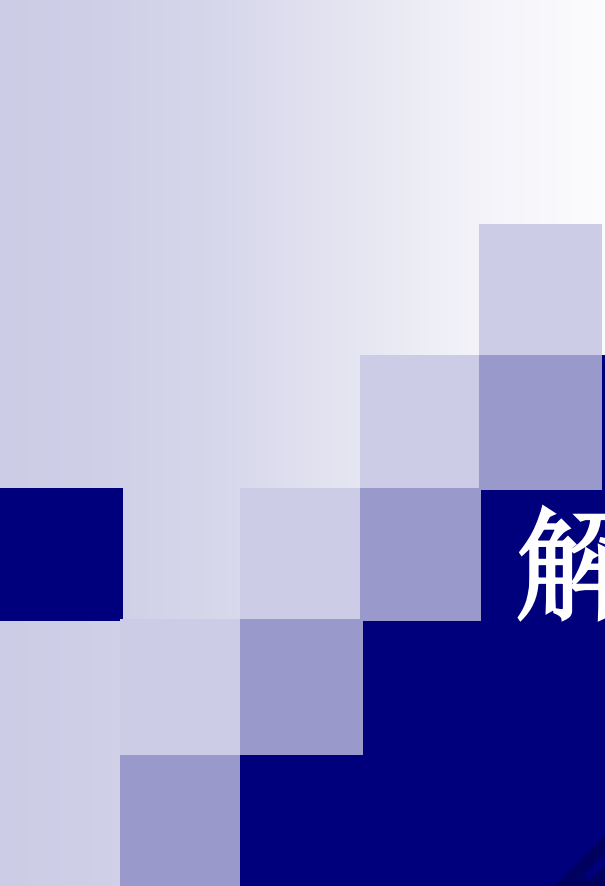




解读AAPM-TG180号报告

江波 郭露 王伟

天津医科大学肿瘤医院
放射治疗科

报告基本情况

■ 名称

- Image guidance doses delivered during radiotherapy: Quantification, management, and reduction

放射治疗过程中由图像引导产生的剂量：量化、管理及减少

■ 发布时间

- 2018.3

■ 撰写成员

- Ding GX, Alaei P, Curran B, Flynn R, Gossman M, Mackie TR, Miften M, Morin R, Xu XG, Zhu TC

■ 下载地址

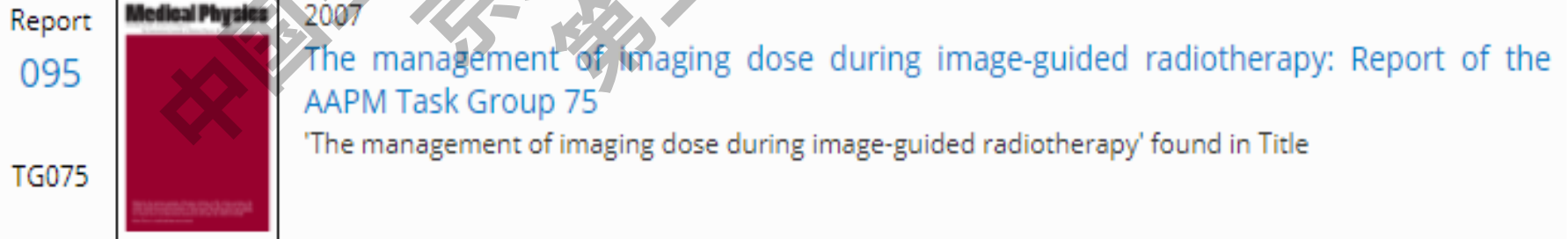
- aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/mp.12824

报告解读

- 制定报告的背景及目的
- 图像引导产生剂量的概述
- 千伏级和兆伏级图像的剂量计算算法
- 千伏级成像射束剂量学
- 成像剂量的累计计算方法
- 建议

制定报告的背景

- IGRT的应用越来越广泛，已成为提高治疗位置准确性的标准流程；
- 多次成像会给患者带来额外的照射剂量，为了使风险最小化，了解这些剂量的大小是非常重要的；
- 2007年AAPM发布75号报告



AAPM 75号报告

- 介绍了各种成像技术，确定了对各种成像技术所引入剂量进行管理的必要性
- 提供了对各种图像引导技术所引入剂量的估计
- 提出了降低图像引导引入剂量的策略

本报告的目的

- 1) 作为AAPM TG-75报告的补充;
- 2) 该报告更新了当前成像技术的剂量数据, 同时介绍了如何在放射治疗计划过程中评估和计算图像引导引入的剂量;
- 3) 指出了如何最小化图像引导引入的照射剂量, 并提出了一些建议;
- 4) 为了在必要时计算患者个体化的成像剂量, 该报告也提出了一些对成像射束进行commission的指导。

几个注意点

- 本报告中使用组织的“吸收剂量”，与TG-75报告中使用的“有效剂量”不同；
- 图像引导引入的剂量大小依赖于许多因素，包括：扫描范围，成像频率和扫描技术等；
- 一般而言，兆伏级成像所引入的放射剂量高于千伏级成像；
- 处方剂量的5%作为阈值。

报告解读

- 制定报告的背景及目的
- 图像引导产生剂量的概述
- 千伏级和兆伏级图像的剂量计算算法
- 千伏级成像射束剂量学
- 成像剂量的累计计算方法
- 建议

图像引导产生剂量的概述

- 兆伏级射束成像
- 千伏级射束成像

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

兆伏级射束成像

■ EPID



兆伏级射束成像

■ EPID

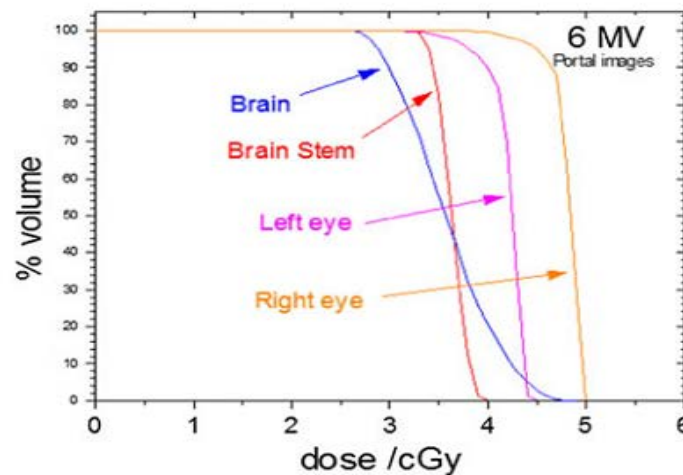
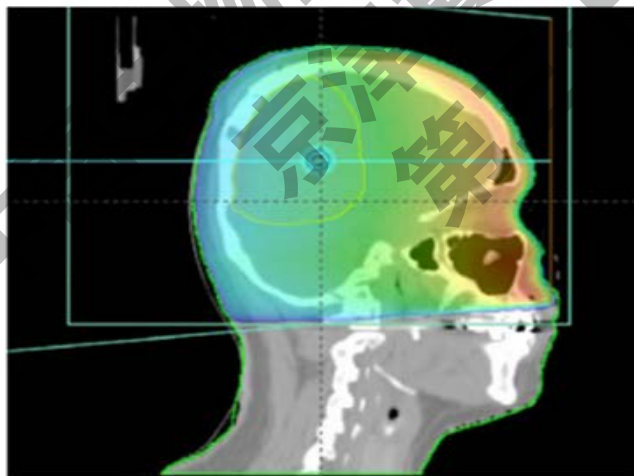
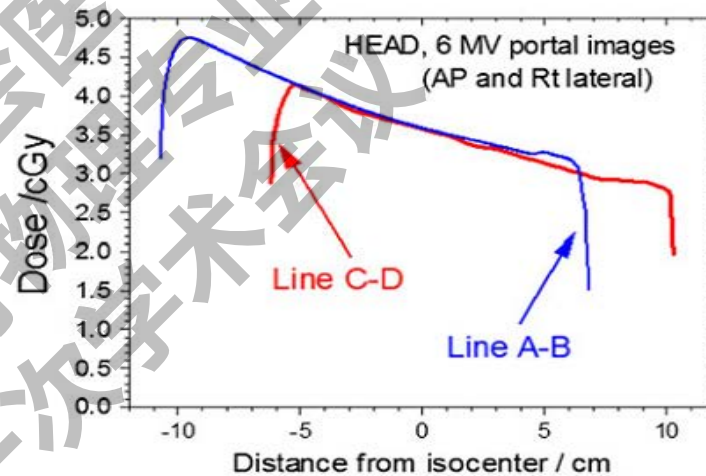
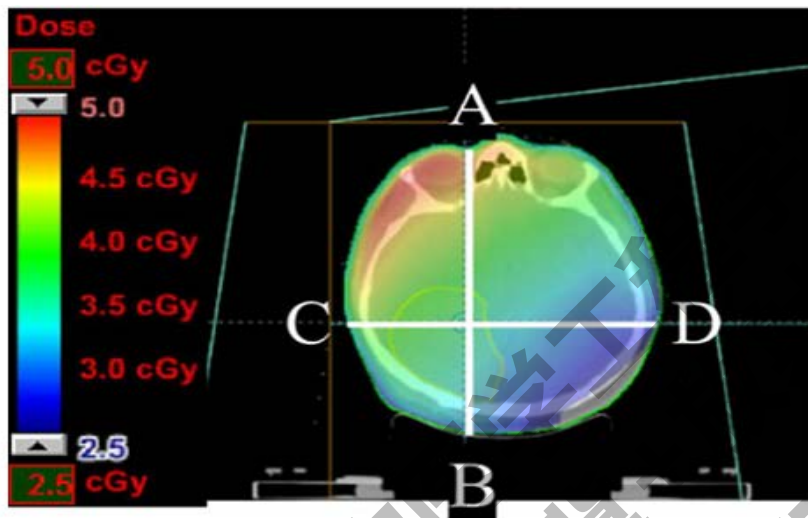
➤ 6 MV 与 2.5 MV

