

1236

ICS 11.040.60  
C 43

YY

# 中华人民共和国医药行业标准

YY/T 1548—2017

## 放射治疗用胶片剂量测量方法

Film dose measurement methods used in radiation therapy

2017-05-02 发布

2018-04-01 实施



国家食品药品监督管理总局 发布

目 次

前言 ..... I

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 放射治疗用胶片剂量测量所用仪器设备及条件 ..... 2

5 参数测量与调整 ..... 4

6 剂量响应校准 ..... 5

7 胶片的辐照后处理与保存 ..... 6

附录 A（资料性附录） 扫描仪与光密度计的验收测试和质量保证 ..... 8

附录 B（资料性附录） 放射治疗常用几种胶片产品及其标称剂量使用范围 ..... 10

附录 C（资料性附录） RG 胶片处理和冲洗 ..... 11

附录 D（规范性附录） 实用辐照及评定 ..... 17

参考文献 ..... 19

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由国家食品药品监督管理总局提出。

本标准由全国医用电器标准化技术委员会放射治疗、核医学和放射剂量学设备分技术委员会 (SAC/TC 10/SC 3) 归口。

本标准起草单位:北京市医疗器械检验所、培德维辐射测量仪器(北京)有限公司、中国医学科学院肿瘤医院、山东省计量科学研究院、北京中康联医疗器械开发有限公司。

本标准主要起草人:张新、付国涛、田中青、王建立、张可、刘洋、张中柱。

# 放射治疗用胶片剂量测量方法

## 1 范围

本标准规定了放射治疗中利用胶片进行剂量测量的方法。

本标准适用于放射治疗中的胶片法剂量测量。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 17857 医用放射学术语(放射治疗、核医学和辐射剂量学设备)

GB/T 18788—2008 平板式扫描仪通用规范

## 3 术语和定义

GB/T 17857 和 GB/T 18788—2008 中界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**辐射显色胶片 radiochromic film**

**RC 胶片**

用于放射治疗中具备辐射显色效应的胶片;辐射曝光后固体材质(胶片)吸收了辐射光子而不需要潜在的化学、光学或者热力变化显影或者放大,即可形成稳定、实时显色的图像;此材质带有或不带有一层能防止颜色后续变化的敏感材料。

### 3.2

**辐射显像胶片 radiographic film**

**RG 胶片**

由透明片基、覆盖在片基双面或单面的含卤化银晶体颗粒(主要是溴化银)的乳胶以及保护乳胶的涂层组成;当胶片受到可见光或电离辐射辐照时,卤化银(AgH)晶体颗粒中的银离子( $\text{Ag}^+$ )还原为银原子(Ag),数个银原子就形成所谓的“潜影”;洗片时,显影液促使晶体颗粒的  $\text{Ag}^+$  还原为 Ag,形成高黑度差别的灰度影像。

### 3.3

**感光灵敏度 optical sensitivity**

即 ISO 灵敏度,用来衡量光线测量设备正常曝光所需光线强度。

### 3.4

**光密度 optical density; OD**

描述胶片的不透明度,用光透过因子定量表示。

数学式表达为  $OD = \lg \frac{I_0}{I}$

式中,  $I_0$ 、 $I$  分别是经过胶片前、后光的强度。

### 3.5

#### 分辨率 resolution

扫描仪分辨图像细节的能力,以单位长度上的信息采样点数来表征,其单位是每英寸点数(dpi),分辨率的大小决定了扫描仪记录图像细节的丰富程度。

[GB/T 18788—2008, 定义 3.3]

注:另见 GB/T 18788—2008, 3.4 光学分辨率,是指扫描仪的物理分辨率。

### 3.6

#### 扫描速度 scanning speed

在一定扫描条件下,单位时间所获取的图像数据量,单位以兆字节每秒(MB/s)或秒每页(s/页)表示。

[GB/T 18788—2008, 定义 3.9]

### 3.7

#### 最大扫描区域 max scanning range

扫描仪可以扫描的最大原稿图像的尺寸,通常以纸张的标准类型表示。

[GB/T 18788—2008, 定义 3.11]

## 4 放射治疗用胶片剂量测量所用仪器设备及条件

注:本章内容给出了建立胶片剂量测量方法所需要关注的技术内容。

### 4.1 胶片

#### 4.1.1 常见胶片种类

目前用于放射治疗剂量测量的胶片主要有两种类型:RG 胶片和 RC 胶片。

注:例如,Kodak X-OMAT V(XV)和 Kodak EDR2 为 RG 胶片;Gafchromic 胶片 MD-55, Gafchromic 胶片 EBT 系列, Gafchromic 胶片 RTQA2 为 RC 胶片。

#### 4.1.2 胶片选择

胶片剂量测量中,对所用胶片的选择,需要考虑胶片尺寸、材料、感光特性、稳定性、能量响应、剂量响应线性区间以及对不同处理条件的响应等因素。根据测量目的,结合胶片制造商和胶片处理分析软件制造商的建议,选择合适的胶片。

#### 4.1.3 胶片裁剪

胶片裁剪的边缘可能会因受到压力而对光密度扫描结果产生影响,应避免对裁剪的边缘进行剂量测量分析,距剪切边缘的距离与裁剪工具与技巧有关,建议该距离至少为 1.5 mm。对于扫描方向敏感的胶片,应在裁剪之后标识出指示扫描方向的信息。

### 4.2 胶片数字化仪

#### 4.2.1 概述

有两种不同的方法对被测胶片的二维光密度进行数字化。

传统使用的仪器是光密度计,使用时固定光源和探测器,平移被扫描物体;或者是固定被扫描物体,平移光源和探测器。这两种方法的共同点是一次只能测量一个点。这种手动的、单点的密度计,将光源孔径区域内的光透过测量做了平均,并且对被测物体对光谱吸收和探测器效率做了加权平均。这种平

移(运动)系统的分辨率取决于所用光源的大小和连续测量时的步进大小。

另外一种仪器是二维成像扫描系统,即扫描仪,工作原理为一个均匀的光源从后面照亮被扫描物体,同时用成像系统测量多个采样点的光透过率。分辨率由成像系统的像素大小决定。这种方法的优点是可以同时采集所有点的数据,实现快速测量。

#### 4.2.2 光源选择

应根据胶片制造商的规定和推荐,来选择胶片扫描所使用的光源,或者由扫描软件来选择光源。

对各种光密度测量系统,一个主要考虑因素是用于吸收测量的光源。光源的重要特征有:发射光谱、尺寸(对平移系统)、均匀性(对成像系统)、输出强度和偏振特性。为了获得最大的感光灵敏度,光源光谱的峰值应位于被测胶片的吸收谱的峰值处。对于成像系统,光源的均匀性也是一个非常重要的参数。原则上,通过空扫,系统光源的不均匀性可以计算出来。使用激光光源时,有必要将样本放置在光散射平面上,防止出现扫描平面板和样品表面的反射导致的干涉伪影。

