

第三章 X 线 成 像

1895年11月8日,德国物理学家威廉·康拉德·伦琴(Wilhelm Conrad Röntgen)(图3-1)在做阴极射线管气体放电实验时,发现了一种肉眼看不见但具有很强穿透能力、能使某些物质发出荧光的特殊射线。由于当时不清楚这种射线的性质,便借用了数学上代表未知数的符号“X”来代替,称为X射线(X-ray),简称X线。

1895年12月22日,伦琴利用X线成功地拍摄了他妻子戴有戒指的掌指骨照片,如图3-2所示,这便是世界上第一张X线照片。X线的发现震惊了世界,为自然科学和医学的发展开辟了崭新的道路,奠定了放射诊断学的基础。为此,伦琴于1901年获得了首届诺贝尔物理学奖。世人为纪念伦琴的杰出贡献,又将X线称为伦琴射线。



图 3-1 威廉·康拉德·伦琴



图 3-2 世界上第一张 X 线照片

X线发现后不久便被应用于医学临床。1896年德国西门子公司研制出了世界上第一支X线管。20世纪一二十年代,出现了常规X线机。20世纪60年代末期形成了比较完整的放射学(radiology)学科体系,称为放射诊断学。

自伦琴发现X线至今120多年时间里,X线成像被广泛应用于医学影像诊断和治疗,它已成为医学诊断和治疗不可或缺的重要手段。随着现代科学技术的发展,X线的本质及特性等被逐渐认知。

第一节 X 线的产生与特性

一、X 线的产生

(一) X 线产生的条件

X线是高速运动的电子撞击物质后突然受阻减速时产生的。根据这个规律,现在所有

的人工 X 线都是利用高速电子撞击不同的靶物质而产生的。由此可见,产生 X 线必须具备以下三个条件:

- (1) 电子源,即能够根据需要随时提供足够数量的电子。
- (2) 高速电子流,即在真空条件下,在高电压作用下产生的高速运动的电子流。
- (3) 适当的障碍物(靶面),能经受高速运动的电子撞击而产生 X 线。

(二) X 线产生装置

用于产生 X 线的装置称为 X 线发生装置,由 X 线管、高压发生器和控制台三部分组成。X 线发生装置又称主机,是 X 线机的重要组成部分之一。

1. X 线管

X 线管的作用是产生 X 线,是 X 线机的核心部件,其功能是将电能转换成 X 光能。自 1896 年德国西门子公司研制出第一支 X 线管以来, X 线管逐步向小焦点、大功率和专用化的方向发展,结构不断改进,先后出现了固定阳极 X 线管、旋转阳极 X 线管以及各种特殊用途 X 线管。各种 X 线管均由阴极、阳极和玻璃壳三部分组成,如图 3-3 所示。

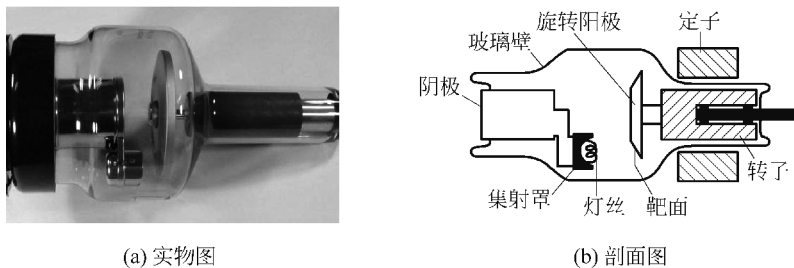


图 3-3 旋转阳极 X 线管及示意图

(a) 实物图; (b) 剖面图

(1) 阴极,主要由灯丝(钨丝绕制成小螺线管状)、集射罩、阴极套和玻璃芯柱四部分组成。其作用是发射电子并使电子束聚焦,经聚焦后撞击阳极靶面产生 X 线。灯丝发射的电子数目由灯丝电压决定,电压越高,发射的电子数目越多。当在阴极和阳极之间加上直流高压时,从灯丝发射的电子就会在强电场的作用下加速奔向阳极形成电子流。