	6 MV	2.5 MV
Machine	Varian Trilogy	Varian Ture Beam
Setup field	26x20 cm	20x20 cm
MU	2.0 MU	1.0 MU
Paper	[26]Ding GX. Radiation exposure to patients from image guidance procedures and techniques to reduce the imaging dose.Radiother Oncol. Jul 2013;108:91–98.	[70]Ding GX. Characteristics of 2.5MV beam and imaging dose to patients. Radiother Oncol. 2017;125:541–547.

兆伏级射束成像

■ EPID

- 正交方向得到6MV射野图像的剂量分布 (2 MU per image)



兆伏级射束成像

■ EPID

➤ 6 MV 与2.5 MV(1-5 cGy的器官剂量)

表 I A 头颈部位使用MV EPID拍摄射野影像时常见器官的受照剂量。D50指50%器官体积的最小受照剂量(6MV[26],2.5MV[70]),这些数据是一对典型正交摆位野照射产生(6MV为2MU/射野, 2.5MV为1MU/射野)。

Organ	D50 range (cGy)	
	6 MV	2.5 MV
Brain	2.0–5.0	1.0–2.0
Brainstem	3.0–4.0	1.0–2.0
Chiasm	3.0–5.0	1.2–2.0
Eyes	3.0–5.0	1.3–2.0
Optic Nerves	3.0–5.0	1.0–2.0
Pituitary	2.0–5.0	1.0–2.0

兆伏级射束成像

■ EPID

➤ 6 MV 与 2.5 MV

表 I B 胸部治疗部位使用MV EPID拍摄射野影像时常见器官的受照剂量(6MV[26], 2.5MV[70]),这些数据是一对典型正交摆位野照射产生(6MV为2MU/射野, 2.5MV为1MU/射野)。

Chest		
D50 range (cGy)		
Organ	6 MV	2.5 MV
Aorta	2.0–4.0	1.0–2.0
Lungs	1.0–4.5	0.5–2.0
Esophagus	2.5–3.5	—
Kidney	2.0–3.0	—
Heart	3.0–4.5	1.0–1.5
Liver	1.0–4.5	
Spinal Cord	2.0–3.0	0.5–1.0

兆伏级射束成像

■ EPID

➤ 6 MV 与 2.5 MV

表 I C腹盆部位使用MV EPID拍摄射野影像时常见器官的受照剂量(6MV[26], 2.5MV[70]),这些数据是一对典型正交摆位野照射产生(6MV为2MU/射野, 2.5MV为1MU/射野)。

Organ	D50 range (cGy)	
	6 MV	2.5 MV
Pelvis		
Bladder	2.0–3.5	1.0–1.5
Bowel	2.0–4.0	1.0–1.5
Femoral heads	2.5–3.5	0.8–1.5
Prostate	3.5–3.5	0.9–1.1
Rectum	2.0–4.0	0.8–1.0

兆伏级射束成像

■ MV CBCT:

- EPID 重建得到
- 2~15MU
- 头颈部位2~5MU
- 胸腹部位~15MU

表 I D MV-CBCT使用6MV治疗射束机架旋转200°扫描获取定位图像(起始角度为270°, 结束角度为110°), 每单位跳数造成的常见器官的成像剂量。

Location	Isocenter dose (cGy/MU)	Average organ dose (cGy/MU)	Maximum organ dose (cGy/MU)
Cranium	0.88 ± 0.01		
Total-brain		0.90 ± 0.01	1.16 ± 0.01
Left lens		1.15 ± 0.03	1.18 ± 0.01
Right lens		1.13 ± 0.03	1.18 ± 0.01
Left eye		1.16 ± 0.01	1.19 ± 0.01
Right eye		1.13 ± 0.01	1.16 ± 0.01
Thorax	0.81 ± 0.06		1.25 ± 0.03
Left lung		0.85 ± 0.06	1.15 ± 0.06
Right lung		0.80 ± 0.06	1.11 ± 0.04
Total lung		0.83 ± 0.06	1.15 ± 0.05
Spinal canal		0.59 ± 0.10	0.80 ± 0.08
Heart		0.86 ± 0.15	1.10 ± 0.06
Vertebral bodies		0.61 ± 0.08	0.86 ± 0.15
Soft Tissue		0.61 ± 0.09	1.25 ± 0.03
Pelvis	0.75 ± 0.04		1.25 ± 0.01
Femoral heads		0.80 ± 0.14	0.95 ± 0.09

兆伏级射束成像

■ MV CBCT:

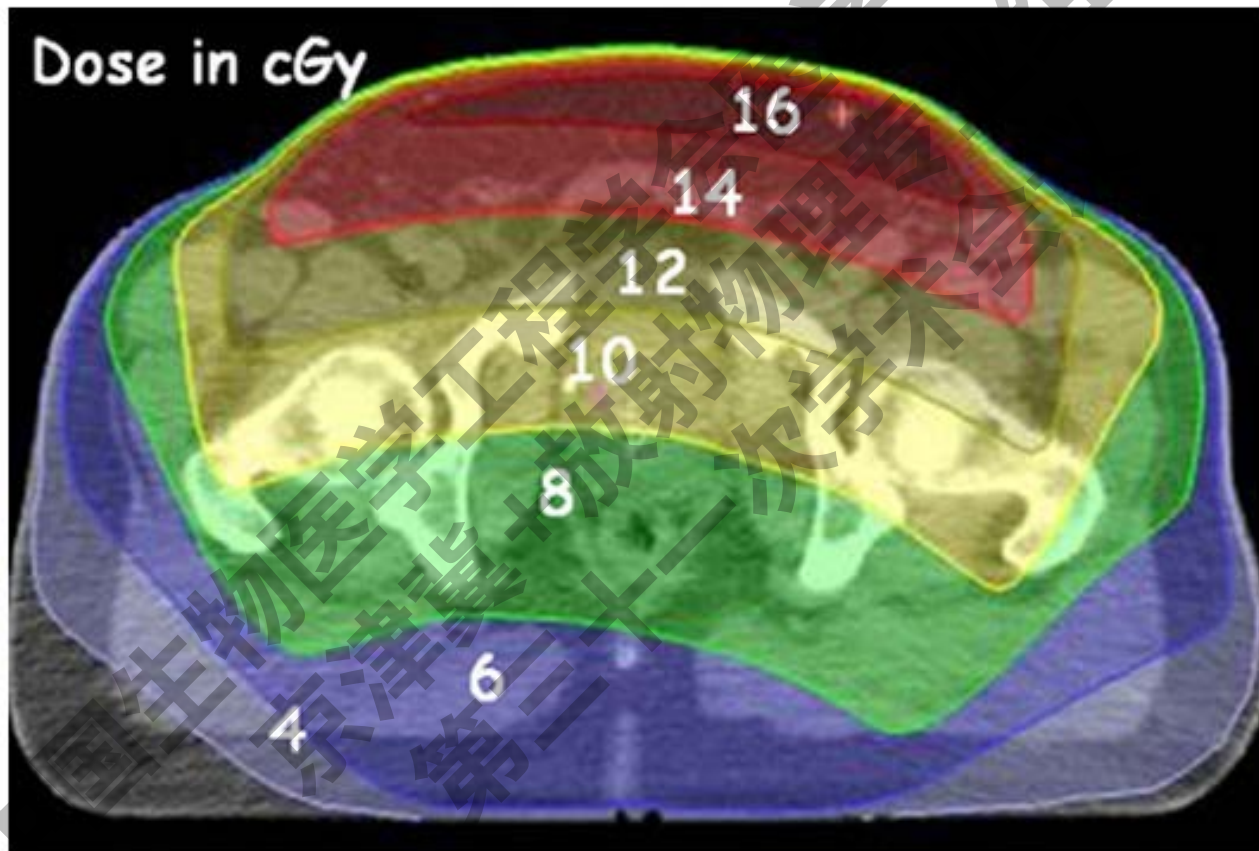


图2 前列腺癌患者MV-CBCT定位过程中产生的剂量分布，使用6MV射束照射15MU，不对称的剂量分布是由于图像是在机架旋转200度的情况下扫描得到的。

兆伏级射束成像

■ TOMO MVCT

➤ 30cm水箱中心

➤ 0.8~2.5 cGy

表 I E 在30cm水模体中心测量的TOMO MVCT的剂量，剂量大小取决于采集模式。

MVCT in Tomo	
Acquisition mode	Dose (cGy)
Fine pitch (4 mm couch travel/rotation)	2.5 cGy
Normal pitch (8 mm couch travel/rotation)	1.2 cGy
Coarse pitch (12 mm couch travel/rotation)	0.8 cGy

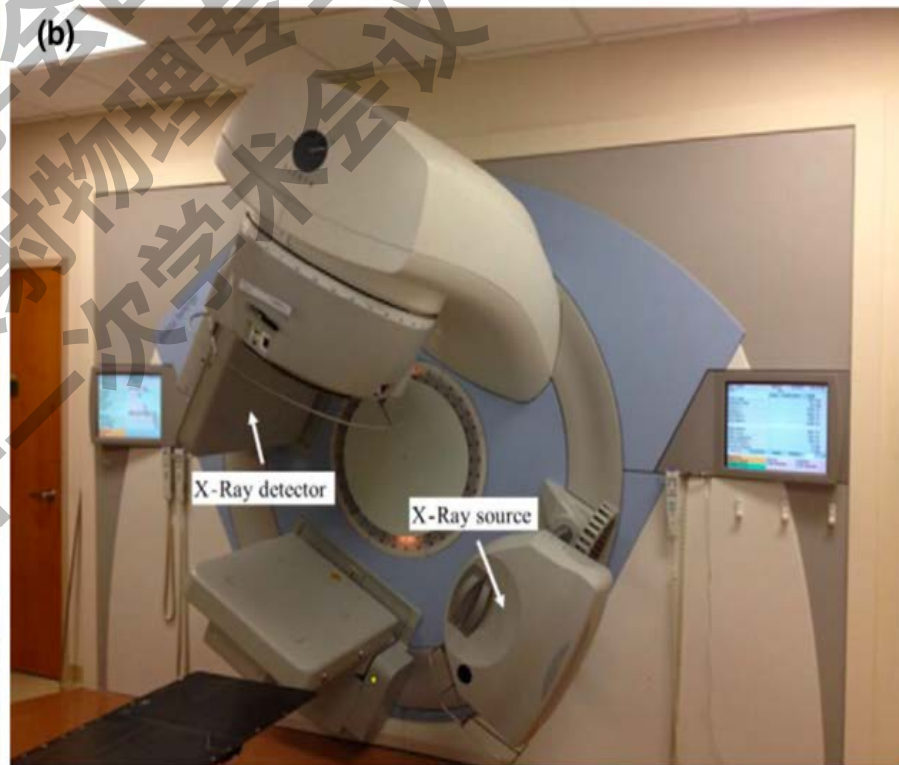
From Edward Chao, Accuray Incorporated and T. Rock Mackie, UW, Madison, WI.

千伏级射束成像

■ kV CBCT



Varian On Board Imaging (OBI)



Elekta X-Ray Volume Imaging (XVI)

