

数字X线摄影的现状、问题和进展

华中科技大学同济医学院附属
协和医院放射科

余建明



医学影像学的发展

- 现代医学影像学起源于X线的发现，它经历了X线学→放射学→医学影像学三个阶段。
- 在X线学时代的主要应用是：
 - 暗室透视
 - X线摄影
 - X线治疗



放射学阶段的特点

第一个特点是影像增强管的应用，它将影像亮度相比暗室透视亮度提高到5000~10000倍，实现了明亮透视。

第二个特点是钡剂和碘剂对比剂的研发，弥补了人体某些部位天然对比的不足，扩大了X线检查和诊断的范围。

第三个特点是各种X线摄影方法的改良，如：体层摄影、记波摄影、放大摄影、干板（静电）摄影、间接摄影。

第四个特点是放射治疗，包括 ^{60}Co 治疗，近距离放射治疗（镭、铯）。

医学影像学的特点：

- 1、从单一的X线源成像拓展为声源、磁源和放射性核素的成像模式。
- 2、开辟了“横断面”成像方式，并能进行三维图像重组。
- 3、开展了“介入”性诊断和治疗模式，成为临床医学领域微创技术的先驱。
- 4、从单纯的形态学扩展到功能信息及细胞和分子水平的诊断信息。
- 5、实现了影像信息数字化和网络化以及远程传输。

数字化X线摄影的基本范畴

数字化X线成像设备目前基本包括：

- CR、DR，数字乳腺，数字胃肠，DSA，激光打印，数字显示器，PACS。
- 广义地说CT也属于数字化X线设备。

我国数字化X线设备的现状

- 数字化X线摄影设备和技术的发展可谓是日新月异，我国发达的地区放射科的设备基本实现了数字化，同时还实现了数字化的网络连接和传输。特别是经济发达地区、直辖市和省城的数字化X线设备基本普及。
- 然而，欠发达地区和基层医院数字化设备的购置刚刚起步。所以，数字化成像知识的继续教育将是我们学会重要的职责之一，这对厂家来说也是一个巨大的商机。

数字化X线成像的特点

- 1、影像可靠性高，抗干扰能力强。
- 2、对环境、温度变化敏感性低。
- 3、有较大的曝光动态范围和灰阶动态范围。
- 4、密度分辨率高。
- 5、可以进行多种图像后处理。
- 6、可以进行数字化存储和传输。

数字图像的形成

数字图像的形成经历了三个过程。

- 1、数字图像采样 它是对连续图像在一个空间点阵上取样，也就是空间位置上的数字化、离散化。
- 2、数字图像量化 就是赋予一幅空间离散后图像中像素的数值。
- 3、数字图像转换 包含模/数转换和数/模转换两个过程。

数字图像的处理

数字图像的计算机处理主要包括：

- 1、代数和几何运算。
- 2、图像变换。
- 3、图像增强。
- 4、图像复原。
- 5、图像编码。
- 6、图像识别和融合等。

数字图像的处理

数字图像的临床处理主要包括：

- 1、窗口技术调节。
- 2、降噪处理。
- 3、图像兴趣区处理。
- 4、多平面重建。
- 5、表面阴影显示（SSD）。
- 6、最大密度投影（MIP）。
- 7、容积再现。
- 8、仿真内镜等。

数字图像的显示技术

- 原来使用的阴极射线管（CRT）显示器是采用电子束扫描，电子枪发出的电子束轰击荧光屏时其能量转换成可见光，偏转电子束在整个荧光屏上扫描形成图像。由电光转换的方式将输出端送来的电视信号还原成一幅图像显示在荧光屏上。
- 目前普遍采用的液晶显示（LCD）是利用液晶体的光学向异性的特性，在电场作用下，对外照光进行调制而实现信息显示的一种技术。