#### 4.2.3 光探测器的特性

光探测器的特性有:感光灵敏度、频谱效率、线性、信号分辨率。对于单源(平移)系统,传统的探测器是光电倍增管(PMT),使用电流模式开展低吸收/高信号测量,或者使用脉冲计数模式开展高吸收/低信号测量。大多数普通光电倍增管的光谱效率是已知的并且容易从产品说明中获取。需要重点考虑的是系统的线性。影响光电倍增管探测器线性的因素是高脉冲率下(低吸收水平)的计数丢失,以及在从脉冲计数模式到电流模式的转换点,可能产生的非线性。

较灵敏的成像系统使用电荷耦合元件(CCD)探测器,这类设备可以测量很高的光密度,感光灵敏度可以同光电倍增管相比。可以考虑将这种设备作为光密度测量设备,但需要考虑光谱效率和所用的光源有关。

另外,所有探测系统都要考虑的重要特征是信号分辨率,即探测器能够区分的离散的密度台阶数目。信号分辨率也被指定为单个像素的位数。位数多少将直接影响胶片剂量测量精度,例如,8位的设备仅能分辨256级灰阶。

#### 4.2.4 空间分辨率

对任何系统,评价测量空间分辨率常用的方法是读取标准线对卡,以确定最大可分辨的线对数。任何成像系统的空间分辨率通常用可分辨的每毫米线对数来表示。对于移动测量系统(光密度计),影响空间分辨率的因素是:光源大小、连续读数时的最小步长。对于扫描成像系统,决定空间分辨率的是:像素大小、成像阵列中灵敏单元之间间隔区域的大小。限制两种类型系统的空间分辨率的因素还有:样品中光的扩散、读出时的光偏离(散射)。

光密度计一个特点是改变成像探测器相对于光源/样品平面的距离,可能会改变像素的大小。因此当移动系统做单次测量时,测量的仅仅是光源大小的样品区域,成像系统提供了样品像素尺寸范围内的均值,并丢失了像素间“死”区域部分的信息。平移测量系统另一个需要考虑的重要因素是可用的步长的范围。显然,步长的增量远小于光源的大小时无意义。

对于使用胶片测量大梯度剂量场的,需要考虑到扫描系统的分辨率,较大的剂量梯度在扫描过程中会受到影响,以至于扫描结果与胶片上面记录的真实剂量梯度会有差异。见5.4。

#### 4.2.5 位置精度

任何二维光密度计的一个重要参数是输出图像的位置准确度。对平移系统,它受两个测量点之间步长准确度的影响。对于成像系统,成像栅格的整齐性影响着输出图像的准确度。对这两种系统,位置准确度的测量可以通过扫描一个规则的栅格卡确定,比较扫描图像和已知的栅格面积。

#### 4.2.6 采集时间

采集时间决定于样品读出时间和获取数据时间。由于成像系统可以同时获取所有的数据,显然有扫描速度方面的优势。其他影响移动系统的数据采集因素是:单次测量需要的时间、步进到下一个位置需要的时间、传输数据到计算机上所需要的时间。

#### 4.2.7 数字化仪的选择

常见的胶片数字化仪的类型有激光扫描仪、彩色扫描仪和光密度计。实用胶片剂量测量中,胶片数字化仪的选择需要根据 4.2.2~4.2.6 所述的内容,考虑胶片的特点(胶片制造商的推荐)、扫描仪的光密度范围、光源(波长)和探测器特性、空间分辨率、位置精度、采集时间等因素。

#### 4.2.8 扫描仪与光密度计的验收测试和质量保证

扫描仪与光密度计的验收测试和质量保证测试及其频次等参见附录 A。

#### 4.3 胶片扫描软件

扫描软件、扫描仪和剂量分析软件应相互适配。扫描软件应使用户能够获取到光密度数据,并能够转换成其他软件包能处理的格式。

#### 4.4 模体

胶片剂量测量中使用的模体应符合如下要求:

- 尺寸:模体尺寸应大于胶片的有效剂量测量区域,以使得测量区域获得足够的侧向建成;
- 密度:放射治疗中胶片剂量测量使用的模体材料应为水或组织等效的材料,具有水或组织等效的相对电子密度,模体可以具有模拟不同组织和器官的插件,以满足不同的测量需要;
- 均匀性:胶片剂量响应校准中应使用水等效模体;
- 胶片剂量响应校准中使用的模体和实用剂量测量中使用的模体宜使用相同材料。

### 5 参数测量与调整

#### 5.1 空白胶片扫描

开始胶片剂量测量之前,应充分了解扫描仪的扫描特性。为了解最大扫描区域内扫描位置的相关性,即了解扫描仪和扫描软件对不同扫描区域可能具有的不同响应,可以将一张均匀的空白胶片在整个扫描区域内扫描。根据扫描结果获得扫描区域的相关性,用以调整胶片扫描过程中胶片的位置。

对于光密度计,开始实用剂量测量之前,应检查其零点漂移。

#### 5.2 中值大(尺寸)胶片扫描

中值大胶片扫描是指,将接受中值剂量辐照的大尺寸胶片扫描,以期能够获得中值胶片在整个扫描区域内的扫描数据;这些数据能够用来对中值测量的胶片剂量测量提供相关的参数调整基础。在实用胶片剂量测量中,有些点的剂量数值要求比较准确,例如辐射野尺寸(剂量曲线半高宽)测量需要准确的 50%剂量的测量。由于校准胶片剂量响应过程中,中值剂量点往往会受到多次辐照中的散射剂量的影响,因此为了避免多次辐照的散射影响,应将胶片仅使用中值剂量辐照一次。

#### 5.3 极值大(尺寸)胶片扫描

类似于 5.2,如果测量对于剂量极值测量的准确性有较高要求,应扫描使用极值剂量仅辐照一次的

大尺寸胶片,并将扫描数据应用于后续的实用剂量测量中。

#### 5.4 像素值与标准差

扫描过程中,扫描像素大小(扫描分辨率)的设置影响到光密度值的准确性和图像的细密程度。使用较大的扫描像素尺寸,能够使得光密度值的测量更为准确,比较适用于相对均匀的剂量场内的剂量测量,但是图像的细密程度较低;使用较小的扫描像素尺寸,能够获得较为细密的图像,对于被测区域内的尺寸相关测量能够更为准确,但是光密度测量的标准差较大从而导致光密度的准确性会降低。测量者应根据测量的需要来选择合适的扫描像素尺寸。

#### 5.5 胶片剂量测量流程

开展胶片剂量测量的用户在建立了胶片剂量测量流程和系统之后,应保持胶片剂量测量方法中所使用的设备组成和参数设置相对固定,以提高测量条件的一致性和测量结果的准确性。如果对胶片剂量测量方法更改设置或者更改组成,需要重新配置。