千伏级射束成像

■ 单次kV CBCT带来的剂量

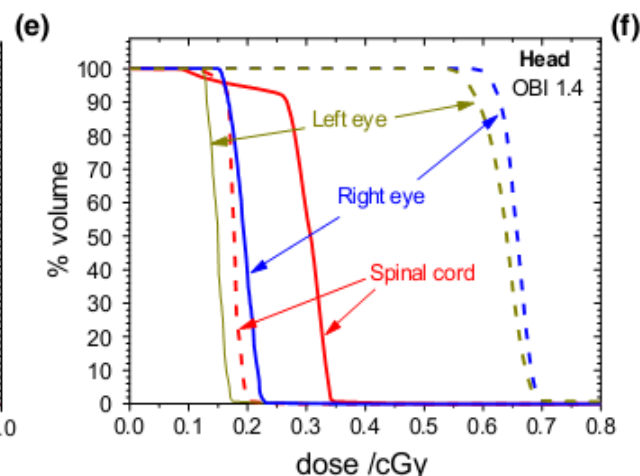
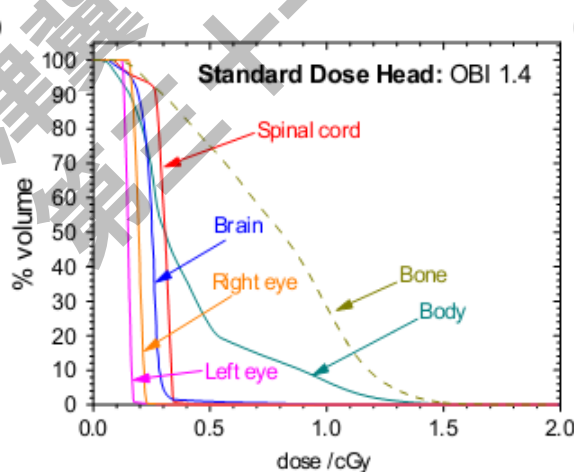
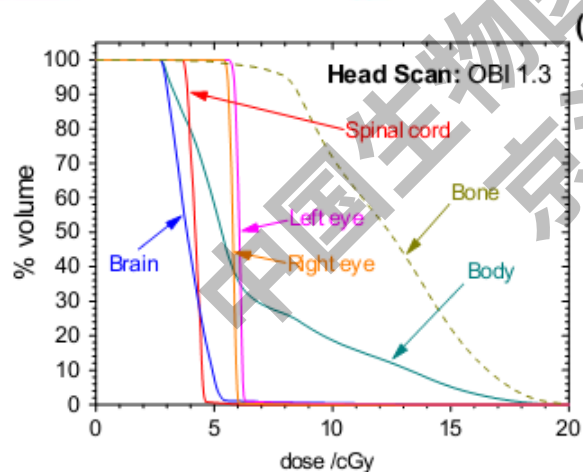
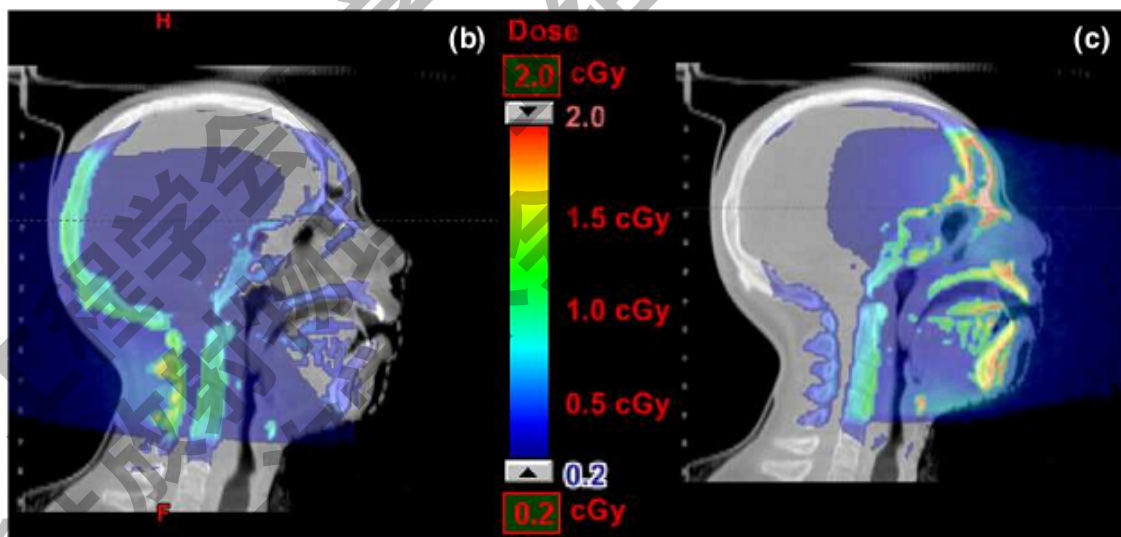
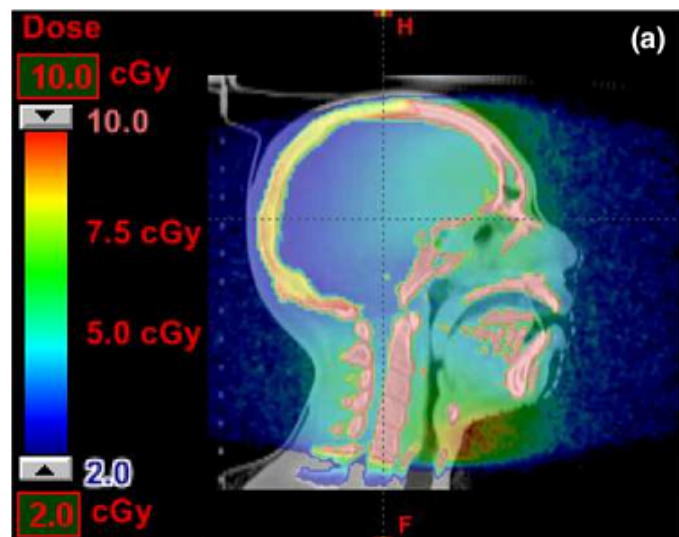
- 软组织：1~9 cGy
- 骨组织：6~29 cGy

■ 降低kV CBCT成像剂量的方法

- 改进图像重建技术
- 降低扫描射束能量（125kVp 降到100~110 kVp）
- 减少扫描角度（370° 降到200°）

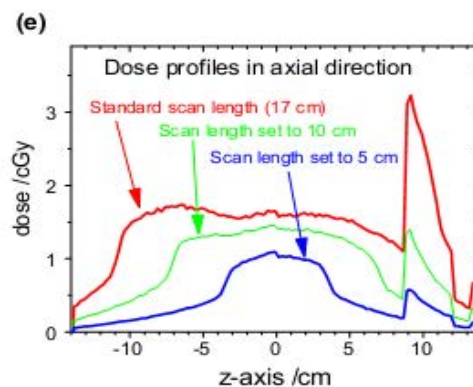
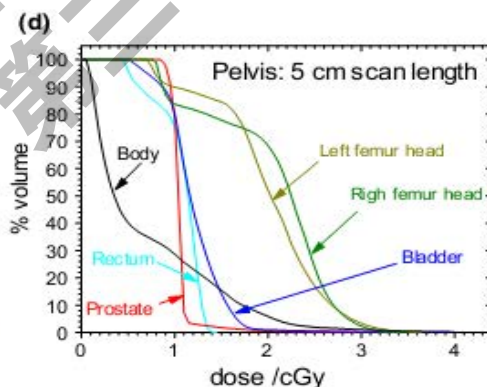
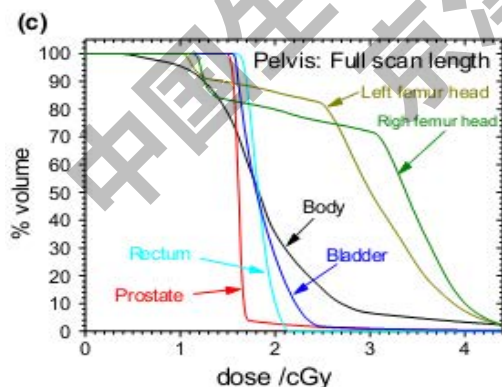
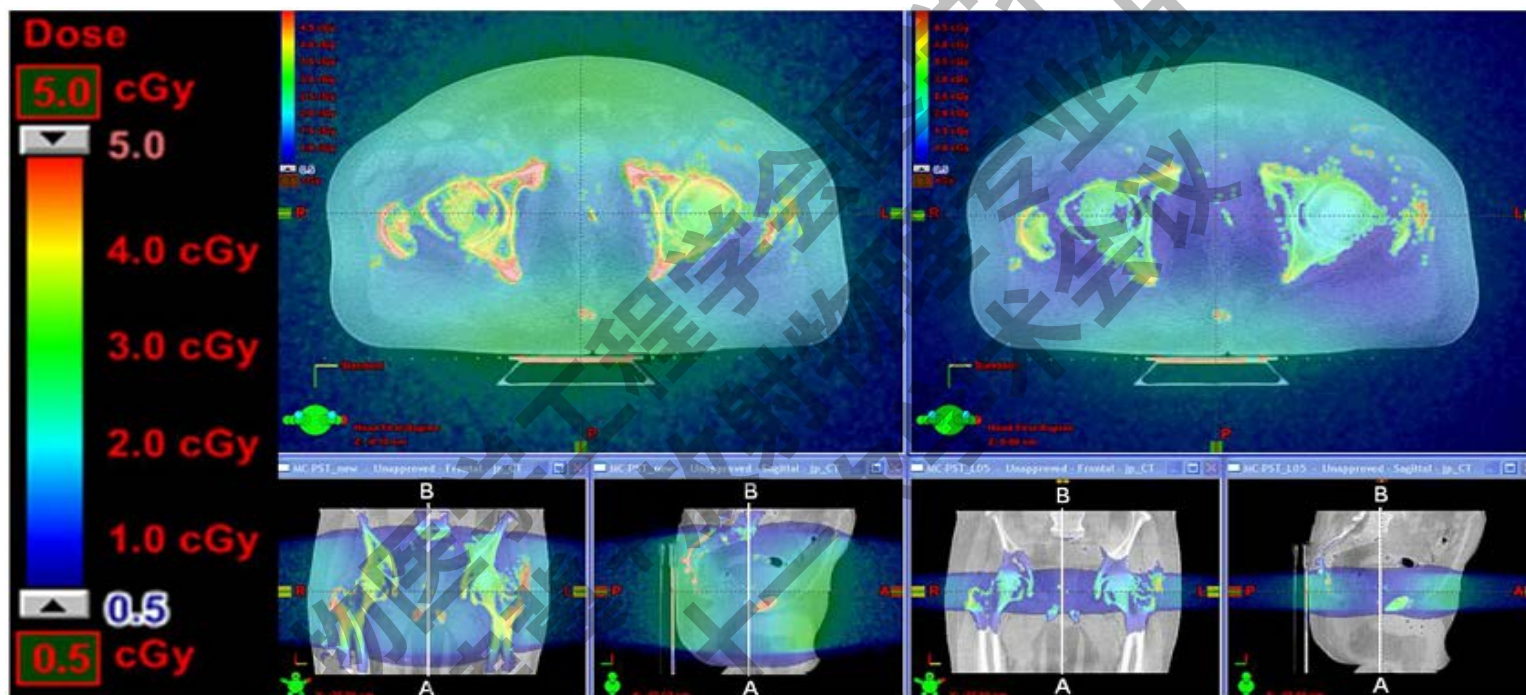
千伏级射束成像

