

螺旋断层放疗加速器 (TOMO) 调强计划多种验证方法比较

北京军区总医院放疗科

刘清智

TOMO的验证方式

螺旋断层加速器 (TOMO) 是将螺旋CT技术与直线加速器技术整合在一起的调强放疗系统。对于这样的一种新型调强放疗技术，建立规范的调强放疗计划质量保证 (quality assurance, QA) 体系，保证调强放疗的安全性可靠性尤显重要。

胶片验证方法

八角模体和三维阵列探测器

Delta4三维探测器阵列

胶片的读取



基本步骤异同

Delta4

- 1) 刻度
- 2) MVCT值-电子密度校准曲线的获取
- 3) 获取Delta4探测器阵列MCVT图像
- 4) 模体调强放疗计划的设计及验证测量
- 5) 评估

■ Octavius

- 刻度
- 获取PTW Seven29 及 Octavius模体组合CT图像
- 方向性响应测定
- 模体调强放疗计划的设计及验证测量
- 评估

刻度

Delta4三维探测器阵列

使用Delta4之前，需在常规加速器对其进行相对刻度和方向性刻度，在TOMO加速器进行绝对刻度。

PTW Seven29二维阵列与Octavius模体组合

PTW Seven29探测器阵列出厂时已由PTW次级标准实验室应用 ^{60}Co 标准源进行了绝对剂量的刻度。在每次临床应用前仅需对中心电离室进行交叉刻度即可。