(2) 阳极,主要由阳极靶面和散热体等部分组成。其作用主要是产生 X 线并散热,其次是吸收二次电子和散乱射线。在实际应用中,通常将钨靶焊接在铜圆柱体上,铜的导热性能好,但熔点和原子序数较低,钨的熔点和原子序数较高,但导热性能较差,两者相结合不但产生 X 线效率高,而且具有良好的散热性能。

(3) 玻璃壳,又称管壳,其作用是将阴极和阳极固定在一起,并维持一个高真空度的空间。

2. 高压发生器

高压发生器的主要作用包括两个方面:一是为 X 线管灯丝提供加热电压,使灯丝加热产生电子;二是为 X 线管提供直流高压,使电子加速奔向阳极。高压发生器主要由高压变压器、灯丝变压器、高压整流器、高压插座等高压元器件组成。

3. 控制台

控制台的主要作用是控制 X 线的发生和停止,是 X 线机的控制中心,以实现 X 线管在

曝光过程中的管电压(kV)、管电流(mA)和曝光时间(s)三个参数的控制为主要任务,如图3-4所示。曝光是指X线管阳极靶面承受高速运动的电子束轰击产生X线的过程。

控制台的基本电路主要包括电源电路、X线管灯丝加热电路、高压发生电路和控制电路。

一台X线机除了主机设备外,还需根据用途的不同安装各种机械装置(如诊视床、摄影床、立柱、支架、天轨、地轨、伸缩吊架等)以及各种配套的辅助设备(如医用X线电视系统等)等。



图3-4 X线机控制台

二、X线的基本组成

X线是在能量转换过程中产生的。通过对X线管产生的X线进行光谱分析发现,X线是由连续X线和特征X线两部分组成的。

(一) 连续X线

连续X线又称连续辐射或韧致辐射,是高速运动的电子与靶原子核相互作用时产生的,具有连续波长的X线是包含多种能量光子的混合射线,如图3-5所示。

在X线管中,阴极灯丝产生的电子加速撞击阳极靶面的动能取决于加在X线管两极间的管电压,由于每个电子与靶原子作用前所具有的能量不同,且每个高速运动的电子与靶原子作用时的相对位置不同,因而产生的X线光子波长和频率也不一样。这样,大量的X线光子组成了具有连续能量的X线光谱。

(二) 特征X线

特征X线又称特征辐射或标识辐射,是由高速运动的电子与靶原子的内层轨道电子相互作用产生的,如图3-6所示。

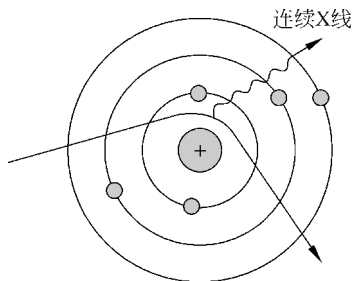


图3-5 连续辐射

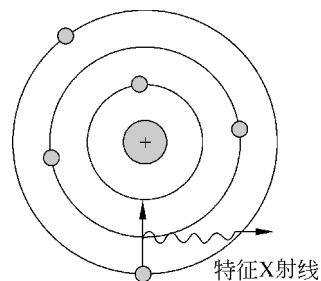


图3-6 特征辐射

高速运动的电子与靶原子内层轨道电子相互作用,获得能量的电子摆脱原子核的束缚成为自由电子,电子被击脱后使原子内层轨道出现空位,此时原子处于不稳定的激发态。按能量分布的原则,处于高能态的外层轨道电子必然会向内层跃迁以填充内层电子空位,在跃迁过程中会向外释放能量,这就是特征X线。