■ 降低kV CBCT成像剂量



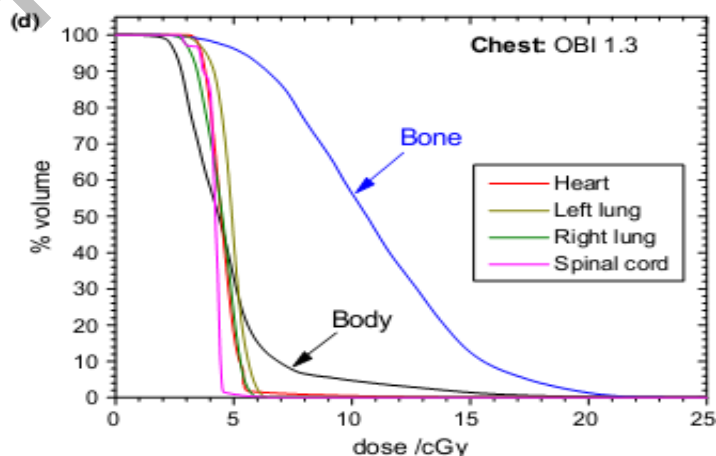
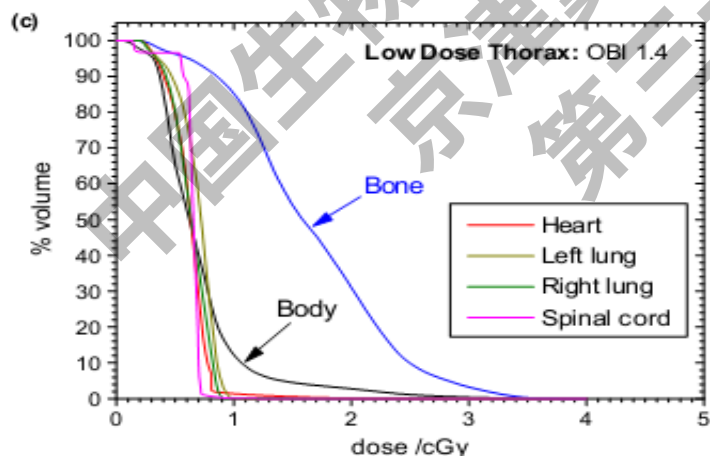
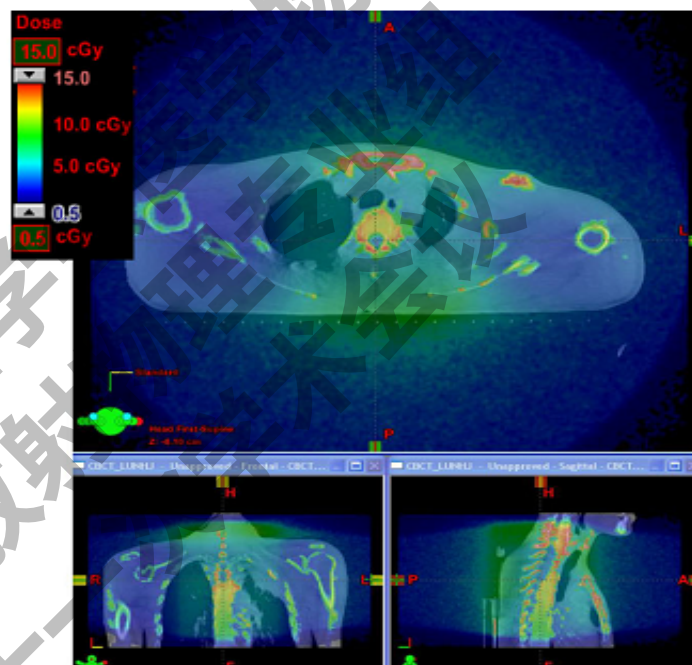
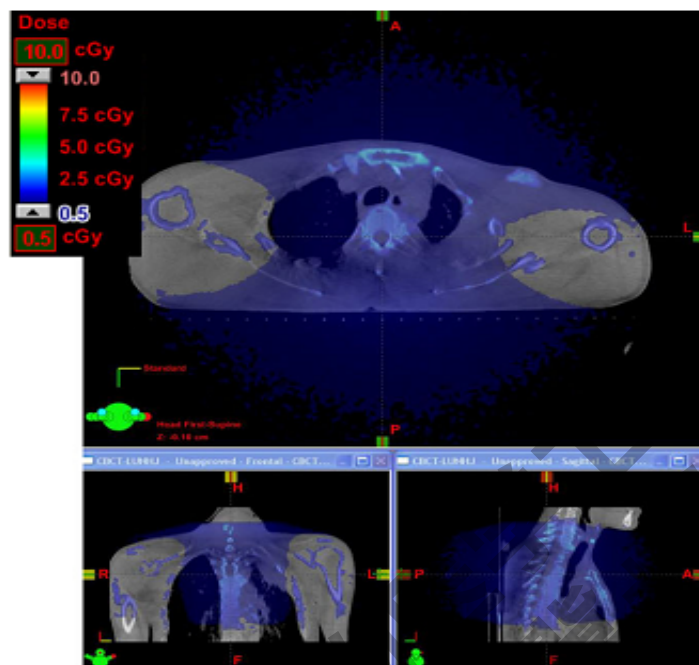
千伏级射束成像