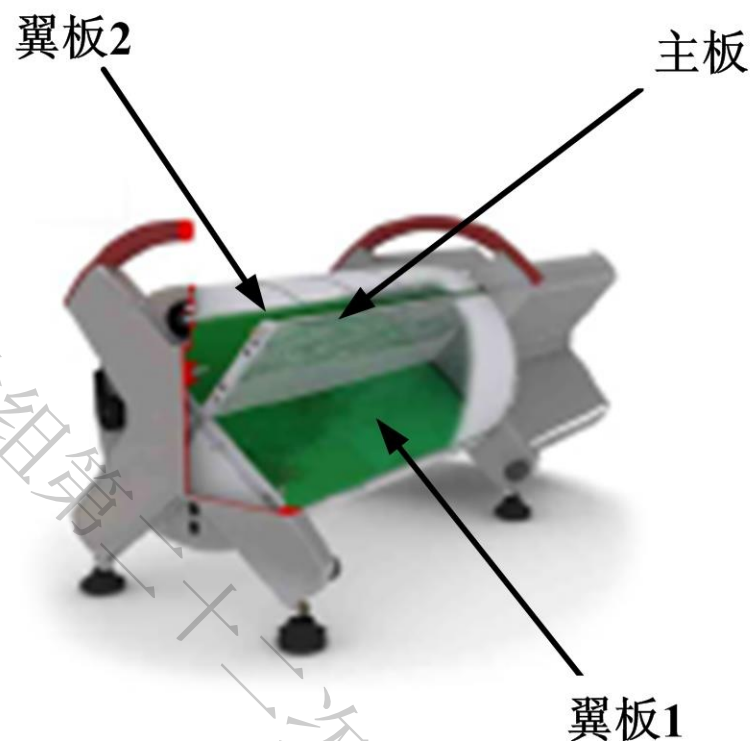
Delta4三维探测器阵列

体积：22cm×40cm

两个正交排列的二维
半导体探头阵列

1069个P型圆柱型半
导体探头

Delta4采用P型圆柱形
半导体探测器，具有各
向同性的物理特性，无
角度依赖性，可实现360
度范围内任意角度的精
确测量。



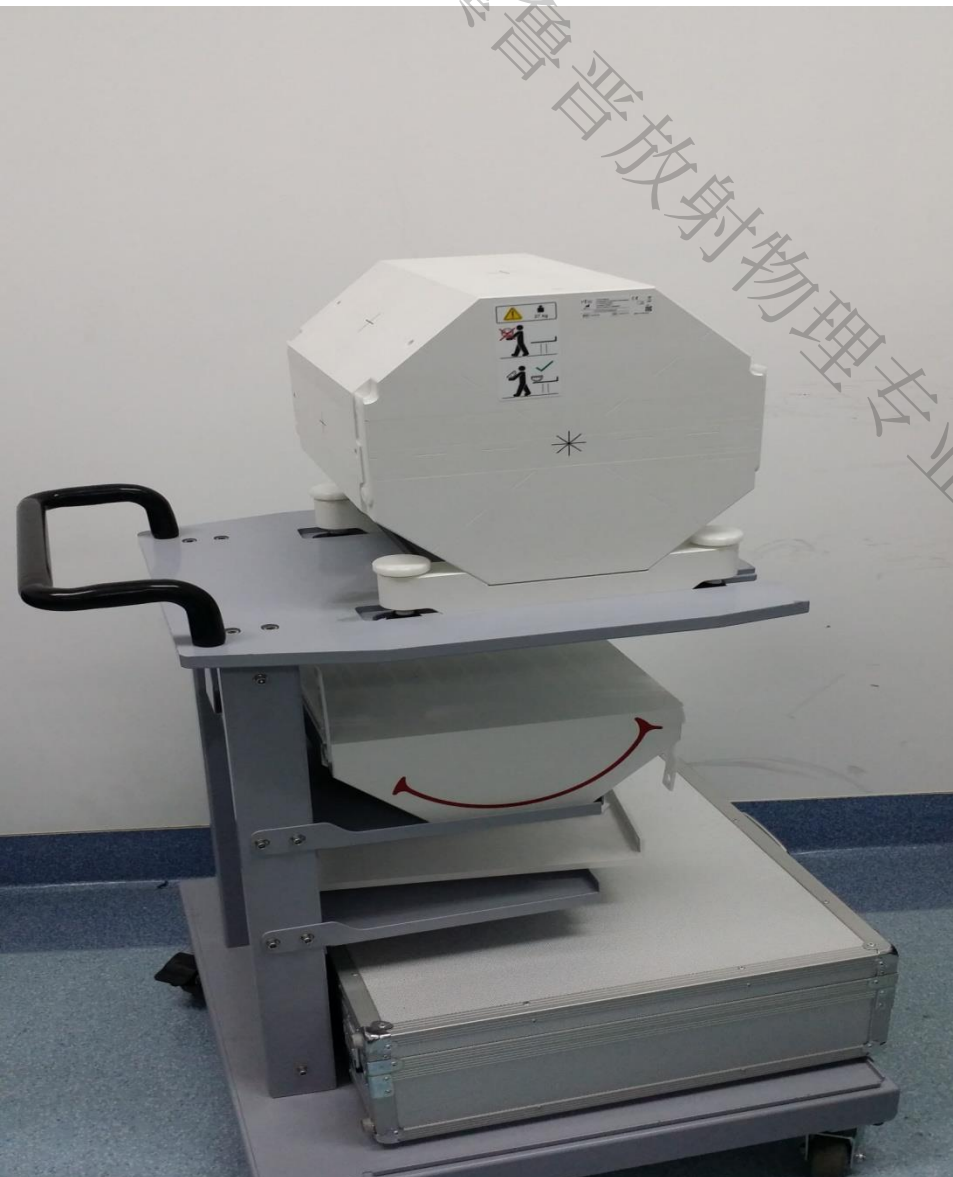
TOMO验证模体（又称Cheese模体）

直径30cm，长度18cm，有20个直径2.8cm的孔洞。

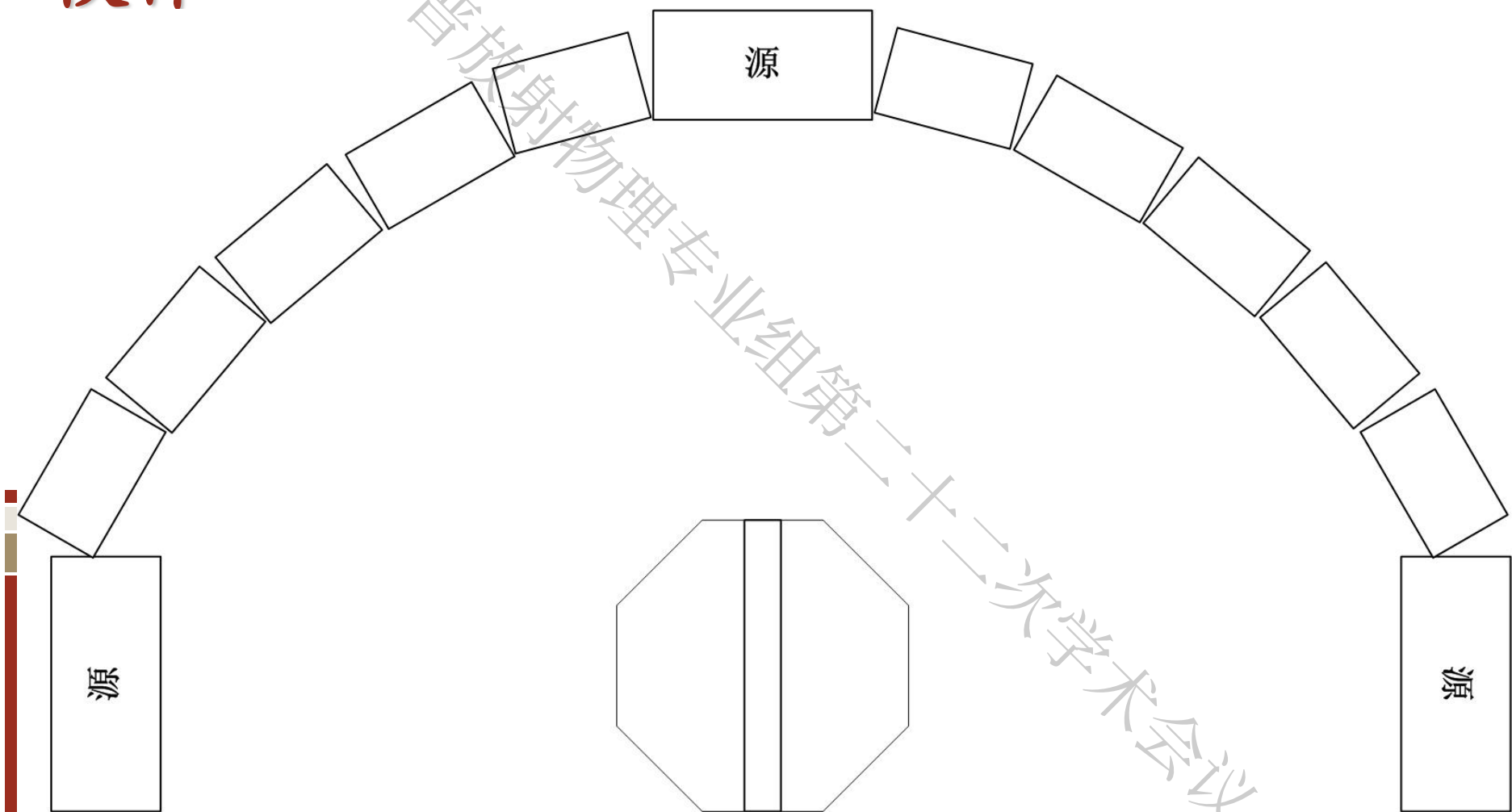
进行TOMO的MVCT成像扫描：成像质量选择“fine”，扫描层厚为2mm。



八角模体



PTW Seven29 探测器阵列/Octavius 模体



