估分布相同剂量的最接近的点。不同于剂量偏差测试，这个算法需要搜索评估剂量的分布来找到与参考分布有相同剂量点的最短距离，等效与找到评估剂量分布中等剂量线的最短距离
- ▶ DTA评估是来确定剂量梯度陡峭区域的差别的理想方法
- ▶ 低剂量区域的评估 过于敏感
- ▶ DTA测试需要进行搜索，其结果对于哪个分布作为参考的选择不是不变的，对参考分布和评估分布的分辨率和维数也有影响

综合测试

- ▶ 鉴于剂量偏差和DTA测试是对低剂量梯度区域和陡峭剂量梯度区域的敏感性是互补的，将两者结合起来是有意义的，可以确定参考点是否已通过剂量偏差和DTA测试。
- ▶ 如果通过了剂量偏差测试或者DTA测试，就可以认为这个参考点是通过的，这称为综合测试。这是一种过关测试。

γ 评估

- 由于综合测试缺乏对不通过点的定量分析，Low等人发展了γ 评估方法
- 为了可以进行测量，剂量和距离需要分别除以剂量标准 (D) 和DTA (d) 标准得到新归一化的无量纲的数据

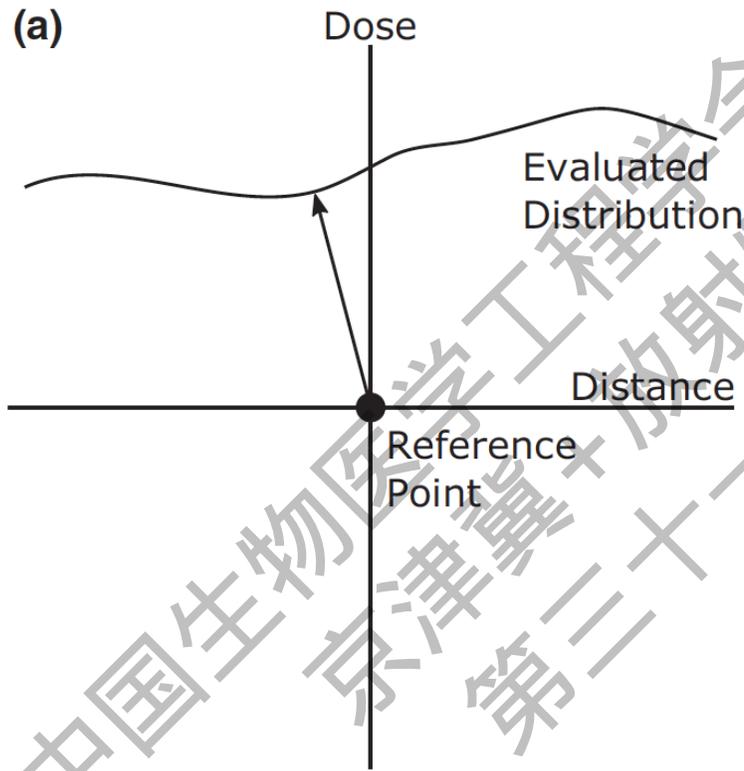
$$G(r_e, r_r) = \sqrt{\frac{r^2(r_e, r_r)}{Dd^2} + \frac{d^2(r_e, r_r)}{DD^2}}$$

- r_r 和 r_e 分别为参考分布和评估分布的位置，在新归一化空间上两个点的距离为
- $\Gamma(r_e, r_r)$, $r(r_e, r_r)$ 是参考点和评估点之间的距离, $\delta(r_e, r_r)$ 是剂量差。最小的位移被定义为 γ