数字图像的专业显示器

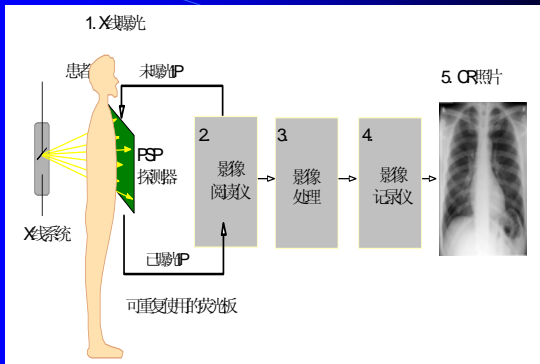
- 1、品牌：主要是巨鲨、平达（Planar）、亿卓（Eizo）、巴可（Barco）
- 2、灰阶：主要是2MP、3MP、5MP
- 3、基本技术参数主要有：
 - 屏幕对角线、屏幕尺寸（mm）、原始分辨率、位素点距、响应时间、视觉特性、最大亮度、对比度、对照表（LUT）、灰阶、可视角度、防眩光保护板、背光灯颜色；
 - 预置Dicom亮度、Dicom查找表、背光灯寿命、组合模式、接口信号、数字输入信号、模拟输入信号、USB集线器；
 - 最大功耗、节电特性、工作温度、储存温度、工作湿度、人体工程学、外形尺寸（mm）、重量、外壳材质、标准底座、用户控制等。

数字图像的评价

- 1、一是主观评价，通常医生肉眼观察，是一种以医学基础知识和临床经验应用来对图像质量评定的方法，如用ROC曲线来评价影像质量。
- 2、二是客观评价，噪声水平是评价数字X线图像的重要指标。20世纪50年代Bureger提出的对比度清晰度曲线法，清晰度是通过分辨率和锐利度的测定来判断的客观评价法。
- 3、三是综合评价法，它是1995年欧洲联盟共同体(CEC,简称欧共体)发布的《放射诊断影像的质量标准》中提出的概念：①以诊断学要求为依据。②以物理参数为客观评价手段。③以满足诊断要求所需的摄影技术条件为保证。④同时充分考虑减少辐射剂量。

数字图像的评价

- 1、调制传递函数 (MTF)。
- 2、威纳频谱、
- 3、量子检出效率 (DQE)。
- 4、噪声等价量子数 (NEQ)。
- 5、ROC曲线。



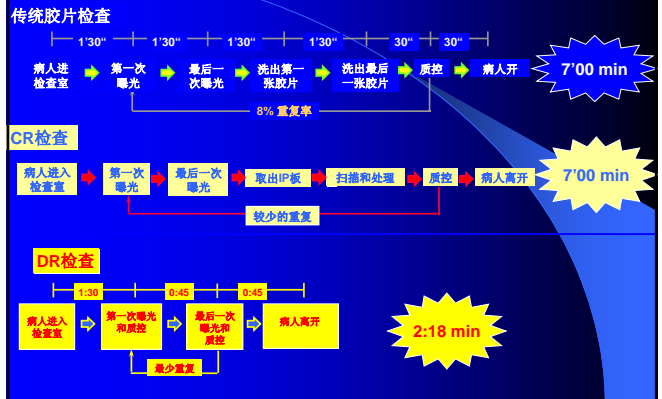
CR成像技术

- CR于1974年富士公司开始研发，1981年应用于临床，为普通X线摄影进入数字化开辟了先河。
- CR在临床上应用十分广泛，使用范围大到综合性大型医院，小到社区和卫生院。
- 目前CR使用有逐渐减少的趋势，但大医院床旁拍片使用CR既可数字化成像，又可较移动DR节约成本。
- 小型医院在工作量不大的情况下使用CR是比较经济实惠的，若是新购置CR的价格与CCD的DR差不多，那倒不如直接买DR，因为DR的成像质量、工作流程、辐射剂量和后期成本明显优于CR。