在X线波谱中包含连续X线和特征X线两种成分,特征X线只占很少一部分,医用X线主要使用的是连续X线,如图3-7所示。

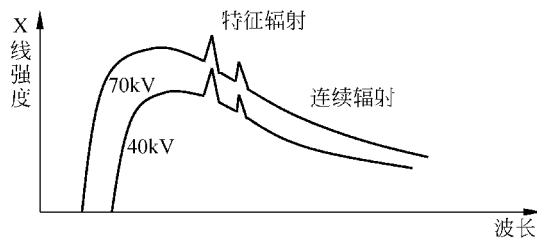


图 3-7 X 线波谱

三、X 线的性质

(一) X 线的本质

X 线的本质是一种电磁波,与可见光、红外线、紫外线和 γ 射线一样,具有波动和微粒二象性,其波长和频率介于紫外线和 γ 射线之间。X 线的频率很高,约为 $3 \times 10^{16} \sim 3 \times 10^{20}$ Hz; 波长很短,在 0.01nm 到 10nm 之间。X 线的波动性主要表现为以一定的波长和频率在空间传播;微粒性表现为 X 线光子在辐射和吸收时具有能量、质量和动量。

(二) X 线的特性

X 线是一种电磁波,除具有电磁波的一般特性外,因其波长短、能量大,还具有以下几方面的性质。

1. 物理特性

(1) 穿透性。X 线波长很短,具有很强的穿透力,能穿透一般可见光不能穿透的各种不同密度的物质,并在穿通过程中受到一定程度的吸收,即衰减。X 线的穿透性与两个方面的因素有关:一是与产生 X 线的管电压密切相关,电压越高,所产生的 X 线的波长越短,穿透力也越强;二是与被穿透物质自身结构和性质有关,即物质的密度、原子序数和厚度等。

穿透性是 X 线成像的基础,人们利用 X 线对不同组织结构穿透性能的差异来进行 X 线摄影、透视和 CT 扫描。同时,穿透性也是放射防护的依据。

(2) 荧光效应。某些荧光物质,如铂氰化钡、钨酸钙、碘化铯和某些稀土元素,在 X 线照射时会发出可见的荧光,具有这种特性的物质称为荧光物质,这种物质间的相互作用称为荧光效应。荧光效应的物理基础是电离或激发。当荧光物质受到 X 线照射时,物质的原子发生电离或者被激发而处于激发态,当被激发的原子从激发态恢复到基态时,便会发出可见的荧光。传统模拟 X 线成像中的增感屏、影像增强器中的输入屏和输出屏等都是利用 X 线的荧光效应制成的。荧光效应是进行透视检查的基础。

(3) 电离作用。在 X 线成像过程中,当物质受到 X 线照射时,原子核外电子摆脱原子核的束缚脱离原子轨道,这种作用称为电离作用。X 线本身虽然不带电,但具有足够能量的 X 线光子,不仅能击脱原子的轨道电子,使电子脱离原子产生一次电离,脱离原子的电子还可以再与其他电子碰撞,产生二次电离。电离作用是 X 线用于损伤和放射治疗的基础。

(4) 热作用。X 线与物质相互作用时,物质吸收的 X 线的绝大部分将会转化为热能,使物质升温。

2. 化学特性

(1) 感光效应。X 线具有光化学作用,可使很多物质发生光化学反应。在 X 线成像过

程中,当 X 线照射胶片时,可使胶片感光乳剂层中的卤化银发生光化学反应,出现银颗粒的沉淀,称为 X 线的感光效应。感光效应是 X 线摄影成像的基础。同时,工业品的无损探伤检查等也是利用了 X 线的这一特性。