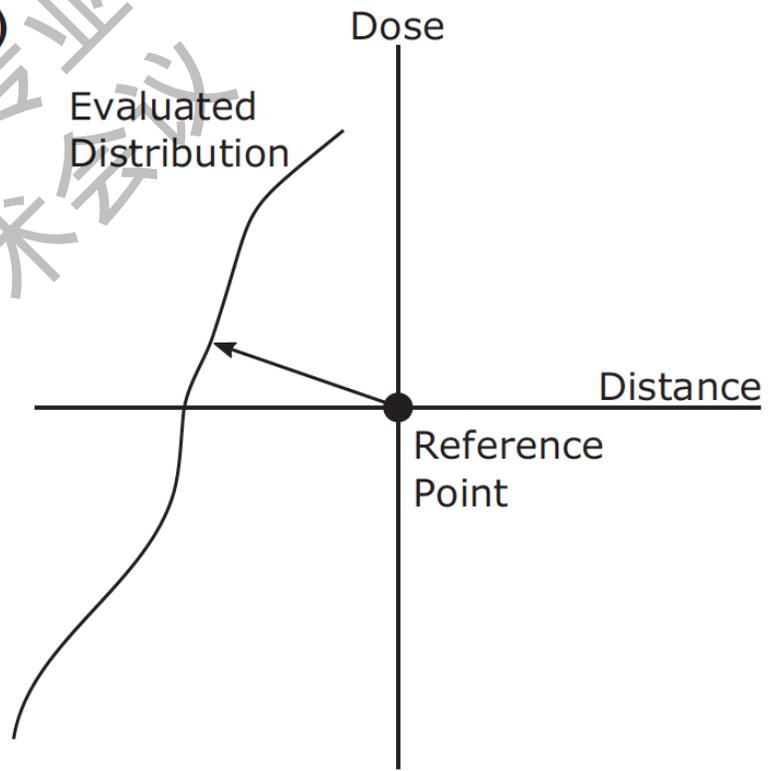
$$g(r_r) = \min \left\{ G(r_e, r_r) \mid \{r_e\} \right\}$$

- γ 值在0和1之间，这表示基于剂量和距离标准的比较结果是通过的，值大于1表示未通过。

(a)



(b)



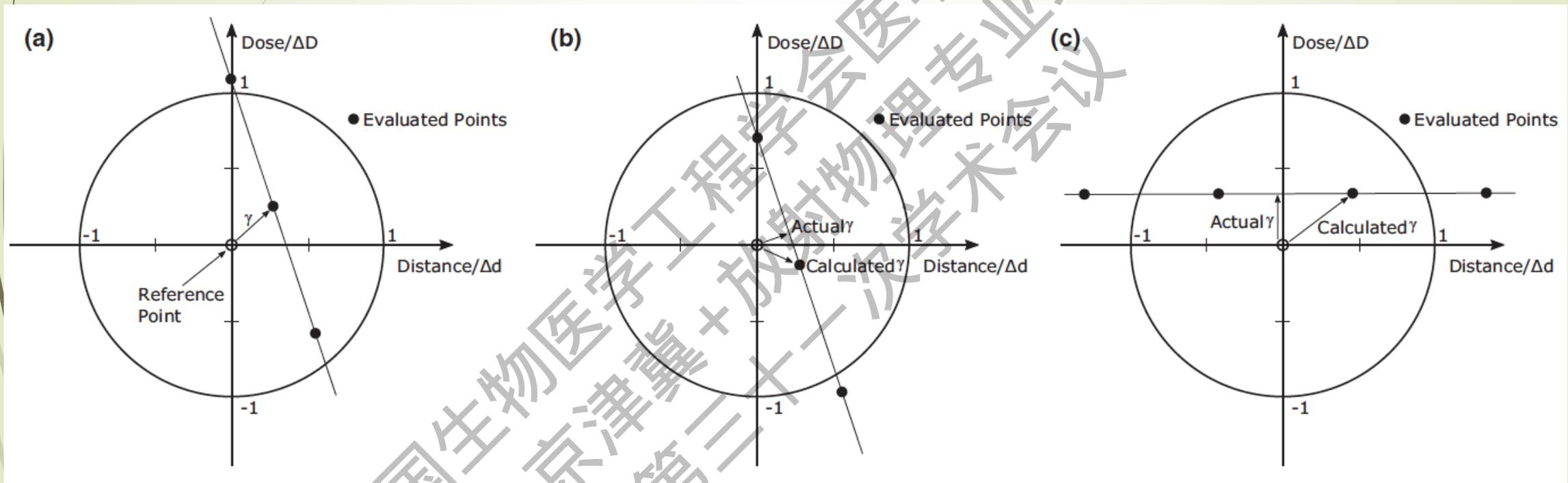
中国生物医学工程学会医学物理分会
天津第十一次学术年会

其他评估工具

- Moran等人开发了梯度补偿方法
- Childress和Rosen定义了归一化一致性测试 (NAT) 值和NAT指数
- Bakai等人开发了一种基于梯度依赖的局部接受阈值的剂量分布比较工具。得到剂量分布比较工具 C 。