### 6 剂量响应校准

#### 6.1 出厂剂量范围的确定

开展胶片剂量测量之前,应了解不同类型胶片的剂量响应范围,以选择合适的胶片种类,保证测量的可靠性。应该在标称剂量范围内使用胶片,剂量范围可能会随胶片的批次不同有所变化。附录 B 中列出了放射治疗常用的几种胶片产品及其剂量使用范围。

#### 6.2 辐照方法与辐照剂量的选择

在开展胶片剂量测量时,应在一次测量中尽量用同一批次的胶片。

胶片应使用较大的均匀辐射场校准;胶片应在放置在一个较大尺寸辐射野的中心位置,和一个参考深度(例如 5 cm)。辐射野的平坦度应采用其他剂量计确认(例如电离室剂量计),以便可以在剂量感兴趣范围内使用绝对剂量对胶片直接校准。

根据实用测量的目的和预计的应用,选择合适的辐照方法和辐照剂量。在建立光密度-剂量校准关系的过程中,可以使用如下方法辐照被校准的胶片:

- 正方形剂量区:将每张待校准胶片划分为 4 个或 6 个或 9 个区域,分别辐照不同的剂量,剂量间隔根据测量的需要合理设定;
- 正方形叠加:以每张待校准胶片中心为中心,叠加辐照不同尺寸的正方形射野,以获得梯次变化的剂量区;
- 条形剂量区:在待校准胶片上条状排列一系列射野,使得射野内剂量呈梯次变化;
- 如果为了避免多次辐照的散射影响以提高测量准确性,应对每张胶片(例如将整张胶片切割为多个小胶片)仅辐照一次,辐照多张不同剂量值的胶片。

#### 6.3 参考剂量

剂量响应校准过程中所辐照的不同梯次的剂量值,应由测量者确定辐照的相应参考剂量值。确定参考剂量值可以使用电离室剂量计等剂量测量设备,也可以应用标定过的加速器 MU 数推算。

参考剂量测量和胶片剂量响应校准应使用相同的模体,宜在相同的深度测量。胶片剂量响应校准使用的模体应为密度和材质均匀的水等效模体。

## 6.4 剂量响应校准胶片的扫描

在使用扫描仪或者使用光密度计读取剂量响应校准所使用的胶片时,应按照胶片制造商和胶片分析软件制造商给出的方法和建议,选择合适的空间分辨率、灰度值的校正、彩色扫描时通道等因素。

## 6.5 建立光密度-剂量校准表

胶片响应(光密度)和吸收剂量的关系可以做成表格。单位吸收剂量产生的胶片响应可以表示为一个数,对应于实际的光密度增加 1.0。这个值,是单位吸收剂量的平均响应变化,适用于校正曲线前端的、大部分线性区间内吸收剂量的计算。这个数值受如下因素的影响:

- 读出时的波长;
- 读出时的光密度计;
- 胶片批次;
- 辐照到读出时的时间间隔;
- 用于辐照的辐射源的辐射质;
- 其他因素(比如温度和湿度)。

注:与剂量测量软件有关,有的软件使用表格,有的软件使用 6.7 的方法。

## 6.6 建立光密度-剂量校准曲线或公式

胶片响应和吸收剂量的关系可以用一条曲线表达,也就是光密度-剂量校准曲线。校准曲线可以提供胶片响应对剂量的转换信息,反之亦然。

建立光密度-剂量校准表或光密度-剂量校准曲线或者公式时,应按照胶片制造商和胶片分析软件制造商的规定,选用合适的数学模型或者公式。

## 6.7 校准过程注意事项

另外,胶片剂量学校准过程中的注意事项包括:

- 确保扫描仪已经按照制造商的推荐完成预热;
- 如果胶片是被装在护套里面,在两个位置按压护套以确保排出缝隙内的空气;
- 有些胶片即使装在护套里面仍然对可见光敏感,因此尽量减少护套和胶片暴露在可见光内时间以减少潜在的影响;
- 将胶片放置在模体板之间的时候,适当按压模体以减少胶片和模体间隙中的空气;
- 对于胶片刻度和同次后续测量,应使用同一批次的胶片;
- 保留 1 片未辐照的胶片并将其与辐照过的胶片分开放置,将其作为“零剂量”(本底和灰雾密度)值。

# 7 胶片的辐照后处理与保存

## 7.1 辐照后处理与冲洗

由于胶片对荧光和阳光敏感,在 RC 胶片处理和读出时应在普通的白炽灯光下。如果需要,荧光灯和实验室的窗户应使用 UV 滤片挡上。

若胶片需要冲洗等后处理,应按照使用说明书的规定冲洗。对胶片冲洗过程影响较大的因素有:显影液的温度、显影时间(快、慢显)、显影液的浓度及其搁置时间、暗室和胶片包装有否漏光等。

附录 C 给出了 RG 胶片处理和冲洗的参考。

胶片剂量测量的实用辐照及评定见附录 D。

## 7.2 胶片信息最佳读取时机

胶片在辐照之后,不推荐立即读取。应遵从胶片使用说明把辐照后的胶片的按规定在适宜的环境温度、湿度条件下储存规定的时间后读出胶片。

一般来说,辐照之后胶片的响应随时间变化,特别是辐照后的 24 h 内。建议辐照 24 h 后进行数据读出(或遵从胶片制造商的建议),经过这段时间,RC 胶片会变得相对稳定。由于光密度的读出是源于辐照后胶片的颜色变化,而颜色可能会受到辐照后存储温度和湿度的影响。所有胶片的曝光时间和读出时间应当记录在案。如果需要,应使用适当的校正因子校正不稳定性。

## 7.3 运输与保管

胶片在运输和管理过程中任何物理上的破坏都会造成剂量测量时获得错误的结果。在损坏的位置胶片的颜色将无法反映真实的测量剂量。

通常,供应商会在胶片产品的包装时采取一定的措施来保护和固定胶片,避免在运输过程中对胶片带来摩擦和折弯等损伤。然而,胶片也会偶尔在打包或运输时损坏,因此,在接受和存储或者处理时,使用者应该小心地检查胶片。长时间保存胶片时,应避光保存;并应将胶片分置,避免相互之间的粘连、摩擦等影响。可能是由于外层的静电影响,胶片会轻微地趋向沾染灰尘,因此在使用时应用纸擦拭干净。胶片剪切的边缘可能会受到压力,应避免进行剂量测量分析,建议从剪切边缘 1.5 mm 以内进行光学分析。

## 7.4 紫外光

大部分的 RC 胶片对紫外辐射敏感,将自发地使胶片显色。胶片应防止放置在阳光或者连续的白光下以避免紫外辐照。这种胶片宜保存在不透明的容器内,如硬纸盒,或者深色封套里面。从容器里拿出来的时候,宜预先读出其背景,并立刻进行曝光。尽量避免对胶片贮存的场所开展紫外消毒。