模体调强放疗计划的设计及验证

确定好Delta模体位置后，选择与患者治疗计划设计时相对应的栅格矩阵计算模体DQA计划的剂量分布。

头颈部肿瘤4例

胸部肿瘤3例

腹部肿瘤3例

两种剂量验证方法的验证结果

Delta4三维探测器阵列剂量验证

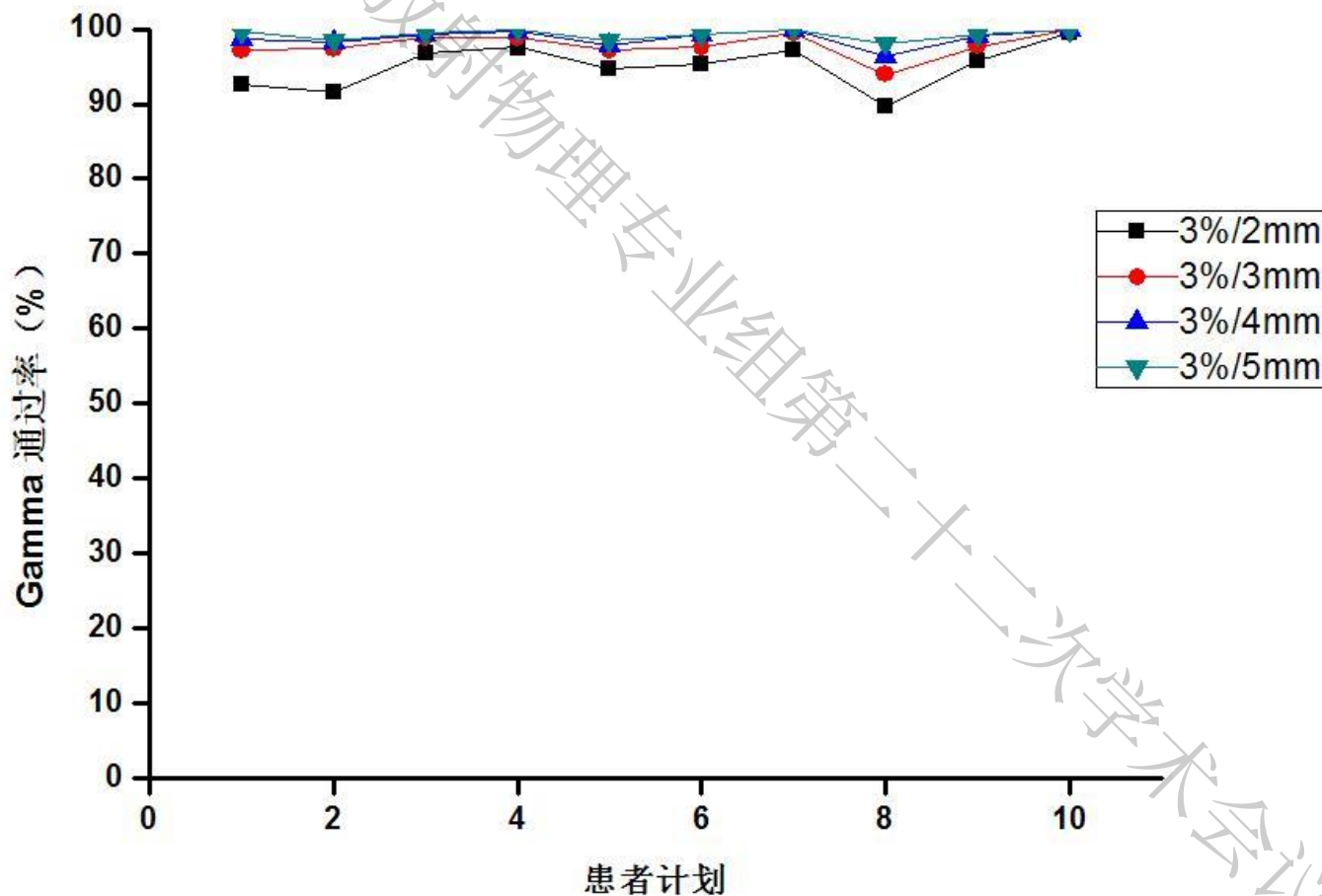
在多种剂量标准条件下，测量结果与计算结果均显示出了较好的一致性， $\gamma \leq 1$ 的平均通过率均超过94.89%。

PTW Seven29二维阵列与Octavius模体组合剂量验证

在多种不同剂量标准条件下，测量结果与计算结果均显示出较好的一致性， $\gamma \leq 1$ 的平均通过率均超过92.6%。



Delta4阈值为10%时不同剂量标准下的Gamma通过率



结果差异

采用Gamma分析方法对DQA计划中的靶区剂量分布进行分析时，当阈值水平由TH5增加至TH30时，Gamma通过率呈下降趋势，与采用Delta4阵列进行TOMO放疗计划Gamma分析方法的结果趋势相反，原因可能为PTW Seven29阵列的空气电离室空间分辨率、灵敏度低于Delta4阵列的半导体探测器，导致较高剂量梯度区域Gamma通过率降低。

待研究

delta4研究中所验证的第2例患者计划为鼻咽癌患者，其结果在TH70和TH90阈值水平，3%/2mm剂量标准条件下的通过率低于90%

PTW Seven29/Octavius模体组合研究中所验证的鼻咽癌计划在TH5~TH30阈值水平，3%/2mm剂量标准条件下其通过率均低于90%，其它剂量标准条件下也均有通过率低于90%的情况出现。

应用 Delta4 探测器阵列对 10 例患者计划验证的 gamma 通过率(%)