■ 降低kV CBCT成像剂量



千伏级射束成像

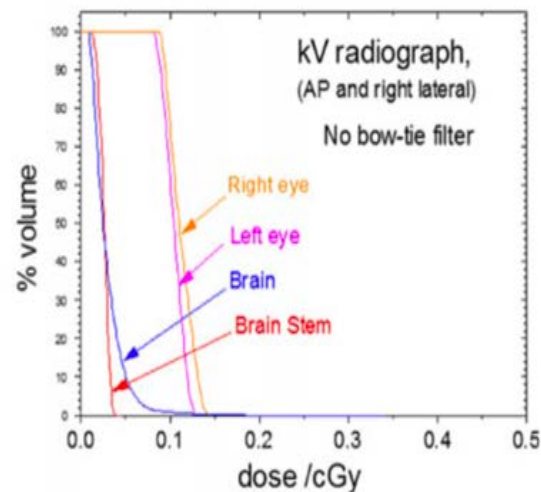
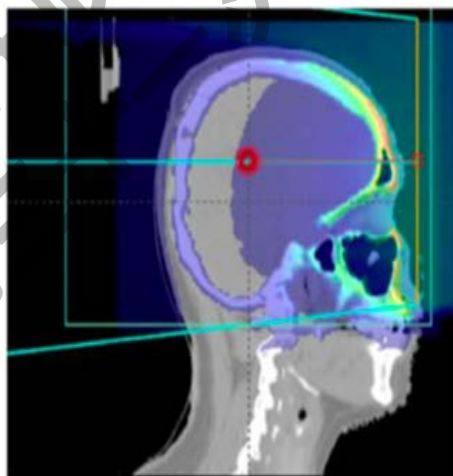
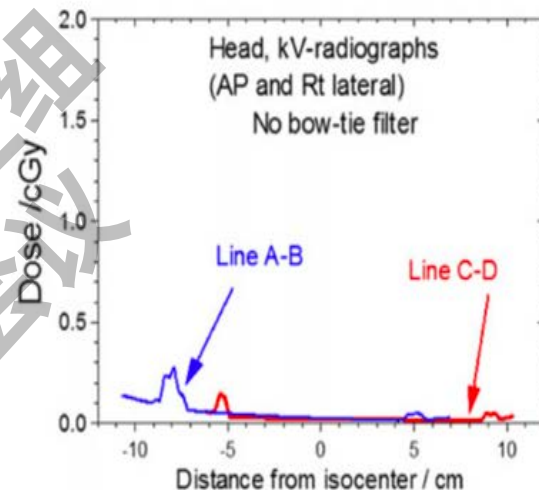
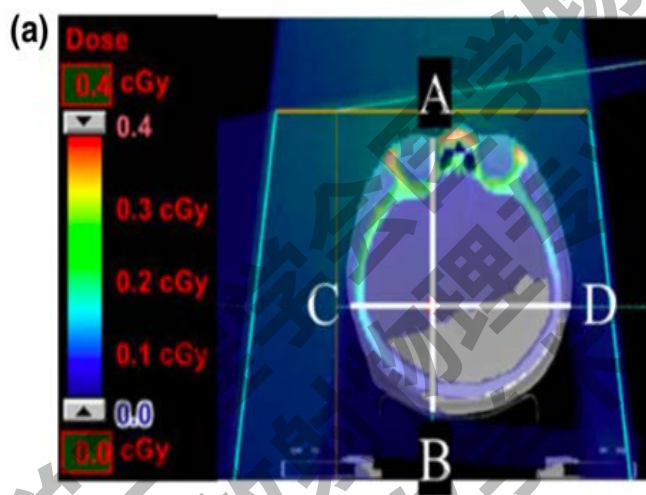
■ 降低kV CBCT成像剂量



千伏级射束成像

■ kV 正交成像

- 成像剂量比kV CBCT要低得多
- Brainlab ExacTrac
- CyberKnife

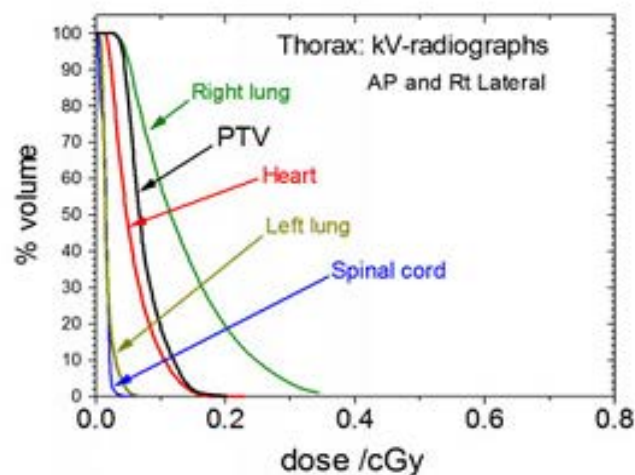
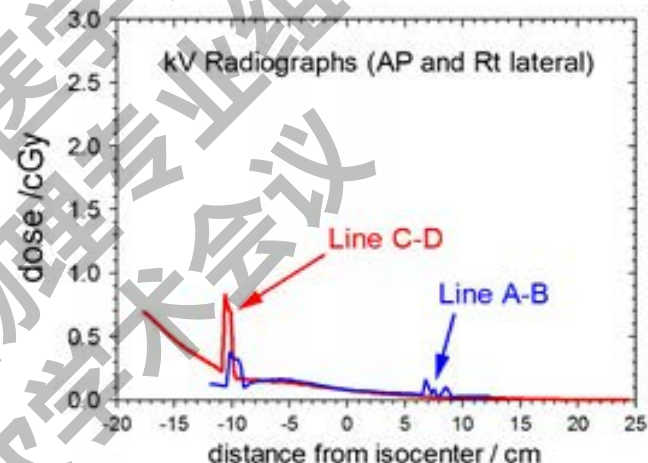
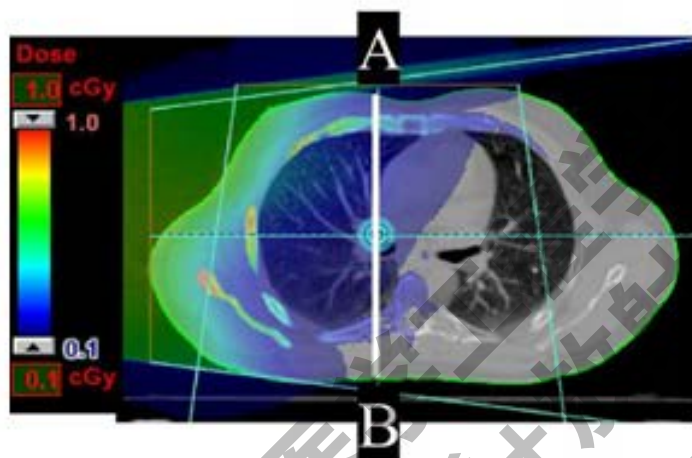


Varian OBI kV正交成像-头部

千伏级射束成像

■ kV 正交成像

(b)

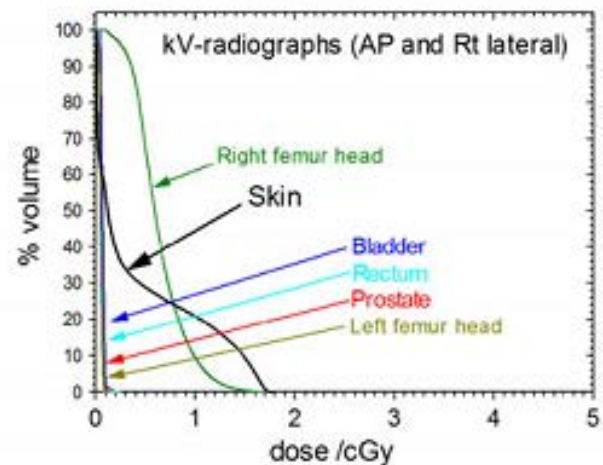
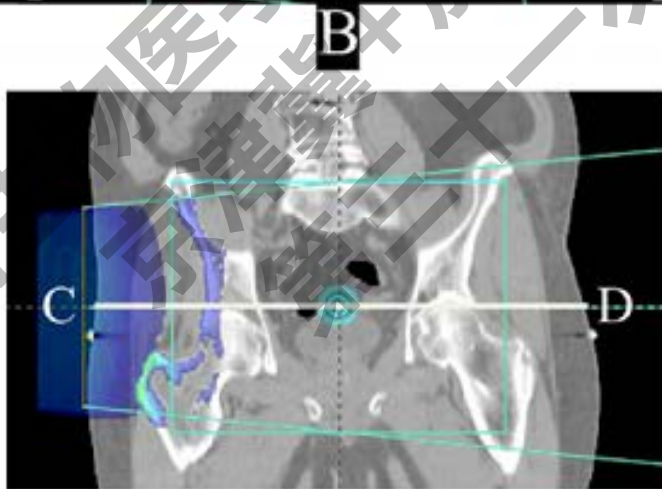
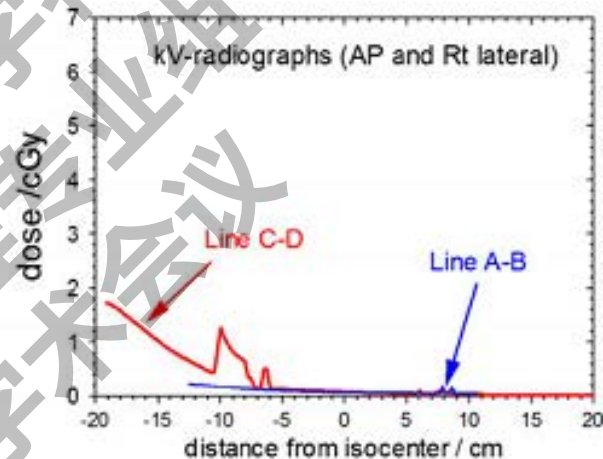
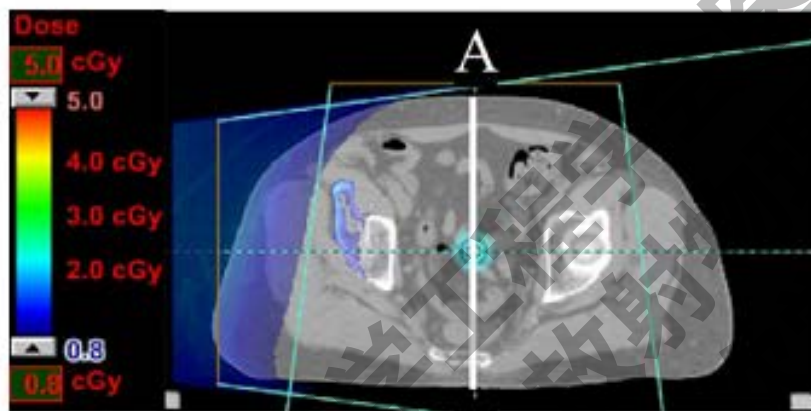