实际考虑

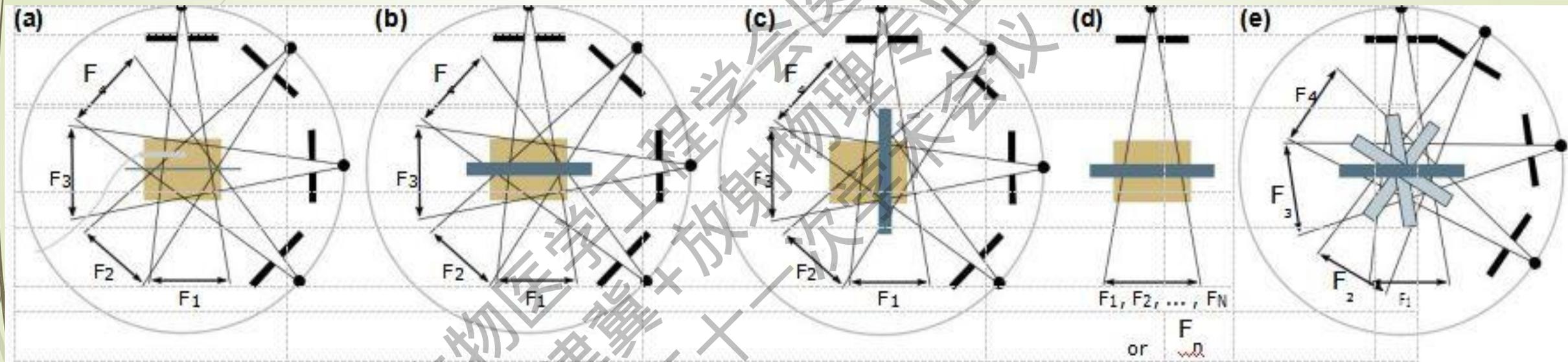
- ▶ γ 工具的用户应该详细了解其性能。虽然计算的机制相对简单，但有些操作细节会降低其有效性和准确性
- ▶ 归一化
- ▶ 分辨率
- ▶ 说明，使用 γ 直方图，同时 (a) γ 统计数据应按结构基础提供，(b) 应当分析 γ 分布，而不是仅仅依靠直接统计评估，如 γ 直方图。



当评估剂量分布空间分辨率相对DTA标准较宽松时 γ 计算误差的例子

三、测量方法回顾

- (a) 实际射野合成测量
true composite (TC),
- (b) 逐个归零单野测量
perpendicular field-by_field (PFF),
- (c) 归零野复合测量
perpendicular composite (PC)



a、TC b、TC c、TC d、PFF PC e、PFF PC

TC方法:使用病人真实的治疗参数，射野投递到治疗床上的固定测量设备或模体上，包括MU数，机架，小机头，床角，铅门和MLC叶片位置。

- ▶ **主要优点:**
- ▶ 第一，测量包括机架，小机头，治疗床角度误差，和有机架角时的叶片位置的误差（重力影响），及治疗床的衰减
- ▶ 第二，产生的平面剂量分布与投递到病人的剂量非常接近，因此在相同层面的高剂量区域和危及器官的关系可以评估
- ▶ 第三，只需分析一个剂量图像（感兴趣区域的每一层）

- ▶ **主要缺点**是许多射野的某些部分可能不穿过胶片或探测器平面。特别是当胶片/探测器平面是横断面，只通过一对MLC叶片进行照射时。

PFF方法：所有射野机架固定成0度，小机头为实际角度

- ▶ 优点：在于它对每个野的每个部分进行采样，因为每个IMRT野的剂量被分别投递和分析。逐野分析可能会揭示一些微小的投递错误。
- ▶ 它防止在复合测量几何形状中可能发生的剂量冲抵。当射野的某一部分中的某些区域中的剂量不足时，可以通过另一个射野在相同区域中增加的剂量来补偿，

PC方法：对所有归零射野的剂量进行叠加，得到单幅剂量图像用于分析

- **优点**：每个射野的所有部分都包含在单个图像中。如果每个射野的剂量图像是单独采集然后再加在一起，则可以使用EPID。使用EPID获取VMAT的集成图像被认为是PC测量法。
- **缺点**：该方法可能掩盖一些剂量投递误差，例如散射区域中的那些，并且复合物内任何一个射野的剂量误差都可能被其他射野剂量的叠加模糊。

- 
- 很难选择一种方法作为IMRT QA的临床优选方法。
 - PC方法具有明显的缺点，即由于叠加可能掩盖错误

四.绝对剂量验证的方法回顾

许多技术可用于绝对剂量验证。

- ▶ **单点测量**（例如使用单个IC获得的那些）可以被认为是零维度的剂量分布。
- ▶ **2D方法**: 胶片，二极管阵列，空腔阵列和EPID提供2D分布。
- ▶ **3D方法**: 凝胶和其他3D剂量计内测量3D剂量分布。