(2) 着色作用。某些物质,如 X 线摄影中使用的增感屏、钨酸钡、放射防护用的铅玻璃、水晶等,经 X 线长期照射后,其晶体脱水并且会逐渐改变颜色,称为着色作用。

3. 生物效应特性

在 X 线成像过程中,生物体发生生物效应的物理基础是 X 线与被照体相互作用时产生的电离和激发作用。生物细胞,特别是增殖能力强的细胞,受到一定量的 X 线照射后,可产生抑制、损伤,甚至坏死。不同的组织细胞对 X 线的敏感性不同,因而会出现不同的反应,这一作用在肿瘤的放射治疗中得到了充分应用。但值得注意的是,X 线对人体正常的组织细胞也具有损伤作用,因此,X 线摄影、透视、CT 扫描和放射治疗等过程中要注意非受检部位和非放射治疗部位的防护。同时,从事放射工作的技术人员也要注意自身的防护。

四、X 线的电离辐射

X 线的本质是一种电磁波,由于其光子能量大,与物质相互作用时,能使物质产生电离,因此称为电离辐射。电离辐射导致生物体损伤的发生和发展是按照一定的阶梯顺序进行的,即机体被照射、能量吸收、分子的电离和激发、分子结构的变化、生理生化代谢改变、细胞组织和器官损伤,甚至机体死亡等过程。

(一) 电离辐射的作用阶段

电离辐射生物效应的发生主要包括物理阶段、化学阶段和生物阶段。

1. 物理阶段

物理阶段的发生时间极短,约为 10^{-14} s,主要指带电粒子和构成组织细胞的原子之间的作用,包括电离作用和激发作用。

2. 化学作用

化学作用的发生时间约为 10^{-10} s,指受损的原子和分子与其他细胞成分发生快速化学反应的时期,主要指自由基的形成。

3. 生物阶段

生物阶段的发生时间为数分钟至几十年,包括所有的继发过程。在此阶段,大部分的 DNA 损伤会被修复,极少部分不能修复的损伤最终将导致细胞死亡或变异,造成生物体功能障碍、不孕,产生肿瘤或遗传效应。

然而,电离辐射对人体的作用过程是可逆转的,人体自身具有修复功能,修复能力的大小与个体素质的差异有关,也与原始损伤程度有关。另外,目前在常规影像检查中虽存在一定量的 X 线辐射,但这对人体来说是安全的。经检测,一次胸片的 X 线剂量约为 0.05mSv,一次 CT 检查的 X 线剂量约为 7mSv。美国医学物理师协会认为,如果影像学检查的单次剂量在 50mSv 以下、短期内多次累积剂量在 100mSv 以下时,被认为是安全的。因此,切勿谈辐射色变。

(二) 电离辐射的生物效应分类

电离辐射的生物效应可分为早期效应和迟发效应、躯体效应和遗传效应、确定性效应和随机效应、电离辐射的旁效应等。

1. 早期效应和迟发效应

(1) 早期效应,是指受照后几个星期内发生的辐射效应,如急性放射病、急性皮肤损伤等。

(2) 迟发效应,指在受 X 线照射数月后才会发生的辐射效应。在正常组织和肿瘤内部都存在细胞杀灭的迟发效应,如慢性放射病、辐射致白血病、致癌效应、辐射性白内障、辐射遗传效应等。

2. 躯体效应和遗传效应

躯体效应是指出现在受照射体本身的效应,是由体细胞损伤引起的;遗传效应是指由生殖细胞的损伤引起的,影响到受照者后代的效应。

3. 确定性效应和随机效应

(1) 确定性效应,是指辐射损伤的严重程度与所受剂量呈正相关,有明显的阈值,剂量未超过阈值不会发生有害效应。一般是在短期内受较大剂量照射时发生的急性损害,包括除癌症、遗传疾病和突变以外的所有躯体效应和胚胎效应及不育症等。确定性效应的发生基础是器官或组织的细胞死亡。

为防止确定性效应的发生,卫生部颁发的《放射诊疗管理规定》(2016 年修订)中明确规定:不得将核素显像检查和 X 线胸部检查列入婴幼儿及少年儿童体检的常规检查项目中;对育龄妇女腹部或骨盆进行核素显像检查或 X 线检查前,应问明是否怀孕;非特殊需要,对受孕后八至十五周的育龄妇女,不得进行下腹部放射影像检查。