CR成像技术

- CR在临床应用不足主要表现在：
- 1、工作流程多，对病人流量大的医院显得速度跟不上。
- 2、曝光剂量偏高，与DR和常规屏一片系统相比，CR影像所需的曝光剂量高出30%，甚至更多。
- 3、空间分辨率相对较低，在细微结构的显示上不如DR和常规屏一片系统。
- 4、时间分辨率差，不能满足动态器官的影像显示。目前临床上已经出现了动态平板DR系统。

时间比较



DR成像技术

- 1986年在布鲁塞尔第15届国际放射学术会议首次提出数字化X线摄影（DR）的物理学概念，当时的DR技术采用的X线探测器是影像增强器-摄像管/CCD-电视成像链，其空间分辨率和密度分辨率还不能满足临床的要求。
- 90年代后期，薄膜晶体管阵列（TFT）等新技术应用，使数字X线摄影的探测器研制取得突破性进展，多种类型的固态一体化平板探测器投入临床应用。
- DR摄影成功地实现了X线影像的数字化采集、处理、传输、显示和存储的一体化。

DR成像技术

- DR较之CR具有更高的空间分辨率，更大的动态范围和DQE，更低的照射量剂量，更丰富的图像层次。在曝光后几秒内即可显示图像，大大改善了工作流程，提高了工作效率。
- 根据DR平板探测器结构类型和成像技术的不同，目前将DR分为直接数字化X线成像（非晶硒DDR）、间接数字化X线成像（非晶硅IDR）、CCD X线成像、多丝正比电离室（multi-wire proportional chamber, MWPC）成像等。

非晶硒探测器

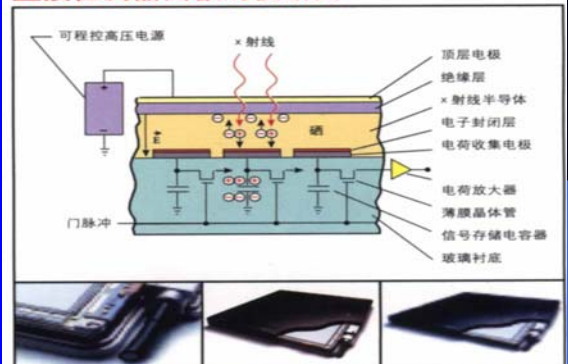
- 它是利用非晶硒的光电导性，将信息X线直接转换成电信号来形成数字化影像。
- 目前的类型有美国HOLOGIC公司、中国台湾新医科技(New Medical)、日本岛津公司(SHIMADZU)和韩国公司(DR-Tich)等企业生产大面积非晶硒平板探测器。
- 特别是数字化乳腺摄影几乎都是使用的小型非晶硒探测器，像素大小为75~100微米。

非晶硒探测器使用的注意点

- 非晶硒薄膜是通过真空蒸镀的方式生长在玻璃基板上，它与玻璃基板的粘接度不高。
- 非晶硒探测器在低于10℃时，非晶硒层有可能从边缘开始从玻璃基板上分离(俗称探测器脱膜)，温度越低，脱膜的可能性越大。脱膜是非晶硒探测器的不可逆的损害，且维修代价高昂。
- 探测器电路部分温度较低时，探测器内部结露，导致电子电路短路，由于探测器内存在较高的电场，这一损害有可能伤及非晶硒薄膜和TFT电路，严重时将导致探测器报废。
- 在环境温度变化剧烈(大于每小时5℃)时，也有可能出现脱膜现象。

- 探测器在断电状态时，更容易出现环境温度过低或变化过快而导致脱膜现象发生；探测器在环境温度较高时(大于35℃)，如果通风不好，探测器温度会上升过高，将会给非晶硒探测器带来另一种伤害——结晶。
- 硒在常温下有晶体态和非晶态(玻璃态)，温度高会导致非晶态向晶体态转变，晶体态的硒薄膜会导致图像不均匀，影响图像诊断。
- 非晶硒平板探测器在环境湿度过大时也会出现探测器的伤害。