参考AAPM TG-120报告，AAPM TG-69报告

单点测量

- 腔室容积可在0.007至0.6cc之间变化，并且必须充分考虑泄漏电流.
- 腔室应放置在剂量均匀的区域，并应具有足够的空间分辨率。剂量差别应该在平均室腔剂量的5%以内
- 临床上有显著意义的剂量应测量，例如PTV或OAR区域中的剂量



➤ 2D方法

- 包括电离室阵列，二极管阵列，EPID和胶片
- 既能够测量相对剂量分布，又能测量绝对剂量，但需要严格的校对程序
- Film用于绝对测量比对程序繁琐，也可能带来误差



► 3D方法

- 3D凝胶和PRESSAGE剂量计，用于提供TC测量
- 一些新开发的具有非平面几何形状的探测器阵列能够测量，虽然不是真正的3D，但也有高空间分辨率体积。

中国生物医学工程学会医学物理分会
京津冀+放射物理专业组
第三十一次学术会议

单点，2D和3D方法的比较：

► 单点测量

- 通常具有比胶片或探测器阵列测量更小的不确定性，但是IC仅在一个点（实际上是小体积平均区域）测量剂量，它没有提供足够的信息来验证总体计划准确性。

► 2D和3D剂量

- 测量方法比点剂量测量提供更全面的计划传递图，应在每次测量期间进行与标准剂量比较的剂量校准测量，以将检测器响应和加速器输出的变化考虑到QA测量中。

重建方法

- 将测量的剂量分布数据转换为患者解剖结构中的3D绝对剂量分布，再与临床计划剂量分布比较。
- a) 正演算法
- b) 剂量扰动 (PDP)
- c) 模体中的3D重建
- d) 病人分次透射剂量QA

五、回顾IMRT测量和计算一致性报告

特定患者IMRT QA实施和分析模式：

- (a) 绝对剂量，在高剂量区域用低剂量梯度测量
- (b) 绝对平面剂量，或者归一到局部点剂量，平面全局最大剂量，或整个治疗计划的最大剂量
- (c) DTA测量
- (d) γ 分析

作者年份	实施技术	剂量计	照射例数	报道结果
Dong 2003	固定机架和连续TOMO治疗	IC	751 案列和 1591 次测量	0.37% 1.7% (4.5% to 9.5%)
Both 2007 ¹⁰²	固定机架	2D 二极管阵列	747 个野	3%/3 mm 相对; 96.22% 2.89% (HN), 99.30% 1.41% (前列腺和其他部位); 绝对剂量误差: 1.41% 1.10% (HN), 0.419% 0.420% (前列腺和其他部位)
Ibbott 2008 ³³	未标明	胶片, 热释光	250 (多机构)	179 (72%) 通过 (7%/4 mm 绝对/整体)
Molineu 2013 ¹⁰⁷	未标明	胶片, 热释光	1139 次照射, 763个机构	929 (81.6%) 通过 (7%/4 mm 绝对/整体)
Basran 2008	固定机架	2D 二极管阵列	115 个计划	3%/3 mm 绝对/整体: 95.5% 3.5% (HN), 98.8% 2.0% (GU), 97.3% 1.6% (肺)
Ezzell 2009	固定机架和 Tomo治疗	胶片, 电离室, 2D 二极管阵列	10 个机构, 每个机构5个从易到难的案列	高剂量点: 0.2% 2.2%; 低剂量点: 0.3% 2.2% (复合); 单野: 97.9% 2.5% (3%/3 mm 绝对/整体); 复合胶片: 96.3% 4.4% (3%/3 mm 绝对/整体)
Geurts 2009	Tomo治疗	3D 二极管阵列	264 个计划	3%/3 mm: 97.5%, 范围 90.0-100%; 绝对/相对或 整体/局部 未注明
Langen 2010	Tomo治疗	电离室, 平板剂量计	TG-148成员机构	电离室: 3%; 平板: >90% (3%/3mm 绝对/整体); 范围或标准差未提供
Masi 2011	VMAT	电离室, 胶片, 2D 二极管阵列, 2D 电离室阵列	50 个计划	电离室: 1.1% 1.0%; 电子平板: >97.4% (3%/3 mm or 3%/2 mm 绝对/整体和局部), 范围 92.0-100%; EDR2: 95.1%, 范围 83.0-100%; EBT2: 91.1%, 范围 80.0-98.5%
Bailey 2011	固定野	2D 二极管阵列, EPID	25 前列腺野, 79 HN 野	2%/2 mm 绝对/整体: 80.4% (前列腺), 77.9% (HN); 2%/2 mm 绝对/整体: 66.3% (前列腺), 50.5% (HN); 3%/3 mm 绝对/整体: 96.7% (前列腺), 93.5% (HN); 3%/3mm 绝对/局部: 90.8% (前列腺), 70.6% (HN)
Lang 2012	固定野 FFF模式的VMAT	电离室, 胶片, 3D 二极管阵列, 2D 电离室阵列	224 个计划 (52 个计划使用电离室)	99.3% 1.1% (3%/3 mm 绝对/整体); 点剂量: 0.34% (2% for 88% 的案列)
Mancuso 2012	固定野和 VMAT	电离室, 胶片或 2D 二极管阵列	TG-119 测试例	IC: 0.82% 0.48% (IMRT) and 1.89% 0.50% (VMAT); Film: 97.6% 0.6% for IMRT, 97.5% 0.8% for VMAT (2%/2 mm 复合, 绝对/整体); Diode: 98.7% 0.3% for IMRT and 98.6% 0.4% for VMAT (3%/3 mm 绝对/整体)
Bresciani 2013	Tomo治疗	3D 二极管阵列	73 个计划	绝对/整体: 98% 2% (3%/3 mm), 92% 7% (2%/2 mm), 61% 11% (1%/1 mm); 绝对/局部 (2 cGy 局部 阈值): 93% 6% (3%/3 mm), 84% 9% (2%/2 mm), 66% 12% (1%/1 mm)