(2) 随机效应,是指生物效应的发生率与照射剂量线性相关,不存在剂量阈值,且效应的严重程度与剂量无关,如致畸、致癌效应等。

一般认为在电离辐射敏感区内,随机效应的发生不存在阈值剂量,因此不管接受照射剂量多大或多小,这种效应都有可能发生。

在电离辐射防护中,防护的主要目的是防止有害的确定性效应,限制随机效应的发生率,使一切具有正当理由的照射剂量保持在最低水平。

4. 电离辐射的旁效应

近年来,人们发现,机体对辐射的反应是群体现象而不仅仅是单个独立细胞对损伤的积累反应,辐射除了可损伤直接受照的细胞外,还可通过受照细胞产生一些信号或分泌一些物质,引起未受照射细胞产生同样的损伤效应,如细胞死亡、细胞间活性氧增加、细胞增生、细胞凋亡、染色体断裂和突变、基因改变、基因不稳定等,这种效应称为旁效应或旁观者效应。电离辐射的旁效应可以是随机性效应,也可以是确定性效应。

(三) 辐射敏感性

辐射敏感性是指某种辐射以相同的剂量作用于生物体或作用于同一生物体的不同组织及细胞时,由于生物体的差异,产生的生物学效应不同,这种生物效应的差异称为辐射敏感性,主要是指各种生物体对辐射的敏感程度。

辐射敏感性可表现在生物体的不同层次,从种系、品系、组织器官、细胞,乃至生物大分子都存在辐射敏感性的差异。生物个体发育的辐射敏感性规律是:随个体发育趋向成熟而逐渐降低,胚胎、幼体、成体的辐射敏感性依次降低。胚胎植入前期、器官形成期和胎儿期的辐射敏感性随着各种器官的逐步发育成形和成熟而逐渐下降。日本原子弹爆炸流行病学资料表明,胎儿期敏感性低于器官形成期。

在个体发育的不同阶段,辐射敏感性的特点也有变化,胚胎组织属于高辐射敏感组织,所有胚胎细胞对辐射均较成年的细胞敏感。老年动物(包括人)由于各种组织器官功能衰退,对体内自由基的清除能力、免疫能力及对外界不良刺激的综合反应能力相比中青年时期均有所下降,故而辐射敏感性又有所提高。同一生物有机体内各种细胞和组织器官的辐射敏感性因其种类和生理功能状态的不同而差异较大,一般按细胞组织辐射敏感性将动物组织器官分为以下四类:

(1) 高度敏感组织:性腺(卵细胞、生精细胞),造血淋巴组织(淋巴细胞),胸腺,胚胎组织,胃肠上皮(小肠肠腺上皮细胞)。

(2) 中度敏感组织:感觉器官(角膜、晶状体、结膜),血管,淋巴管,内皮细胞,上皮组织,肾,唾液腺和肝,肺的上皮细胞。

(3) 轻度敏感组织:中枢神经系统、心脏、内分泌腺(包括性腺内分泌细胞)。

(4) 不敏感组织:肌肉、骨、软骨组织、结缔组织。

第二节 X线成像系统

一、普通 X 线成像系统

通过 X 线摄影、X 线透视、X 线造影、X 线电视等成像技术,将人体内器官、组织的解剖结构、生理、病理等所有信息采集下来,经过传递、转换、处理等过程以光密度影像的形式显示在胶片、荧光屏或者电视系统的显示器上。这样的一幅影像称为 X 线影像。与 X 线影像形成有关的成像设备称为 X 线成像系统。

(一) X 线成像的基本原理

由于人体组织结构、密度与厚度存在差异,X 线穿过人体后,存在吸收差异、剩余差异、显示差异。当 X 线穿过高密度组织时,组织吸收 X 线能量多,X 线胶片感光少,在胶片上呈现亮色,在荧光屏上显示暗色;X 线穿过低密度组织时,情况相反,如图 3-8 所示。