序号	3%/2mm					3%/3mm					3%/4mm					3%/5mm				
	TH5	TH10	TH20	TH70	TH90	TH5	TH10	TH20	TH70	TH90	TH5	TH10	TH20	TH70	TH90	TH5	TH10	TH20	TH70	TH90
1	92.9	92.7	93.6	95.1	96.5	97.1	97.1	97.6	97.5	98.7	98.7	98.6	98.8	98.1	98.7	99.6	99.6	99.6	98.9	98.7
2	91.9	91.6	91.3	88.6	88.6	97.4	97.3	97.3	96.4	96.3	98.4	98.3	98.3	97.9	97.6	98.5	98.4	98.4	97.9	97.1
3	97.1	96.7	96.5	95.4	94.8	99.0	98.9	98.8	98.5	98.3	99.4	99.3	99.3	99.1	99.0	99.5	99.4	99.4	99.3	99.2
4	96.4	97.5	98.9	98.2	97.8	97.6	98.8	99.5	99.3	99.1	98.4	99.7	99.9	99.8	99.8	98.6	99.9	99.9	99.8	99.8
5	94.9	94.7	94.4	92.0	92.1	97.2	97.1	96.9	95.5	95.4	97.8	97.8	97.7	96.7	96.3	98.5	98.5	98.5	97.7	97.5
6	95.1	95.3	96.1	98.2	100	97.4	97.6	98.4	99.1	100	99.1	99.2	99.7	99.3	100	99.2	99.3	99.7	99.3	100
7	97.5	97.1	96.8	95.8	97.8	99.5	99.4	99.3	99.6	99.7	99.9	99.9	99.9	99.8	99.7	100	100	100	100	100
8	90.1	89.6	89.3	91.2	93.0	94.2	93.9	93.7	94.3	94.8	96.6	96.4	96.3	96.5	96.4	98.2	98.1	98.0	97.6	97.2
9	96.3	95.8	95.6	94.9	95.7	98.0	97.7	97.6	97.3	97.6	99.1	99.0	99.0	98.9	98.7	99.4	99.3	99.2	99.1	98.9
10	99.5	99.5	99.5	99.5	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	100	99.8	99.8	99.8	99.8	100	99.9	99.9	99.9	100	100
平均值	95.17	95.05	95.2	94.89	95.61	97.72	97.76	97.89	97.73	97.99	98.72	98.8	98.87	98.59	98.62	99.14	99.24	99.26	98.96	98.84

应用 PTW Seven29/Octavius 组合对 10 例患者计划验证的 gamma 通过率(%)