- ▶ 上表总结了IMRT QA测量与计算之间的一致性，包括绝对剂量一致性和各种容差限值的 γ 通过率
- ▶ 上表显示了使用ICs测量绝对剂量测量与预期值一致性，在5%以内，二维测量的 γ 通过率 $> 90\%$ ，使用3%/ 3 mm DTA（全局归一）

最近的研究报告在中等/复杂调制计划中

- ▶ 在3%/ 3 mm，通过率为几乎100%
- ▶ 在3%/ 2 mm或2%/ 2 mm $> 95\%$

传递方法 Delivery methods

1、固定野调强IMRT

ICs和胶片（逐渐淘汰）

2D半导体或电离室矩阵和EPID（更高效）

2、容积旋转调强放疗VMAT

VMAT正成为IMRT治疗的首选技术

MC算法计算和实际日志文件，剂量有较好的符合度

螺旋二极管阵列，双平面二极管阵列，电离室矩阵测量，结果取决于弧的离散化程度和计划复杂性

传递方法 Delivery methods

3、FFF IMRT

均整过滤器是为了使射野剂量分布均匀，但是降低了剂量率并增加了散射线。FFF模式提高剂量率，减少治疗时间。将调强方式由剂量不均匀-均匀-调制为要求的分布，变化为剂量不均匀-直接调制为要求的分布。

QA验证结果显示与计划有很好的-一致性。

4、螺旋断层放疗 TOMO

Tomo治疗方式剂量输送精度依赖于动态组件的同步，包括机架，治疗床和MLC。

值得注意的是，有几组报告在治疗日或IMRT QA期间剂量率或输出变化为1-2%

使用 γ 通过率进行评估时的问题

许多中心使用 γ 通过率来避免剂量差异，利用DTA测试避免陡峭和低剂量梯度区域的剂量差异，但存在问题：

- ▶ γ 通过率在某些（例如不正确的叶片位置）检测剂量误差时不太敏感。
- ▶ 通过单个照射野的 γ 通过率对于测试标准和检测器方法的剂量测定精度是很差的预测指标
- ▶ 大多数IMRT QA设备在识别不可接受的计划方面表现非常差。
- ▶ γ 测试通过率概括到一起不具有空间灵敏度，不考虑失败点的位置和分布。

给定容差限值和干预限值的通过率

- 容差限值 (Tolerance Limits)、干预限值(Action Limits)、
- 置信限值(Confidence Limits)
- 置信限值= $|\text{mean deviation}| \pm 1.96SD$
- $\text{mean deviation} = 100\% \times (D_{\text{calc}} - D_{\text{meas}}) / D_{\text{prescribed}}$