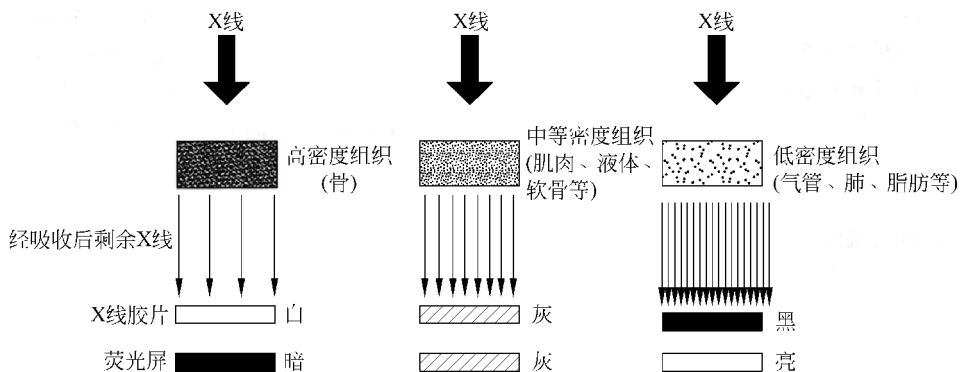


图 3-8 不同密度、相同厚度的组织与 X 线成像间的关系

(二) 自然对比度

根据密度的不同,人体组织可分为低密度组织、中等密度组织和高密度组织。低密度组织包括脂肪组织、含有气体的肺组织和胃肠道等;中等密度组织包括结缔组织、肌肉组织、

软骨和体液等；高密度组织包括骨和含钙的组织等。组织相同，密度相同，但厚度不同时，X线胶片与荧光屏上的显示存在差异。X线穿透较薄组织时，吸收少，穿过的X线就多，使X线胶片感光多，X线胶片显示黑色，在荧光屏上产生荧光多，荧光屏显示明亮；X线穿透较厚组织时，X线胶片感光少，X线胶片显示透明，荧光屏显示灰暗(图 3-9)。

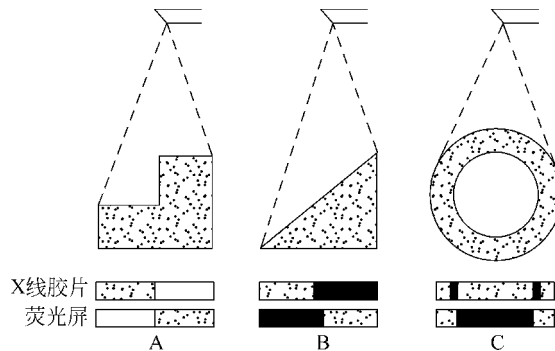


图 3-9 相同密度、不同厚度组织形成的影像

人体组织结构自然存在密度差异，各组织对 X 线的衰减按骨、肌肉、脂肪、空气的顺序由大变小，这一差别即形成了 X 线影像的对比，因此 X 线能够明显区分这些组织。当人体的一些组织器官的密度与邻近的组织器官或病变组织的密度相近时，X 线胶片将难以显示出差别，这时可以通过人工注入对比剂(contrast medium)来完成。对比剂是密度较高或密度较低的物质，可以改变组织器官的密度，使其与邻近组织器官或病变部位的密度差异变大，从而在 X 线影像图像中形成对比。对比剂主要是钡剂、碘剂，它们密度较大，X 线难以透过，另外还有气体对比剂，对 X 线几乎无衰减，可以用于肠道造影检查、泌尿及生殖系统造影检查等。

在组织结构发生病理改变时，病变位置的密度和厚度会发生相应的改变，当改变达到一定程度时，通过 X 线成像就会发生黑白灰度的变化，与正常组织的影像出现差异，这就是通过 X 线检查进行疾病诊断的基本原理。