附 录 A  
(资料性附录)

扫描仪与光密度计的验收测试和质量保证

A.1 概述

扫描仪与光密度计在使用一段时间后,受到操作方法、环境条件(电磁干扰、辐射、灰尘、温度、湿度、供电、声级),以及移动、震动、胶片污染等因素的影响,因此,实验室应对这些仪器进行质量保证测试。

质量保证测试情况应记录并归档。测试中发现设备运行有问题时,应停用报修。对运行有问题的设备所涉及检测结果有效性有影响时,应对检测项目进行重新检测。

A.2 光密度计的验收测试、校准和质量保证(QA)

光密度计的验收测试应包括零点漂移、OD 范围、校准、重复性、线性,详细描述见表 A.1。

表 A.1 光密度计的验收测试和质量保证

| 测试描述  | 程序                                                                  | 容差                                                  | 频次                |
|-------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------|
| 零点漂移  | 预热设备,每间隔 10 min 读取一系列零值。<br>检查设备读数为零                                | 0.01 OD                                             | 验收测试以及每年,<br>每次测量 |
| 校准    | 使用校准机构提供的光密度校准片,校准 OD 值为 3.0(或制造商推荐的数值)的光密度值。读取零值作为校准的第 2 个值        | 0.02 OD                                             | 验收测试以及每年,<br>每次测量 |
| 光密度范围 | 从校准的光密度校准片的低端和高端取样。<br>读数误差超出 0.01 OD 或者读数的 1.5%,<br>即认为超出了设备的光密度范围 | 0.01 OD~4.0 OD                                      | 验收测试以及每年,<br>每季度  |
| 重复性   | 在 0.1 OD~4.0 OD 范围内选择读取 10 个光密度台阶。多次重复读取每个台阶并记录数值                   | 每个台阶的 10 次读数与已知值之间的差异宜不超过 0.02 OD 或者已知值的 1.5%(取较大值) | 验收测试以及每年,<br>每季度  |
| 线性    | 在 0.1 OD~4.0 OD 范围内选择读取 10 个光密度台阶。多次重复读取每个台阶并记录数值                   | 每个台阶的标准偏差应不超过 0.02 OD                               | 验收测试以及每年,<br>每季度  |

零点漂移的测量程序为:开机光密度仪并预热 10 min 或者制造商推荐的预热时间;清零光密度计,等待 1 h 后读取零(空白),测量读取到的 OD 值应介于 0 OD~0.01 OD。

OD 范围的确认和校准应使用计量机构提供的标准光密度片,该光密度片具有不同梯次的光密度台阶,光密度值从大约 0.05 OD 开始至大约 4 OD,并具有零值。经过充分的预热之后,进入校准模式,使用零值和一个较高的光密度值(例如 3 OD)来进行两点校准。为确定可用的光密度范围,使用标准光密度片上面的光密度台阶高低两端的 OD 值,比较读取的 OD 值和其已知 OD 值;两者之间的差异到达 1.5%或者 0.01 OD(取较大值),即认为到达了灵敏区域的极限。

重复性和线性的测量程序:从标准光密度片上选择几个光密度台阶(覆盖完整的 OD 范围,并包含

1个极低值和1个极高值),并在每几分钟后重复读取,读取10次;记录每个台阶的读数并计算平均值和标准偏差;在光密度值覆盖4.0 OD及以下的范围内(用户可以限值测量范围的上限至临床使用的上限),读数平均值与标准值之间的差异宜不超过0.02 OD,每个台阶的标准偏差应不超过0.02 OD或1.5%(取较大值);与已知OD值之间的偏差与OD值之间的函数关系,可以表征光密度计的线性。一般来说,最大差异出现在最高OD值的位置,此处OD值的百分差异宜小于1.5%。

这些测试应在设备验收时执行,并每季度或者按照表A.1的要求来重复测试并记录归档。

### A.3 扫描仪的验收测试和质量保证(QA)

表A.2给出了扫描仪验收和质量保证测试的内容。

表 A.2 扫描仪验收和质量保证测试

| 测试描述       | 程序                                                | 容差/建议                                                                           | 频次      |
|------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 预热         | 一个保持一致的预热程序,通过1张胶片的重复扫描和对重复扫描结果的减影确定扫描仪读数的一致性     | 扫描仪响应宜在2%内一致;在使用范围内,系统噪声宜小于测量的OD值的2%                                            | 验收测试和每年 |
| 几何准确性      | 扫描仪的空间一致性应在两维方向上测量;使用覆盖整个扫描区域的已知的测试模板(或测试卡)       | 局部畸变宜 $<1\text{ mm}$ 。10 cm范围内畸变 $>0.5\text{ mm}$ 时,应采取修正措施                     | 验收测试和每年 |
| 校准         | 使用已知OD值及其不确定度的胶片,测量其曲线特征                          | 在一系列校准点上应用最小二乘法拟合,能够在标准OD值和测量OD值之间转换时对于校准点之间的OD值获得准确转换                          | 每年      |
| 可能的干涉伪影特征  | 扫描不同OD值(介于0.1~1.0)的均匀胶片,以评估干涉伪影造成的误差对OD的关系        | 在使用范围,干涉误差应小于所测量OD值的2%                                                          | 每年      |
| 可能的光散射伪影特征 | 光散射伪影的测量是通过扫描临床剂量学使用的均匀的高OD值胶片,然后将该胶片中间打孔,并扫描这张胶片 | 如果孔周围1 mm内OD值的损失小于5%,那么就认为这张胶片是无伪影的扫描;否则应进行更谨慎的研究                               | 每年      |
| 评估有效分辨率    | 光散射影响会降低系统的有效分辨率                                  | 执行线对测试,测试中在透明胶片上面打印黑色线条,线条之间的间距为1 mm以下。当线对之间的透明胶片扫描得到的OD值大于透明本底的5%时,可确定系统的分辨率限值 | 每年      |
| 扫描一致性特征    | 取前述测试中从胶片中心剪下的小胶片,置于扫描线或扫描床的不同区域扫描                | 如果不同位置扫描得到的OD值差异小于5%并且宽度差异小于1 mm,那么扫描与位置无关;否则应注意重复胶片的位置和尺寸                      | 每年      |

附 录 B  
(资料性附录)