作者及年份	传送技术	剂量仪	照射次数	报道/推荐容限水平
Palta 2003	固定机架	未指定	来自30家机构的IMRT问题结果	CL和AL: $\pm 10\%/2\text{ mm}$ 和 $\pm 15\%/3\text{ mm}$ (高剂量, 陡峭剂量梯度) CL和AL: $\pm 3\%$ 和 $\pm 5\%$ (高剂量, 低梯度); CL和AL: $\pm 4\%$ and $\pm 7\%$ (低剂量, 低梯度) γ 指数容差标准: $5\%/2\sim 3\text{ mm}$
Low 2003	固定机架	N/A	虚拟野模拟 临床射野1	γ 指数容差标准: $5\%/2\sim 3\text{ mm}$
Childress 2005 ⁶⁶	固定机架	胶片	858个射野	γ 指数容差标准: $5\%/2\sim 3\text{ mm}$
Stock 2005 ¹³⁴	固定机架	胶片, IC	10个计划	γ 指数 $3\%/3\text{ mm}$: $\gamma_{\text{mean}} < 0.5$, $\gamma_{\text{max}} < 1.5$, 分次 γ 0-5%
De Martin 2007 ¹³⁵	固定机架	胶片, IC	57个HN计划	γ 指数 (4%3mm) $\gamma [\gamma + 1.5 \text{ SD}(\gamma)] < 1$; γ 阈值 (4%3mm) $> 95.3\%$, $> 98.9\%$, $\gamma < 0.4\%$ $c_{>2} < 0.4\%$
ESTRO 2008	固定机架	IC	未显示	TL: 3% AL: 5%
Basran 2008 ¹⁰⁸	固定机架	2D二极管阵列	115个计划	TL: 3% 整体, 5% 每个野(与病种无关); γ 阈值 (3%/3mm) $\geq 95\%$ (非HN病例) γ 阈值 (3%/3mm) $\geq 88\%$ (HN病例)
Ezzell 2009 ¹⁶	固定机架和 Tomotherapy	胶片, IC, 2D二极管阵列	10个机构, 每个机构有5个 从易到难的案例	CL: $\pm 4.5\%$ (PTV中高剂量点); CL: $\pm 4.7\%$ (OAR中低剂量点); CL: $\pm 12.4\%$ (胶片合成), 87.6% 通过(3%/3 mm); CL: $\pm 7\%$ (per-field), 93.0% 通过(3%/3 mm)
Carlone 2013 ¹³⁶	固定机架	2D二极管阵列	85个前列腺计划 (68个通过 随机MLC误差修正)	γ 阈值(2%/2mm): 78.9% ($\sigma \pm 3$), 84.6% ($\sigma \pm 2\text{ mm}$), 89.2% ($\sigma \pm 1\text{ mm}$); γ 阈值(3%3mm): 92.9% ($\sigma \pm 3$), 96.5% ($\sigma \pm 2\text{ mm}$), and 98.2% ($\sigma \pm 1\text{ mm}$).

六、厂商调查和算法测试

厂商:

- ▶ MapCHECK ArcCHECK 3DVH, Sun Nuclear Corp.
- ▶ Portal Dosimetry of EPID, Varian
- ▶ RIT 113, Radiological Imaging Technology
- ▶ IMSure, Standard Imaging Inc
- ▶ Delta4, Scandidos
- ▶ Seven29 2D, PTW
- ▶ MatriXX Compass和Omnipro-IMRT, IBA

供应商调查问卷

- 1.您是否在剂量图像中的点之间进行插值，如果是，则分辨率是多少？
- 2.您是否重新测1或2个图像用于分析？如果是，在什么基础上和什么分辨率？
- 3.那个图像在分析中当作参考图像，计划还是测量？用户是否可选？
- 4.是否可以使用标准DICOM RT格式的获取和计划剂量图像？
- 5.使用的搜索半径是多少？是否用户可选？
- 6.是否可以提高相对和绝对两种模式？
- 7.剂量耐量是否是分析的一部分，是指局部剂量或最大剂量或其他？该用户是否可以选择？
- 8.您是否指定了进行分析的剂量阈值？如果是，剂量阈值是多少？这个值是否可由用户选择？
- 9.您是否提供需求剂量计划的自动注册？手动注册？假定每个图像的中心为共同点？
- 10.对于相对模式，您是如何归一化已获取的和计划剂量的图片？
- 11.您是否进行了百分比%剂量差DTA (Van Dyk 分析)
- 12.如果是，您是如何归一化已取得的和计划剂量图像的？
a.参考图像的最大值？ b.一个区域， c.用户可选 d.其他

7、基于流程的容差限值和干预限值

干预限值可分为两类：

- ▶ a 以结果数据和专家共识来定义和作为指导，
- ▶ b 以当地经验作为定义和指导。

对于任何 QA 测量，由于干预限值与治疗结果直接相关，所以最好使用一样的干预限值。

干预限值的确定

- ▶ 当通用干预限值不适用时，IMRT QA可以使用统计过程控制的方法来确定干预限值。
- ▶ 根据使用的设备测量结果确定

$$DA = b\sqrt{s^2 + (\bar{x} - T)^2}$$

- ▶ ΔA 是干预限值的上限和下限， β 取值6.0
- ▶ QA验证测量20次以上，得到流程方差 σ^2 和流程平均值 \bar{x} ，T流程目标值100%