二、X 线影像的采集

用 X 线影像系统摄影时，常规 X 线摄影通常使用增感屏与 X 线胶片记录 X 线影像。

(一) 增感屏

X 线摄影时，到达胶片的 X 线量仅有 5% 使胶片感光，形成光密度区域，而绝大部分 X 线穿胶片而过。增感屏的荧光物质接受穿过身体后的 X 线，并将其转换成能使胶片感光的可见光。使胶片感光的 95% 光能是由荧光物质转换而来的，由此可见增感屏的作用。

增感屏主要由基层、吸收层、荧光体层、保护层组成，分为前、后屏。按所含荧光物质不同，增感屏分为钨酸钙增感屏和稀土增感屏两大类。

1. 钨酸钙增感屏

钨酸钙增感屏按增感率又分为低、中、高速 3 种。

(1) 低速增感屏。应用比较少，低速屏的增感率为 0.5。

(2) 中速增感屏。广泛适用于各种摄影中，标准屏采用的是中速钨酸钙屏，中速屏的增

感率为 1.0。

(3) 高速增感屏。增感效率较高,多用于身体组织密度高的摄影,高速屏的增感率为 2.0。

2. 稀土增感屏

常用的稀土增感屏有硫酸钆:铽($Gd_2O_3:S:Tb$)(简称钆屏)、硫酸镧:铽($La_2O_3:S:Tb$)(镧屏)、溴氧化镧:铽($LaOBr:S:Tb$)(溴镧屏)、硫酸钇:铽($Y_2O_3:S:Tb$)(钇屏)、氟氯化钡:铕($BaClF:S:Eu$)(钡屏)。

3. 增感率和分辨率

增感屏有增强 X 线使胶片感光的作用。这种作用的大小常用增感速度、增感倍数描述,具体指标为增感率。当其他照射条件不变时,在标准条件下冲洗的 X 线照片上产生相同密度值 1.0 时,无屏照射量与有屏照射量之比称为增感率。

$$S = R_0/R_m \quad (3-1)$$

式中: S 为增感率; R_0 为无屏照射量; R_m 为有屏照射量。

分辨率是增感屏能清晰反映影像细节的最大能力指标。受增感屏的材料结构和荧光性能的制约,增感屏分辨率远低于胶片分辨率,故对 X 线照片影像质量影响较大。其次,采用不同荧光颗粒的增感屏,其分辨率也有差异,选用时应加以注意。

4. 增感屏对影像效果的影响

(1) 影像对比度增加。

(2) 影像清晰度下降,这是使用增感屏的最大弊端。其原因如下:荧光体是多面晶体,吸收 X 线而发出的荧光有扩散现象;双面增感屏的交叠效应,即双面增感屏(前屏和后屏)扩散的荧光都能穿过胶片片基使双面乳剂感光;增感屏与胶片紧密服帖的状态不好;另外,还有 X 线的斜射效应。

(3) 照片颗粒性变差,即照片上斑点增多。其主要原因是增感屏的增感作用,使得透过的 X 线量减少,X 线光子“统计涨落”在照片上有了反应的记录,另外对增感屏的结构也有影响。

5. X 线照片斑点的形成

X 线照片斑点与量子斑点、增感屏结构斑点、X 线胶片颗粒性有关。照片斑点主要是由量子斑点、屏斑点和胶片颗粒性形成。X 线影像是因 X 线光子的照射和衰减而形成的,所以 X 线影像也遵循统计学的法则。X 线衰减时:如果 X 线光子数无限多,到达像面上的每单位面积上的光子数(光子密度)处处相等;当 X 线光子数有限时,在像面上的每单位面积上的光子数,因位置不同而不同,这种光子密度的变动,就称为 X 量子量的“统计涨落”。

(二) X 线胶片

1. 医用 X 线胶片构成

医用 X 线胶片是获得 X 线摄影图像记录的载体。医用 X 线胶片分 7 层:保护膜前后 2 层、感光乳剂膜前后 2 层、结合膜前后 2 层、片基 1 层。

2. 种类

X 线胶片种类繁多,主要有以下六种:

(1) 一般摄影用 X 线胶片:包括:普通 X 线胶片,它是 X 线摄影中应用最广泛的一种双面涂布乳剂型的感光材料;GK 型胶片适合于高温下洗片使用。

(2) 口腔 X 线胶片,是一种双面涂布乳剂型的小尺寸 X 线胶片,适用于儿童咬合。

(3) 乳腺 X 线胶片,属于单面涂布乳剂型胶片,该胶片具有良好的清晰度和丰富的层次,近年来已有乳腺专用配套增感屏投入临床使用,它既可减少辐射剂量,又能使影像细节得到改善。

(4) 激光相机成像胶片,属于单面涂布乳剂型胶片,分氦氛激光型(HN型)和红外激光型(IR型)两种,其共同特点是通过激光相机记录激光,扫描的数字成像质量高,适用于CT、MR、DSA、ECT、US等图像的记录。

(5) 影像增强记录胶片,主要包括:荧光电影胶片,属于单面涂布乳剂型胶片,可有不同的规格;荧光屏图像及荧光缩影胶片,属于单药膜胶片,适用于荧光屏下的瞄准摄影(点片)或体检荧光缩影,有卷片和页片之分。

(6) 特种胶片,主要包括:直接反转胶片,也称复制片,属于单面乳剂涂布型胶片,是射线剂量测定用胶片,是一种防护监测用的测量 X 线或其他射线辐射剂量的胶片;清洁用胶片,可对洗片机辐轮上附着物及药液的表面污物进行清理,保持后续冲洗照片的清晰。医用 X 线胶片的技术发展方向是低银、薄层、聚酯片基、扁平颗粒等技术。同时,随着高科技的发展,胶片的使用将越来越少,直至进入数字成像的无胶片时代。

(三) 医用激光打印机

医用激光打印机(laser printer)的工作原理:将输出的数字化图像信号或模拟图像信号分别由激光打印机接口送入激光打印机的存储器中,打印机根据数据的不同产生不同强度的激光束,对专用的激光胶片进行扫描,产生图像。激光打印机分为湿式和干式两种。湿式激光打印机与洗片机相连,经过显影、定影、水洗、干燥后产生照片;而干式激光打印机成像只需化学处理,已成为具有环保性和先进性的现代医学成像硬拷贝设备。

1. 湿式激光打印机

从激光管发出的激光,经视听调制器(acoustic optical modulator, AOM)调制,图像数据变强或变弱,成为适合扫描的光束,经多面转镜旋转,激光束形成水平扫描,圆柱透镜校正多面转镜反射面的倾斜误差。透镜使不同角度的扫描变成水平强度的均匀扫描,再经反射镜投射到打印滚筒的胶片上,形成图像潜影。激光源有半导体和气体两种激光器,常用气体为氦气和氖气(He-Ne),激光波长为 633nm。

激光打印机具有以下特点:

(1) 具有灰阶密度校正调节功能。内置灰阶密度计,可在打印前重新检查每幅图像,自动调节反差、密度等。机内提供 10 个标准灰阶密度值,用于测试影像密度,使打印出的胶片影像始终保持标准的影像密度。机内还存储多组胶片的曝光量-灰阶密度曲线,以备更换其他型号胶片或调整显影条件时选用。

(2) 可进行连续打印。系统内装有硬盘,可进行连续打印、存储,打印可同时进行,并且具有多机输入功能,以供多机同时使用。

(3) 数字化。灰阶密度调整范围为 8~12bit,可提供 256~4096 级灰度,分辨率高,曝光宽容度大。

(4) 成像质量高。激光束具有很好的聚焦性和方向性,反应极其迅速(毫秒级)。这样的激光束直接投照到胶片上,防止了伪影(如轮廓线、光栅线、失真等)的产生,而且不会受视频放大传输、显像管宽度一致性、亮度的分布、线性度等因素的影响。