Varian OBI kV正交成像-胸部

千伏级射束成像

■ kV 正交成像

(c)



报告解读

- 制定报告的背景及目的
- 图像引导产生剂量的概述
- 千伏级和兆伏级图像的剂量计算算法
- 千伏级成像射束剂量学
- 成像剂量的累计计算方法
- 建议

千伏级和兆伏级图像的剂量计算算法

■ 基于蒙卡的方法

- 蒙卡算法作为剂量计算的金标准广泛应用于MV和kV级射束的剂量计算中；
- MC code—BEAM
- 许多商用的计划系统嵌入了MC算法并将其应用于计算MV级射束剂量，但当前商用系统中并没有嵌入针对kV级射束剂量计算的MC算法。

千伏级和兆伏级图像的剂量计算算法

■ 基于模型的方法

- 基于模型的MV级射束的剂量计算算法广泛嵌入到商用的治疗计划系统中；
- 基于模型的kV级射束成像剂量的计算不够准确（未考虑光电效应，造成低估骨性结构剂量）；
 - ◆ 在MV级算法中增加低能剂量沉积核（53,98）
 - ◆ Medium-Dependent Correction (MDC)的方法，考虑了原子序数的影响,计算的准确度提高10-20%(94,95,102)

报告解读

- 制定报告的背景及目的
- 图像引导产生剂量的概述
- 千伏级和兆伏级图像的剂量计算算法
- 千伏级成像射束剂量学
- 成像剂量的累计计算方法
- 建议

kV级成像射束剂量学

- 当前商用计划系统不具有kV级成像射束剂量计算的模块；
- 考虑到将来可能会将kV级成像剂量计算方法添加到商用计划系统中，本节提供了kV级成像射束数据采集方面的指导。

kV级成像射束剂量学

- 数据采集

- 深度剂量曲线

- Profile曲线

- 绝对剂量

- 辐射剂量率低，测量结果极大依赖于测量材料，数据不易采集；

- 使用验证过的蒙卡模拟数据。

kV级成像射束剂量学

■ 输出量测量

- 校准后的电离室（依据HVL和kVp校准）
- 水模体：最适合
- 水等效模体：更方便
 - ◆ 不确定性（8%-20%）
 - ◆ 合适尺寸（与成像尺寸相比）
 - ◆ 考虑模体导致的射束衰减
 - ◆ 模体的可使用性

Report

076

TG061



2001

AAPM protocol for 40–300 kV x-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology

'AAPM protocol for 40–300 kV x-ray beam dosimetry in radiotherapy' found in Title

kV级成像射束剂量学

- 在体剂量测量
 - 热释光剂量计(TLD)
 - 光致发光剂量计(OSLD)
 - MOSFETs
 - 半导体剂量计不适合kV级射束测量
 - 测量时将探测器置于患者皮肤上，经过体内已知剂量分布的刻度，评估器官的剂量。

报告解读

- 制定报告的背景及目的
- 图像引导产生剂量的概述
- 千伏级和兆伏级图像的剂量计算算法
- 千伏级成像射束剂量学
- 成像剂量的累计计算方法
- 建议

成像剂量的累计方法

- 当成像剂量可能超过总处方剂量的5%时，有两种方法可用于计算、管理该剂量：
 - 患者特异性的剂量计算(patient-specific dose calculations)
 - 非患者特异性的剂量估算(Nonpatient-specific imaging dose estimations)

患者特异性的剂量计算

- 基于患者的CT图像
- 在计划系统中对成像的射束进行commission
- 根据成像MU和射野尺寸计算成像剂量
- 将成像剂量考虑进来，优化靶区和OAR的剂量
- 当前商用TPS中缺少基于蒙卡或模型的算法来计算kV级射束，患者特异性的成像剂量计算仅适用于MV级射束。

非患者特异性的剂量估算

- 患者间的差异和几何依赖性很小;
- 剂量估计可以从简单的查表得到, 对于重复性的成像扫描, 这足以较准确地估计其成像剂量;
- **表 IIA, IIB, IIC, IID, IIE, and IIIA, IIIB, IIIC** 列出了 Varian OBI 和 Elekta XVI 的 kV-CBCT 在不同治疗位置和扫描参数下的各个器官接受的剂量。

非患者特异性的剂量估算

表 II A 头颈部位使用Varian OBI v1.4版本kV-CBCT标准头扫描模式的器官剂量[67]。D50和D10分别指50%和10%器官体积的最小受照剂量(kV-CBCT扫描参数见表 II D)。

Standard head, brain			Standard head, head and neck		
Organ	D50 range (cGy)	D10 range (cGy)	Organ	D50 range (cGy)	D10 range (cGy)
Brain	0.21–0.33	0.27–0.40	Brain	0.15–0.22	0.16–0.23
Brainstem	0.19–0.30	0.22–0.32	Larynx	0.21–0.29	0.25–0.33
Chiasm	0.08–0.26	0.09–0.26	Oral cavity	0.13–0.26	0.20–0.31
Eyes	0.03–0.31	0.04–0.35	Parotids	0.26–0.42	0.31–0.48
Optic Nerves	0.05–0.27	0.05–0.27	Spinal cord	0.16–0.25	0.19–0.32
Pituitary	0.07–0.24	0.08–0.25	Thyroid	0.07–0.23	0.11–0.32
Spinal Cord	0.26–0.33	0.29–0.34	Esophagus	0.07–0.16	0.14–0.26
Skin	0.19–0.41	0.39–0.63	Skin	0.18–0.27	0.34–0.44
Bones	0.45–1.11	1.13–1.67	Bones	0.25–0.65	0.64–1.07

非患者特异性的剂量估算

表 II B 胸部部位使用Varian OBI v1.4版本kV-CBCT低剂量胸部扫描模式的器官剂量[114]。(kV-CBCT扫描参数见表 II D)。

Low-dose thorax		
Organ	D50 range (cGy)	D10 range (cGy)
Aorta	0.42–0.58	0.44–0.63
Lungs	0.30–0.61	0.43–0.72
Small bowel	0.33–0.54	0.39–0.61
Esophagus	0.29–0.60	0.35–0.74
Kidney	0.43–0.54	0.49–0.59
Heart	0.31–0.55	0.41–0.63
Liver	0.31–0.51	0.38–0.61
Spinal cord	0.32–0.57	0.35–0.78
Spleen	0.32–0.52	0.36–0.60
Stomach	0.28–0.57	0.31–0.62
Trachea	0.36–0.71	0.47–1.04
Skin	0.46–0.57	0.64–0.89
Bones	1.06–1.74	1.47–2.25