▶ I-chart图表的中心线，控制上限和控制下限使用以下公式计算：

▶ 中心线 = $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x$

▶ 控制上限 = 中心线 + $2.660 \times \overline{mR}$

▶ 控制下限 = 中心线 - $2.660 \times \overline{mR}$

▶ 波动范围 $\overline{mR} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n |x_i - x_{i-1}|$

病案号	相对测量				绝对测量			
	3%/3	3%/2	2%/3	2%/2	3%/3	3%/2	2%/3	2%/2
463804	97	93.6	94.3	90.2	96.4	93.2	93.2	88.3
497338	99.8	99.1	99.1	97	98.6	98.1	97.3	94.9
452388	98.3	96	93.3	88.8	92.9	90	76.3	70.1
482005	99.9	98.8	99.1	97.3	97.8	94.5	94.5	88.9
485333	99.4	98.7	98.7	97.2	96.8	94.6	92.7	89.1
488320	99.6	98.3	99.2	96.6	99.4	98.3	98.3	96.4
498729	99.4	98.1	97.2	95	96.3	94.3	87.9	82.8
498358b	98.2	96.4	96.4	93.7	97.2	95.8	94.6	91.2
498516	98.5	98.5	97.3	90.8	95.7	94	81.4	75.6
498541	99.2	97.9	98.1	95.9	98	96.3	95	91.6
500147	99.1	97	97.5	94.2	94.6	90.9	89.7	84.1
502122	98.6	98.1	96.5	94.4	93.2	90.3	82.2	75.5
505263	99.2	96.7	95.2	91.8	94	90.1	79.1	72.3
506033	99.2	98.6	98.3	96.6	98.2	97.1	95.9	91.8
403006b	99.7	97.9	99	97.6	97.6	96.2	95.8	93.8
404400	99.8	99.3	99.3	98.9	99.1	97.8	96.3	93.5
476115a	99.5	99	98.8	98.2	97.7	96.3	96	93.7
480960a	99.4	98.3	98.8	96.5	94.3	92.4	90.3	85.8
482665	98.9	98.1	98.1	96.8	96.3	94.6	90.5	85.2
486265a	99.7	99.2	98.3	97.2	94.2	91.8	84.9	80.4
平均值	99.12	97.88	97.625	95.235	96.415	94.33	90.595	86.25
方差	0.709	1.369	1.709	2.843	1.974	2.709	6.551	7.890

我院测量20例肺癌病人，Elekta Infinity加速器，ArcCheck测量，

- 最大剂量归一，相对测量，3%2mm，阈值10%，
- 结果 γ 通过率97.88% ，标准差1.369%，波动范围1.379%
- 计算得 $\Delta A=15.14\%$ ，
- 干预限值： $100-15.14\%/2=92.4\%$
- 容差限值： $97.88\%-2.660 \times 1.379\%=94.2\%$

- 绝对测量 γ 通过率94.33% ，标准差2.709%，波动范围3.00%
- 干预限值 81.2% 容差限值 86.3%

- 
- ▶ 该过程的最后一步是将容差限值与干预限值进行比较。
 - ▶ 例如，如果 γ 容差限值低于干预限值，可能需要更新或更换设备，或培训执行IMRT QA测量和分析的人员。
 - ▶ 使用这种标准化程序来设定容差限值和干预限值将允许医学物理学家比较各机构的IMRT质量保证流程。
- 中国生物医学工程学会医学物理分会
天津市第三十中学

8、建议

- ▶ IMRT QA测量首选实际野整体测量（TC）（要考虑QA设备的角度依赖性），垂直单野（PFF）次之，**不应使用**归零合成测量（PC）
- ▶ 绝对剂量模式下QA测量
- ▶ 每次测量之前与标准剂量的比较，进行剂量校准测量
- ▶ 应使用全局归一
- ▶ 局部归一比全局归一更严格。它可以在IMRT调试过程中使用，也可以用于IMRT QA的故障排除
- ▶ 应设置剂量阈值，如10%，以排除低剂量区域，这些区域没有或几乎没有临床相关性，但可能显著影响分析结果