放射治疗常用几种胶片产品及其标称剂量使用范围

放射治疗常用几种胶片产品及其标称剂量使用范围见表 B.1。

表 B.1 放射治疗常用几种胶片产品及其标称剂量使用范围

| 名称                                                          | 类型    | 剂量范围        | 常用用途                       |
|-------------------------------------------------------------|-------|-------------|----------------------------|
| Kodak EDR2                                                  | RG 胶片 | 0 Gy~5 Gy   | 患者计划验证(调强放疗计划)             |
| Kodak X-OMAT V                                              | RG 胶片 | 0 Gy~1 Gy   | 加速器 QA                     |
| GAFCHROMIC RTQA2                                            | RC 胶片 | 0 Gy~8 Gy   | 加速器 QA(光射野一致性,平坦度对称性,等中心等) |
| GAFCHROMIC EBT3                                             | RC 胶片 | 0 Gy~8 Gy   | 患者计划验证(调强放疗计划)             |
| GAFCHROMIC EBT XD                                           | RC 胶片 | 1 Gy~200 Gy | 单次分割大剂量计划验证,如 SRS/SBRT 等   |
| MD-V3<br>(MD-V2-55 的升级产品)                                   | RC 胶片 | 1 Gy~100 Gy | 单次大剂量的放疗验证,如 SRS/SBRT 等    |
| 注:表内剂量范围数据仅供参考,应遵照制造商公布的剂量范围,上述数据为目前制造商公布的数据,用户使用时需要确认相关数据。 |       |             |                            |

附 录 C  
(资料性附录)  
RG 胶片处理和冲洗

## C.1 胶片处理原理

### C.1.1 概述

胶片显影是一个复杂的过程,包括四个步骤:显影、定影、冲洗和干燥。

### C.1.2 显影

显影处理过程中潜在的图像被还原成金属银颗粒。此过程并不影响卤化银颗粒。显影溶液中的化学成分有氢醌(hydroquinone)、米吐尔(metol)或菲尼酮(phenidone)等,作为基底溶液,能把曝光的颗粒转化成金属银。显影剂也包括其他几种化学成分,例如:

- 碱性溶剂,用于提高溶液的 pH 来加快反应速率;
- 保护剂(钾和亚硫酸钠),用于减缓氧化反应来维持高 pH;
- 抑制剂(钾和溴化钠),用于保持未曝光的颗粒被转化;
- 硬化剂,用于防止凝胶吸水过多损坏胶片。

水中的大量杂质比如铁、铜、锡将造成大量的灰雾,因此,用来制作显影溶液的水应是无杂质的。温度也会影响显影的过程,将在本节的后面讨论。

### C.1.3 定影

胶片的定影过程包括冲洗未定型的卤化银晶体,通过将它们转化成可溶性成分而不破坏溶剂中的银,使它们仍旧保留在感光乳剂中;中和显影槽中显影剂里面的碱性溶液;定影剂的化学性质也是溶于水的,包括:

- 定像剂(钠和硫代硫酸铵,也叫硫代硫酸钠),用于去除未显影的卤化银颗粒,包括保护剂(乙酸)防止定影剂的分解;
- 固定剂(钾明矾),明胶吸收过多的水;
- 酸化剂和缓冲剂,来保持最佳的 pH。

### C.1.4 冲洗和干燥

除了银聚合物永久的附着在胶片上,所有剩余的化学物质,都被冲洗掉。要使用过滤水来冲洗胶片。最后的步骤就是将胶片烘干。

## C.2 胶片处理过程中的影响一致性的因素

### C.2.1 暗室

暗室是胶片处理系统中的一个重要部分,需要特别注意,并且是为了满足每一项需求而特别定制的。例如:

- 应该有足够多的存储空间,以便能有一个清洁的平台区域专门用来处理胶片。灰尘,污垢和化学物质的积累将导致剂量测量的失真。

- 平台区域应该是开放的和平坦的以便于保持清洁。
- 暗室安全灯的功率和型号应该被设计成不能引入明显的灰雾。
- 应该提供专门的通风装置,能将处理胶片时产生的水蒸气吹走。
- 应提供专门的区域在保养时能清理架子,这些架子能使系统完成更多的服务。

### C.2.2 洗片机

大部分现代的自动洗片机有一个微处理器或微控制器来检测和实现它的功能。对现代洗片机来说,支持多种模式的显影循环周期是很普遍的,这样用户可以选择循环的时间。例如,一些洗片机支持扩展模式、常规模式和快速模式处理过程,可以通过选择显影液填充速度,处理时间和显影温度等参数的不同组合来实现这些模式。

胶片处理中一个很重要的因素是一致性。胶片对辐射剂量的响应根据不同的处理条件变化的非常快。因为测量环节通常要曝光大量的胶片,洗片机在单个测量环节中能提供尽可能多的胶片的测量,其一致性非常重要。影响潜在图像显影的因素较多,主要是:

- 化学活动水平,取决于显影剂的浓度、氧化作用、污染程度、补充速度以及在处理开始时使用专用的化学成分;
- 处理时间;
- 显影剂的温度。

洗片机应被设计成能控制这些因素并能保持这些因素的变化在一定的限值内。

### C.2.3 化学控制

洗片机的化学活动水平是影响胶片剂量测量的一个重要因素。然而,化学活动是一个动态的量,受许多因素的影响。当胶片被处理过时洗片机会重新补充显影剂。现代洗片机根据提供的胶片穿过洗片机的面积来决定重新补充显影剂(而不是之前的方法,根据胶片的长度)。这在临床使用不同尺寸的胶片时,大大提高了处理条件的稳定性。显影槽中的显影液在重新补充时会缓慢氧化,氧化的速度和显影液的温度有关。重新填充的化学物质存放在一个容器内,周围环境的温度决定了它的氧化速度。当显影液存储在重新填充容器内时,重新填充容器内的显影液的体积和每天胶片的体积决定了化学活动的损耗。因此,所选的周期,每天处理的胶片的体积、类型,暗室里环境温度和设置的重新填充速度影响着产生潜在图像的化学活动。快速显影模式会比正常显影模式有更高的显影温度,因此也有更快的氧化速率。显影模式的选择可能取决于所用胶片的体积和显影液氧化所能达到的量(取决于要洗多少胶片和显影液能氧化多少胶片)。如果在重新填充槽里面放置大量的化学物质,来显影很少的胶片,会使填充槽里的显影液的化学活动水平损耗,引起胶片响应光学密度的改变。因此最好形成一致的习惯和条件,以使得洗片机达到一个平衡的状态。大多数的洗片机每天有一个最小的胶片冲洗体积来达到稳定的显影活动水平。一个可以接受的标准是每次最少处理大约 40 幅  $35.56\text{ cm} \times 43.18\text{ cm}$  (14 英寸  $\times$  17 英寸)的胶片作为定期的数据。

每次的胶片处理形成一个稳定的流程,有助于达到平衡的化学活动水平。但是,通常胶片剂量测量时需要在短时间内处理大量的胶片。处理方式的变化会影响到平衡状态,并且会形成一个新的平衡状态。这种情况下,在处理带有测量数据的胶片之前先处理 5~10 幅空白胶片(未曝光的)将会是一个好的选择。当一次处理的胶片少于 25 幅时,使用大量的重新填充液时有益的。在这种模式下,洗片机将会有规律的重新填充显影液,除了要处理的胶片区域之外。首次安装的时候,新的洗片机使用启动溶液会减少使用新化学物质带来的影响。