非患者特异性的剂量估算

表 II C 腹盆部位使用 Varian OBI v1.4 版本 kV-CBCT 腹盆扫描模式的器官剂量[114]。(kV-CBCT 扫描参数见表 II D)。

Pelvis scan, prostate isocenter		
Organ	D50 range (cGy)	D10 range (cGy)
Bladder	1.36–2.20	1.72–2.69
Bowel	1.54–1.91	2.04–2.65
Femoral heads	2.40–3.60	3.22–4.88
Prostate	1.19–1.79	1.33–1.89
Rectum	1.51–1.99	1.70–2.22
Skin	1.80–1.96	2.26–2.92
Bone	2.93–3.96	4.61–5.72

非患者特异性的剂量估算

表 II D Varian OBI v1.4版本kV-CBCT不同扫描模式的扫描参数[26]。

kV-CBCT	Name	Bow-tie filter	(kV)	(mAs)	Gantry rotation (degrees)
OBI	Standard-dose head	Full fan	100	145	200
OBI	Low-dose head	Full fan	100	72	200
OBI	High-quality head	Full fan	100	720	200
OBI	Pelvis	Half fan	125	700	360
OBI	Pelvis spot light	Full fan	125	720	200
OBI	Low-dose thorax	Half fan	110	262	360
TrueBeam	Head	Full fan	100	147	200
TrueBeam	Pelvis	Half fan	125	1056	360
TrueBeam	Spotlight	Full fan	125	733	200
TrueBeam	Thorax	Half fan	125	264	360

非患者特异性的剂量估算

表 II E Varian OBI v1.4版本kV摄影不同扫描部位的曝光参数

Name	(kV)	(mAs)
Head-AP	100	8
Head-Lat	70	5
Thorax-AP	75	5
Thorax-Lat	95	40
Pelvis-AP-Med	75	10
Pelvis-Lat-Med	105	80

The clinical default OBI blades are set to $X1 = X2 = 13.3$ cm and $Y1 = Y2 = 10.3$ cm in all acquisition techniques. All six techniques were modeled with and without a full fan bow tie filter.

非患者特异性的剂量估算

表IIIA 头颈部位使用Elekta XVI kV-CBCT扫描的器官剂量
(S cassettes, 100 kVp, 0.1 mAs/acquisition, 360
acquisitions, 345–190 degree rotation)

Head and neck	
Organ	D50 range (cGy)
Brainstem	0.06–0.08
Rt eye	0.08–0.09
Lt eye	0.13–0.13
Rt parotid	0.05–0.06
Lt parotid	0.16–0.17
Rt cochlea	0.04–0.05
Lt cochlea	0.09–0.12
Oral cavity	0.09–0.11

非患者特异性的剂量估算

表IIIB 腹盆部位使用Elekta XVI kV-CBCT扫描的器官剂量 (M cassette without a bow tie filter, 120 kVp, 1.0 mAs/acquisition, 650 acquisitions, full 360 degree rotation)

Pelvis	
Organ	D50 range (cGy)
Bladder	0.9–2.0
Rectum	1.1–1.9
Small bowel	1.0–1.8

表IIIC 腹盆部位使用Elekta XVI kV-CBCT扫描的器官剂量(M cassette with bow tie filter, 120 kVp, 1.6 mAs/acquisition, 650 acquisitions, full 360 degree rotation)

Pelvis	
Organ	D50 range (cGy)
Bladder	1.1–2.5
Rectum	1.3–2.4
Small Bowel	1.1–2.3

报告解读

- 制定报告的背景及目的
- 图像引导产生剂量的概述
- 千伏级和兆伏级图像的剂量计算算法
- 千伏级成像射束剂量学
- 成像剂量的估算方法
- 建议

建议

■ 一般性建议

- 根据临床需要，建立科室成像扫描规范，包括成像模式、成像技术和成像频率。必要时咨询影像物理师。
- 建立儿科患者特定的成像扫描规范。
- 与放射医师沟通不同部位（头，胸，腹）的IGRT方案所带来的成像剂量。这有助于医生选择成像扫描方案，并有助于医生将患者所接受的成像剂量考虑进来。

建议

- 输出量和一致性检测
 - 对于图像扫描流程中的预期成像剂量，需要依据AAPM对kV和MV射束的剂量测定规范，在空气中或模体中测量该剂量，以确定测量得到的剂量是在制造商所声明的范围内
 - ◆ 包括MV级和kV级能量
 - ◆ 模体和检测仪器应该与射束能量相匹配
 - ◆ 模体尺寸应该足够大

建议

■ 输出量和一致性检测

- 应该每年（或者每一次系统升级后）都进行一致性检测；
- 按照AAPM的质量保证报告（如AAPM Task Group 142）进行；
- 如果对于特殊的患者需要进行特异性成像剂量的验证，应该使用合适的检测仪器进行在体剂量测量。

建议

■ 考虑成像剂量的患者累计剂量

- 当重复的成像扫描流程预期将带来超过总处方剂量的5%时，则应该将成像剂量考虑到总剂量中；
- 成像剂量的计算的不确定性达到 $\pm 20\%$ 时也是可以接受的，因为成像剂量相对于处方剂量而言是小量级的。因此，总剂量（治疗剂量+成像剂量）的不确定性可能会达到2-3%。

建议

■ 减小成像剂量的方法

- 尽可能地减小成像射野尺寸;
- 对于Tomotherapy，选择能够平衡成像剂量和临床需求的MVCT扫描参数。不同的扫描参数得到成像剂量，其差异是显著的。

建议

■ 减小成像剂量的方法

- 对于MV-CBCT，选择一种病人特异性的MV级成像规范，同时限制成像的FOV。使用骨性解剖结构代替软组织来进行治疗定位时，成像剂量将显著性减小。剂量减小的程度依赖于临床医师对图像质量的要求。

建议

■ 减小成像剂量的方法

- 依据**ALARA**指导原则，如果两个正交平面的**kV**图像能够满足需求，则优先选择**2D X**射线摄影图像。与**3D kV-CBCT**相比，**2D kV**成像可将图像引导带来的器官剂量可减小**10**倍。
- 优化成像参数（如**kVp**, **mAs**），选择合适的各个部位的临床扫描协议。对于儿科患者，默认的低剂量头颈部**kV-CBCT**扫描协议可以应用于盆腔位置的扫描。可以在保证图像质量的同时将成像剂量减小**2-3**倍。

建议

■ 减小成像剂量的方法

- 仅进行部分旋转角度的kV-CBCT扫描协议可减少器官的照射剂量。
- 对于kV级X射线，可通过选择正交平面图像的射束方向来最小化重要器官接受的剂量。对于固定的正交射束对，射束角度不仅仅可以选择0度和90度，还可以选择180度和90度、0度和270度、180度和270度。

建议

■ 减小成像剂量的方法

- 获取kV级图像时使用**bow tie** 滤过板。**bow tie**滤过板可以显著性减小皮肤剂量和危及器官接受的剂量。

小结

- 平衡ALARA原则与有效地靶区定位需要，要求在权衡患者风险和利益的基础上对图像引导扫描引入的照射剂量进行有效的管理控制。

问题

第一题（单选）

- TG 180建议的图像引导成像剂量的阈值是：
A.1% B. 2% C.3% D.5%

第二题（多选）

- 图像引导引入的剂量大小依赖于下列哪些因素：
A.扫描范围 B.成像频率
C.成像能量 D.扫描技术

问题

第三题（多选）

■ 降低kV CBCT成像剂量的方法

- A.改进图像重建技术
- B.降低扫描射束能量
- C.减少扫描角度
- D.使用bow tie 滤过板

致谢

感谢郭露物理师对报告的翻译!

感谢王伟主任，蒋胜鹏及各位同事提出的宝贵意见！

谢谢大家！