8、建议

以下建议用于使用绝对剂量的全局归一进行 γ 分析：

- ▶ 通用容差限值：在3%/ 2 mm，剂量阈值10%， γ 通过率应该是 $\geq 95\%$ 。
- ▶ 通用干预限值：在3%/ 2 mm和剂量阈值10%， γ 通过率应该是 $\geq 90\%$ 。
- ▶ 无论何时提及 γ 通过率，始终指定剂量差异（全局或局部）和DTA标准以及剂量阈值。没有这些参数，通过率是没有意义的。

摆位和射野

- 体模摆位
- 正确计划版本
- 正确输送TPS到IMRT QA验证软件的数据
- 平坦度，对称性和剂量刻度
- 低MU的射野稳定性
- 测量设备的准确性，稳定性和校准
- 检测器尺寸和间距与IMRT射野的大小，特别是对于SRS和SBRT
- 全局标归一点的剂量值

IMRT QA软件

- 正确报告和处理计划和测量数据
- 反复检查DTA，剂量阈值以及测量和计算剂量分布的结果



检查和评估QA 失败原因



多叶准直器 (MLC)

- 定期审查IMRT QA的结果
- 叶片容差 (速度, 位置, 加速/减速)
- 可能需要使用高分辨率探测器进行测量的凹凸槽效应
- 准直器和MLC限定野的profile数据
- 圆叶端的动态间隙 (leaf-gap)
- 内外叶片透射因子
- 叶片跟随位置 (最小化叶片透射)

治疗计划系统 (TPS)

- 计划中的调制量和强度模式的复杂性
- 计划中的小野总数, 包括小的细长区域
- 影响透射剂量和计划复杂性的mu数
- 小野的TPS建模精度, 包括输出因子, profile和半影
- TPS中的叶片参数, 包括MLC传输, 间隙和圆形末端
- 最小MU数
- TPS最小子野面积
- 非蒙特卡罗 (MC) 算法的TPS中的剂量计算网格大小和蒙特卡罗算法的方差设置
- IMRT QA设备的CT电子密度转换
- 二级准直器
- VMAT机架角间隔
- 上述治疗计划项目应作为IMRT TPS调试过程的一部分进行彻底检查。

九、总结

- ▶ 提出一些建议，为确保实施患者特定的IMRT QA，适当使用QA工具和方法。
- ▶ 建议使用 γ 通过标准的容差限值和干预限值来定义IMRT QA验证过程的正常操作边界。
- ▶ 报告的建议提供了可在临床层面实施的标准，以评估特定患者IMRT QA计划的可接受性。
- ▶ 旨在帮助在各机构之间建立普遍的和可比较的标准。

AAPM TG218 问题，单选题

- ▶ 第1题、TG218建议，使用的IMRT QA测量方法
- ▶ A、TC B、PFF C、PC D、TC & PFF
- ▶ 第2题、TG218建议的容差限值是
- ▶ A、 γ 通过率 $\geq 95\%$ ，3%3mm，剂量阈值10%
- ▶ B、 γ 通过率 $\geq 95\%$ ，3%2mm，剂量阈值10%
- ▶ C、 γ 通过率 $\geq 90\%$ ，3%3mm，剂量阈值10%
- ▶ D、 γ 通过率 $\geq 95\%$ ，3%2mm，剂量阈值5%

AAPM TG218 问题，单选题

- ▶ 第3题、TG218 建议的干预限值是
- ▶ A、 γ 通过率 $\geq 95\%$ ，3%2mm，剂量阈值10%
- ▶ B、 γ 通过率 $\geq 90\%$ ，3%3mm，剂量阈值10%
- ▶ C、 γ 通过率 $\geq 90\%$ ，3%2mm，剂量阈值10%
- ▶ D、 γ 通过率 $\geq 90\%$ ，3%2mm，剂量阈值5%

- ▶ 第4题、TG218建议，在IMRT QA不通过时检查的项目和顺序是
- ▶ A、摆位和射野，IMRT QA软件
- ▶ B、摆位和射野，IMRT QA软件，MLC
- ▶ C、摆位和射野，IMRT QA软件，MLC，治疗计划系统
- ▶ D、治疗计划系统，摆位和射野，IMRT QA软件，MLC

AAPM TG218 问题，单选题

- ▶ 第5题、TG218报告中，说明 γ 评估方法完整的是
- ▶ A、评估低剂量梯度区的符合性
- ▶ B、评估高剂量梯度区的符合性
- ▶ C、分别评估了低剂量梯度区的符合性及高剂量梯度区的符合性
- ▶ D、综合评估了低剂量梯度区的符合性及高剂量梯度区的符合性



■ Thank You For Attention!

中国生物医学工程学会医学物理分会
京津冀+放射物理专业委员会
第三十一次学术会议