### C.2.4 处理时间控制

一些洗片机可以选择洗片模式。标准模式具有典型的下降时间,一张胶片的处理时间是 90 s。显

影液的浸没时间在洗片过程中应该是固定的。基准的显影液浸没时间在安装后应该记录下来,作为以后的参考。

### C.2.5 显影液的温度控制

为保证每次冲洗胶片的结果具有可比性,应采用相同的温度。正如 C.2.3 讨论的,显影液的温度影响胶片的响应,影响的程度取决于胶片的类型。对一个典型的洗片机,显影液在一个由加热器和热转换器组成的内部管道里循环流动,以控制显影液的温度。由于胶片光密度的灵敏度受显影液温度的影响,大部分的洗片机显影液槽里面的温度和温度梯度具有很小的容差(约 0.3 ℃)。一些洗片机提供温度读出器,可以定期地和温度计测量的值进行比较。

## C.3 剂量测量洗片机的调试

### C.3.1 洗片机的验收和调试测试

洗片机安装之后,应该做一系列的测试(表 C.1)来确认这台洗片机能在说明书的指导下进行操作,并且能建立一个胶片剂量测量的处理流程。这些测试不需要定期的做。洗片机维修之后,和维修相关的部分测试可以做一下,确认维修是可以接受的。

表 C.1 洗片机测试

| 测试描述   | 程序                            | 频次               |
|--------|-------------------------------|------------------|
| 暗室清洁   | 在白光下检查暗室清洁                    | 每周               |
| 冲洗控制   | 通过检查洗片重复性确定感光度检查频率            | 调试阶段             |
| 通风     | 检查暗室通风                        | 调试阶段             |
| 伪影     | 使用不同传输方向处理两张完全相同的曝光胶片,目视检查    | 调试阶段,每周          |
| 洗片机温度  | 使用温度计测量温度                     | 调试阶段,每周          |
| 浸没时间   | 测量胶片传输时间                      | 调试阶段,每周          |
| 感光度    | 将胶片使用感光计曝光并测量“基底和灰雾”、中位密度、密度差 | 调试阶段,每周,每次使用洗片机前 |
| 重新填充速度 | 检查感光度稳定性                      | 调试阶段             |
| 灰雾水平   | 在暗室内遮蔽半张胶片,检查两部分胶片的光密度差异      | 调试阶段             |

测试的详细描述如下:

- a) 通风。安装或者维修的时候如果涉及到了通风系统,应确认暗室内和洗片机通风装置的操作没有问题。
- b) 伪影。伪影的检查是为了确认一个均匀曝光的胶片的伪影程度,比如滚痕、划痕,和光学密度的变化。在验收测试中,要用这个测试确认安装好的洗片机的伪影情况在技术指标范围内。伪影测试也参考建立了一个基准线,作为以后的参考。测试的时候,曝光两张胶片,这两张胶片的整个表面都被曝光。胶片的大小要用本实验室所能用于胶片剂量测量时的最大值。两幅胶片叠放在一起,在最大剂量深度的位置同时曝光,前后分别放一定的建成材料和反散射材料。胶片的方向可以通过在辐射野的一个角上放置一个吸收射线的物体来区分。曝光的剂量要使胶片的光学密度达到 1.5 左右。然后将这两幅胶片放到洗片机处理,其中一幅胶片的短边朝向洗片机,而第二幅胶片的长边朝向洗片机。处理后,可以目测这两幅胶片的伪影情况。

如果发现了伪影,由洗片机产生的伪影在两幅胶片上的方向应该是垂直的。

- c) 显影液的温度。可以使用数字温度计来测量显影液的温度。不应使用水银温度计,因为一旦温度计打破了,水银会污染显影槽。为了保持一致的结果,每次测量温度的时候应该在显影槽的同一个位置。显影液温度的测量周期为 10 d。测量温度变化的标准偏差,并与制造商规定的参数进行比较,这也是验收测试的一部分。温度的均值和标准偏差应该用作每周周检的基准值。
- d) 显影剂的浸没时间。对于特定的洗片模式,从胶片接触到鼓开始,到胶片离开洗片机的时间,通常作为测量显影液浸没的时间。当胶片接触到鼓的时候,用一个秒表进行计时,当时胶片进入洗片机的胶片退出槽时,停止计时。这个相对的浸没时间的测试周期和上述显影液的温度检查周期一样,也是 10 d。平均值和标准偏差应当记录下来作为基准值。
- e) 感光度测定。感光度测定是一个有效的方法来监测各种条件和定量的确定洗片机的稳定性。感光度测定时,用一个感光仪曝光胶片。感光仪是一个能在胶片不同区域精确曝光不同光子数的仪器。通常的精度为 $\pm 0.02$  OD。应当使用符合 IEC 61223-1 要求的感光仪。曝光的胶片用被测试的洗片机处理。曝光区域的光密度用光密度计测量。光密度的精度应用一个可溯源的光密度表校准到 $\pm 0.01$  OD。

为了确认感光度测定的一致性,所用胶片应从同一批次里面选择,即制造商提供的批号应当一样。当一批胶片用完了,C.4 描述的标准化处理流程也可用于转变成新的一批。感光度测定的步进楔形曝光时应保持一致的方向,胶片处理时也应当保持一致的方向。这些测试应当每天在大量处理剂量测量胶片时进行。

为诊断屏片系统设计的感光度测试仪可以用于曝光剂量测量用的胶片。它们的曝光量被调整为适用于诊断胶片的灵敏度。如果最大曝光剂量不能使胶片的光学密度大于 2.0,应当在同一位置采用多次曝光的方式提供超出单次曝光限制的更高的 OD 值。感光度测试仪会有一个最小的恢复时间,以重新回到校正曝光剂量水平,所以多次曝光时在连续曝光期间应该有一个延迟,这个延迟时间制造商会规定,需要注意这一点。感光仪曝光时会在胶片的四个边产生步进的楔形区域。最暗的区域块应当在胶片的同一边。要指定颜色(蓝或绿)和曝光时间。

胶片放置的时候要最亮部分的短边放在前端,最亮部分的长边放在右边。这种方法能检测到胶片处理时沿着胶片输运方向和垂直于胶片输运放向的梯度变化和洗片过程中总的方差。如果胶片测量的规程中处理带曝光数据的胶片之前需要处理额外的胶片,在感光度测量胶片之前应当处理同样数目的胶片。