	3%/2mm ₁				3%/3mm ₁				3%/4mm ₁				3%/5mm ₁				
序号 ₁	TH5 ₁	TH10 ₁	TH20 ₁	TH30 ₁	TH5 ₁	TH10 ₁	TH20 ₁	TH30 ₁	TH5 ₁	TH10 ₁	TH20 ₁	TH30 ₁	TH5 ₁	TH10 ₁	TH20 ₁	TH30 ₁	
1 ₁	99.0(98.2) ₁	99.0(98.1) ₁	98.9(97.8) ₁	98.7(94.9) ₁	100.0(98.2) ₁	100.0(98.1) ₁	100.0(97.8) ₁	100(96.7) ₁	100.0(98.2) ₁	100.0(98.1) ₁	100.0(97.8) ₁	100(97.2) ₁	100.0(98.6) ₁	100.0(98.5) ₁	100.0(98.3) ₁	100(97.7) ₁	
2 ₁	89.8(89.4) ₁	89.1(88.7) ₁	87.1(87.9) ₁	82.4(84.4) ₁	90.0(90.1) ₁	89.3(89.5) ₁	87.3(88.7) ₁	82.7(84.9) ₁	91.4(90.6) ₁	90.8(90.0) ₁	89.1(89.3) ₁	85.2(86.0) ₁	93.0(91.2) ₁	92.6(90.6) ₁	91.2(90.0) ₁	88.1(86.6) ₁	
3 ₁	100(100) ₁	100(100) ₁	100(100) ₁	99.2(96.6) ₁	100(100) ₁	100(100) ₁	100(100) ₁	99.2(96.6) ₁	100(100) ₁	100(100) ₁	100(100) ₁	99.2(97.0) ₁	100(100) ₁	100(100) ₁	100(100) ₁	99.2(97.0) ₁	
4 ₁	97.2(99.7) ₁	96.7(99.6) ₁	96.3(99.5) ₁	92.3(99.4) ₁	97.6(99.7) ₁	97.1(99.6) ₁	96.8(99.5) ₁	93.0(99.4) ₁	98.5(99.8) ₁	98.2(99.8) ₁	98.0(99.8) ₁	94.0(99.7) ₁	98.5(99.8) ₁	98.2(99.8) ₁	98.0(99.8) ₁	95.0(99.7) ₁	
5 ₁	94.1(95.8) ₁	93.2(95.4) ₁	90(95.3) ₁	88.0(92.6) ₁	94.3(96.0) ₁	93.3(95.6) ₁	90.3(95.4) ₁	88.7(93.3) ₁	95.1(96.9) ₁	94.3(96.6) ₁	91.7(96.5) ₁	88.7(94.4) ₁	95.8(97.6) ₁	95.1(97.4) ₁	92.8(97.3) ₁	90.9(95.0) ₁	
6 ₁	96.1(92.9) ₁	95.7(92.3) ₁	94.5(91.9) ₁	92.6(91.3) ₁	96.4(93.2) ₁	96.0(92.6) ₁	94.9(92.2) ₁	93.1(91.6) ₁	96.6(93.6) ₁	96.3(93.1) ₁	95.3(92.7) ₁	93.7(92.1) ₁	97.5(93.8) ₁	97.2(93.2) ₁	96.5(92.8) ₁	95.2(92.3) ₁	
7 ₁	98.8(95.4) ₁	97.8(94.4) ₁	95.9(93.7) ₁	92.2(91.4) ₁	98.8(95.9) ₁	97.8(95.0) ₁	95.9(94.4) ₁	93.0(91.7) ₁	99.0(96.4) ₁	98.1(95.6) ₁	96.6(95.1) ₁	95.3(92.8) ₁	99.0(96.6) ₁	98.1(95.8) ₁	96.6(95.3) ₁	95.3(93.6) ₁	
8 ₁	99.6(100) ₁	99.5(100) ₁	99.5(100) ₁	94.0(100) ₁	99.6(100) ₁	99.5(100) ₁	99.5(100) ₁	94.7(100) ₁	99.6(100) ₁	99.5(100) ₁	99.5(100) ₁	97.1(100) ₁	99.6(100) ₁	99.5(100) ₁	99.5(100) ₁	99.0(100) ₁	
9 ₁	97.3(100) ₁	96.6(100) ₁	96.3(100) ₁	95.1(100) ₁	97.7(100) ₁	97.1(100) ₁	96.8(100) ₁	96.1(100) ₁	97.9(100) ₁	97.3(100) ₁	97.1(100) ₁	96.4(100) ₁	98.5(100) ₁	98.1(100) ₁	97.9(100) ₁	97.4(100) ₁	
10 ₁	95.4(100) ₁	94.8(100) ₁	94.2(100) ₁	91.2(100) ₁	96.0(100) ₁	95.4(100) ₁	94.9(100) ₁	92.8(100) ₁	97.0(100) ₁	96.6(100) ₁	96.3(100) ₁	93.7(100) ₁	97.6(100) ₁	97.3(100) ₁	97.0(100) ₁	95.4(100) ₁	
平均值 ₁	96.7(97.1) ₁	96.2(96.9) ₁	95.3(96.6) ₁	92.6(95.1) ₁	97.0(97.3) ₁	96.6(97.0) ₁	95.6(96.8) ₁	93.3(95.4) ₁	97.5(97.6) ₁	97.1(97.3) ₁	96.4(97.1) ₁	94.3(95.9) ₁	98.0(97.8) ₁	97.6(97.5) ₁	97.0(97.4) ₁	95.6(96.2) ₁	

两种剂量验证方法的特点

Delta4三维探测器阵列

采用P型圆柱形半导体探测器，具有各向同性的物理特性，可实现360度任意角度的精确测量。

可测量三维实际剂量梯度，利用交叉的探测器矩阵进行剂量的测量，解决了通过有限数量的探测器实现三维空间剂量测量的问题。构成四维的剂量分布模型的每一个像素。

PTW Seven29二维阵列与Octavius模体组合

Seven29阵列在Octavius体模中可采取两种摆放方式，通过对两种摆放方式测量结果分析可知冠状位测量与矢状位测量无明显差异，在临床应用中可根据需要任意选择。

结论

Delta4探测器阵列的ScandiDos操作软件简便快捷，较之使用胶片验证法能够节省约20~30分钟的时间，这其中包括胶片的标记、胶片剂量仪的开机预热、扫描、将胶片剂量仪扫描结果导入TOMO计划系统进行分析的时间等等。

- PTW Seven29二维电离室阵列与Octavius体模组合凭借其操作简便、数据处理快捷的特点为TOMO计划验证提供了一种有效的QA工具。

谢谢!