处理之后,测量胶片四个边上的光学密度,这些是预先被感光计曝光过的。下面的规程可以被用来选择这四个台阶的曝光量和建立操作的限制。洗片机安装之后,要使用一段时间,直到调节好了。这也就意味着洗片机里面的显影液在正常操作下,已经使用了重新填充的两到三次的显影液。对于调节好的洗片机,使用常用的胶片类型,根据选择的胶片剂量测量规范(见 C.2),连续 10 d 测量光密度和 X 射线曝光剂量的关系。洗片机应足够稳定,以至于同样 X 射线曝光剂量的测得的光密度值的方差应该在胶片剂量测量可接受的限值内。在这 10 d 里,如上所述使用感光计在胶片的四个边进行曝光,另外十幅胶片在 X 射线下曝光,这些胶片同时处理。测量感光计曝光过的胶片的每个灰阶的光密度值。最亮的灰阶的光密度值的平均值作为“基准值和灰雾”水平(BF)。光学密度平均值最接近  $0.25 + BF$  的灰阶作为低密度灰阶。光学密度平均值最接近  $1.0 + BF$  的灰阶座位中密度灰阶。光学密度平均值最接近  $2.0 + BF$  的灰阶作为高密度灰阶。高密度和低密度灰阶之间的差值作为感光计特征曲线的平均梯度的一个指数。密度差值可用于洗片机的质量控制。在调试期间,应当为洗片机的 QA 建立基准值。10 d 测试的本底值和灰雾、中密度值、密度差值的平均值和标准差作为基准值。

- f) 重新填充速度研究。洗片机的装载模块在安装、维修或者改变之后,胶片剂量测量时进行重新

填充速率的研究是非常重要的。因为不合适的重新填充速率会对连续处理的一批胶片中的最后几幅产生很大的影响,如果只处理很少几幅胶片的话影响不明显。为了评估重新填充速度对胶片剂量测量的影响,剂量测量时所用的最大数目的胶片在 X 光下曝光,曝光的射野采用通常的射野大小。曝光时采用相同的设定,得到的光密度值近似 1.5 OD。在每幅胶片的四个边上用感光仪曝光形成条纹。根据胶片剂量测量规范(C.2)处理胶片,胶片最亮的部分放在右边,且朝向洗片机。评估 X 射线曝光照射量、中值密度、密度差值和本底与灰雾,来决定是否满足胶片处理过程中所遵从的胶片剂量测量规范。测量剂量时所用胶片的所有尺寸都应当进行研究。

- g) 灰雾水平测试。安装或维修后可能会产生漏光现象,这时候要做灰雾水平测试来评估漏光的水平。这项测试也用于核查安全灯安装或修理后的漏光水平。因为胶片对光的响应是非线性的,测试应当采用大约 1.5 的光密度值(胶片剂量测量时对漏光最灵敏的条件)而不是用基准光密度值。为了说明在标称的 X 射线曝光水平下敏感度的变化,将以一幅胶片预先在 X 射线曝光,产生的光密度大约为 1.5。在暗室里,将此胶片的一半用厚的黑纸盖住,另一半用漏出来的光线曝光,所在位置是大多数的胶片处理位置。用这种方式曝光,时间为通常处理胶片的时间的十倍。胶片处理完之后测量被遮挡部分的光密度和漏光曝光后的光密度。差别应当小于根据 C.3.2 建立的胶片剂量测量方法的不确定度。

### C.3.2 建立胶片处理规范

如 C.2 详述的,许多因素会影响胶片处理的一致性,也有一些因素比如胶片处理工作量对每一个医院都不一样,不可能建立一个规范满足所有医院的需求。评估每个医院实际的处理胶片数量非常重要,以决定是否建立不同的胶片处理规范,作为统一规程的一部分来测量剂量。洗片机在用作胶片剂量测量前只需做一次。这里将描述一个流程,来确定一个一致性的胶片处理规范,以满足准确度和精度的需求。

第一步是确定所考虑的胶片剂量测量中,可接受的光学密度变化的限值。比如,患者 IMRT 治疗的 QA,胶片剂量测量需要的准确度可能为 $\pm 3\%$ ,辐射头泄露辐射测量要求准确度的为 $\pm 10\%$ 。为了确定绝对剂量,应该确定定量的要求。例如,同一次应用中,光密度的要求可以规定为在 1.5 OD 时为 $\pm 0.05$  OD,在 1.0 OD 时为 $\pm 0.03$  OD,在 0.5 OD 时为 $\pm 0.02$  OD。这应当基于所用胶片的光敏感度曲线。比如,如果在 40 cGy 时的精度要求是 $\pm 5\%$ (或者 $\pm 2$  cGy),并且光密度值在 40 cGy 时为 1.5 OD,此时的斜率为 0.025 OD/cGy,因此光密度的要求在 1.5 OD 将是 $\pm 0.05$  OD( $0.025$  OD/cGy  $\times 2$  cGy),两个标准偏差的限值。特殊临床应用的特定要求应当与可接受的剂量测量的不确定度保持一致。

第二步是确认洗片机具有最稳定的胶片处理能力。可以考虑和放射成像部门共用一台胶片洗片机。和胶片维修人员讨论是否能减少偏差,例如通过调整重新装载速度,选择合适的循环时间,或者使满载的重新填充模式,是很有帮助的。

第三步是确定洗片机的重复性。为了定量地描述其重复性,曝光同一批次胶片,所用的剂量使光学密度达到指定的要求。同一幅胶片的不同区域曝光不同的剂量是有用的。一个例子是 Childress 等人的文章,它们的曝光剂量通过动态的 MLC 来配送。如果没有动态 MLC,可以采用不对称准直器产生辐射野,用电离室测量所有区域的总剂量和每个区域中心点的剂量。每天的不同时间段和不同的日期,每次处理 10 幅胶片作为一组。测量 X 射线曝光区域的光密度。这些胶片光密度的变化代表了洗片机的可重复性。结果有以下几种:

- a) 如果变化满足第一步的要求,对不同时间得到的同一批胶片,可以将胶片和光学密度通过 X 射线敏感度曲线转化成剂量。
- b) 如果变化不满足第一步的要求,但是同一次测量的一批胶片的光密度值的变化满足要求并且同一次测量的光密度值没有明显的时间趋向,同一批胶片的同一次处理测量的光密度值可以

通过 X 射线敏感度曲线转化成剂量。这种情况下,每一次处理时要拍一幅校正胶片。

- c) 如果同一次测量的第一幅胶片和第十幅胶片的差值不满足要求,并且有可观察到的时间趋势,有必要评估最后几幅胶片的趋势的稳定性。如果有趋向表明,每次测量时,测量完几幅胶片之后趋于稳定,并且光密度的变化在趋于稳定后满足了上述第一步发要求,那么在处理实际的剂量胶片之前要先处理特定数目的胶片。同一次测量的同一批胶片在稳定后可以通过敏感度曲线将光密度转化成剂量。
- d) 如果没有趋向表明会趋于稳定,同一批胶片的同一次测量需要做多幅校正胶片,所分析的胶片的光密度值可以通过时间上最接近的校正胶片转化成剂量。

胶片剂量测量满足变化的限值的规范建立之后,根据 C.1 的描述,将建立起感光度测量的控制限制。

#### C.4 洗片机质量控制

##### C.4.1 周检

这些期间核查与诊断放射成像部门的洗片机的日常 QA 类似。它们是上面 C.3 的简化版子集。这些检查在不到半个小时内完成:

- a) 暗室的清洁度。柜台、洗片机的胶片放置托盘、暗室的地板应当保持清洁,防止污垢和灰尘附着在乳液里。这些检查要在日光灯下而不是安全灯下进行。柜台要保持整洁,以便于提供一个清楚干净的区域进行剂量胶片处理和敏感度测试。
- b) 伪影。C.3 描述的测试应当每周进行,检测胶片处理的伪影。
- c) 显影液温度。显影液温度的测量按照 C.3 的方法进行,每周一次,使用数字温度计。显影液的温度应当控制在调试时平均值的两个标准偏差范围内。
- d) 显影液浸没时间。显影液的浸没时间在处理伪影测试胶片时测量,如 C.3 所述。显影液的浸没时间应当控制在调试时平均值的两个标准偏差范围内。
- e) 感光度测定。感光度测定应当遵从从一个控制的较好的流程。特定批次的胶片特别指定用作感光度测定。这批胶片用完之后,新一批的胶片应当重新调试用作感光度测定,如下面的流程所述。从调试过的一批胶片里选择一幅,用感光仪在四个边进行曝光,如 C.3 所述。测量本底和灰雾,中值密度,和密度差。这些参数应当控制在基准值的平均值的两个标准偏差范围内。为了完成新旧感光度测量片的更换,旧一批胶片和新一批胶片中各选择一幅,用同样的感光仪曝光,同一次测量,同时处理,周检时要做连续 5 周或者更多。洗片机应当通过测量旧一批次的胶片的本底和灰雾,中值密度,和密度差值来确认没有问题。新批次的胶片的平均值和标准偏差被用于新修订的基准值。

##### C.4.2 敏感度日检

每天胶片剂量测量完成之后,敏感度按照上述的方法进行检查,以确认洗片机是否运行在规格内。这个过程不超过十分钟完成。如果 X 射线曝光的散射辐射在胶片的边缘影响很小(例如小野的时候),胶片的边缘可以用感光仪曝光来分析和检测处理过程的一致性。

**附 录 D**  
(规范性附录)  
**实用辐照及评定**

### **D.1 测量模体与深度**

使用胶片开展剂量测量时,选用的模体应能够方便开展胶片剂量测量。

对于 RG 胶片,模体中应设置尺寸和材质合适的胶片暗盒。胶片暗盒应能避光存放胶片,方便对胶片做出位置标记;胶片的尺寸和暗盒的尺寸应适配,以避免胶片在暗盒内发生移动;暗盒的材质需要根据测量的需要来选择不同的材质,或者选择与模体具有相似原子序数的材质。

胶片剂量测量中使用的模体的尺寸,应能够保证在胶片测量区域形成电子平衡,即为胶片测量区域提供足够的建成区(特别是辐射束的侧向)。根据测量的目的和测量方法,实用辐照时应将胶片放置合适的方向、深度。

### **D.2 位置和方向标记**

使用胶片进行剂量测量时,宜对胶片的位置和方向做出标记,以标明所测量的剂量分布的位置和方向等信息,同时标记宜能够区分入射面和方向等因素。在胶片上面做的位置标记应尽量避免测量的有效区域。

对于 RC 胶片中的 GAFCHROMIC EBT 系列胶片用于剂量定量分析时,鉴于其材料特性,所使用的胶片应按同一方向扫描;如果胶片被切割成小胶片使用,则需要标记小胶片的扫描方向。

### **D.3 小尺寸辐射野**

对于小尺寸辐射野的剂量测量,需要采取一定措施保证测量位置的准确性。

### **D.4 灰雾密度**

实用胶片剂量测量过程中,宜采取一定的措施来扣除散射辐射在胶片上面产生的剂量,该散射剂量会带来胶片上面射野边缘外的灰雾。如何扣除灰雾密度对剂量测量带来的影响,需要结合胶片本底扣除考虑,见 D.8。

### **D.5 应用光密度-剂量校准曲线**

由于在胶片建立胶片光密度-剂量校准曲线过程中,曲线两端的数值,可能由于采用的数学模型不能精确反映光密度剂量响应,因而存在剂量测量值的不准确,因此实用胶片剂量测量中,不宜使用光密度-剂量校准曲线两端的数值。

### **D.6 最大剂量**

实用胶片剂量测量中,所测量的剂量应位于针对本次测量所建立的的光密度-剂量校准曲线内,原

则上不允许外推。由于扫描过程中,扫描光束漫射光的影响,实际的最大剂量可能会被低估,因此宜将胶片测量的最大剂量与使用半导体探测器或其他方法测量的最大剂量比对。

#### D.7 射野尺寸测量

实用胶片剂量测量用于测量射野尺寸时,50%剂量的应用较多。因此对于50%剂量,应考虑利用5.2所述的中值胶片,对不同扫描位置的扫描结果进行修正;另外宜考虑与电离室的测量结果进行比对和修正。

#### D.8 本底扣除

实用胶片剂量测量中,有的测量方法涉及胶片本底的扣除;在扣除本底过程中,需要区别或者一并考虑扣除灰雾密度、胶片本身的光密度;如果将射野之外的扫描结果值作为本底(可能比较大)扣除,可能会影响应用所建立的光密度剂量校准曲线的准确性。

#### D.9 不确定度

实用胶片剂量测量中,其测量不确定度的影响因素主要包括:

- 单次测量中使用不同批次的胶片;
- 扫描设置的像素大小或步长会影响到像素值的标准差;
- 统计误差等。

注:光密度测量存在统计误差,来源于胶片特性以及扫描过程等因素,测量者应根据测量的目的适当设计测量程序以降低统计误差对测量结果造成的影响。

另外,影响测量不确定度的因素还包括胶片批内均匀性、保存时间、胶片校准结果、辐照条件(辐射质、辐射野尺寸、温度、湿度、定位)、光密度读取(间隔时间、读取条件)、光密度-剂量校准中根据曲线内插的算法等。

使用胶片剂量测量中,如果测量结果偏重剂量,应按照剂量测量不确定度的分析来修正测量结果;如果测量结果偏重位置和尺寸测量,按照尺寸测量不确定度分析修正测量结果。

参 考 文 献

- [1] American Association of Physicists in Medicine, Radiographic film for megavoltage beam dosimetry, AAPM, TG-69, (2007)
- [2] American Association of Physicists in Medicine, Radiochromic Film Dosimetry, AAPM Report No. 63, Radiation Therapy Committee Task Group No. 55, (1998)
-

中 华 人 民 共 和 国 医 药  
行 业 标 准  
放射治疗用胶片剂量测量方法  
YY/T 1548—2017

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)  
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 42 千字  
2017年10月第一版 2017年10月第一次印刷

\*

书号: 155066 • 2-32018 定价 29.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68510107



YY/T 1548-2017