直接检测器面板的横断面

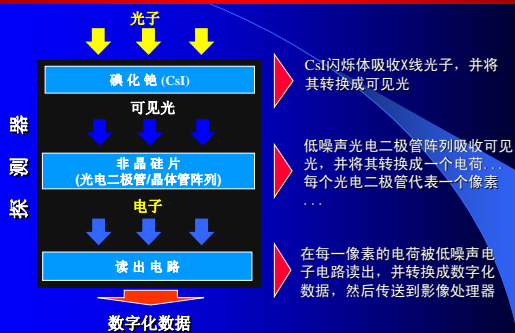


非晶硅平板探测器

- 非晶硅平板探测器有两种基本类型，一种是以碘化铯晶体材料作为X线转换介质的探测器，另一是以硫氧化钆作为X线能量转换介质的探测器。
- 该探测器由于经历了X线—可见光—电荷图像—数字图像的成像过程，通常被称作间接转换型平板探测器。

- 以碘化铯晶体探测器为核心组件的主要机型有：①美国GE公司生产，探测器以GETM命名；②法国Thomson公司、荷兰Philips公司和德国Siemens公司共同研制的探测器，以Triaxell 4600 / 4700 / 4800命名。③Varian 平板探测器。
- 硫氧化钆探测器目前有两种类型，一种是固定于摄影床/台面的Canon CXDI—40G探测器；另一种为便携式Canon CXDI—50G探测器，

非晶硅数字平板探测器的工作原理



- 碘化铯 (CsI) 中的铯是高原子序数 (55)，故具有高X线接收和可视光子产量，它是X线探测器的最佳选择材料。
- 碘化铯采用空心柱状结构，通过特殊工艺培育出类似光纤束的微晶柱结构。单根晶体直径为6~10 μm ，高度为300~500 μm ，呈柱状紧密地排列在一起，针柱晶体外表面由重元素铯包裹以形成可见光波导，减少漫射。
- 碘化铯闪烁体具有光能转换和光导管的双重功能，既能将X线转换为可见光，又能引导荧光沿垂直的方向直接传送到光电探测器。
- 研究表明，每1 kVp得能量可转换为45个可见光光子，加之有光反射层，这样能使光信号的50%以上传输到光电二极管的接收面。

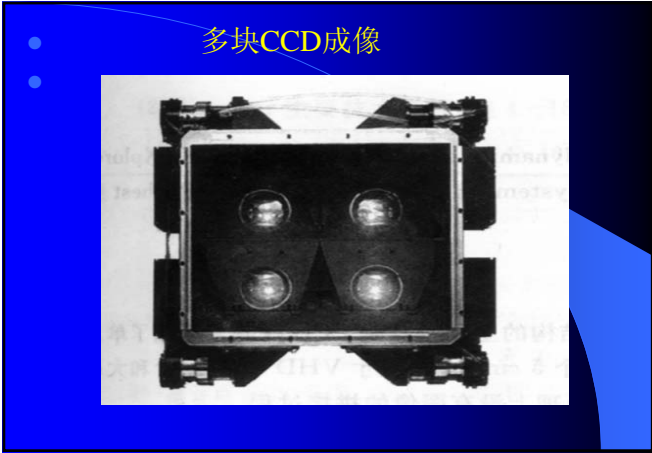
硫氧化钆晶体是一种高性能感光的稀土络合物，早年用于增感屏和CT的检测器。

- 硫氧化钆晶体结构主支架的硫和两个Gd原子采用双键结合，保证了硫氧化钆荧光体的耐久性以及稳定性。
- 钆的最高原子序数为64，具有高X线吸收率。硫氧化钆晶体具有稳定的化学结构，具有宽广的温度、湿度适应范围，对环境条件要求不严格。

CCD成像技术

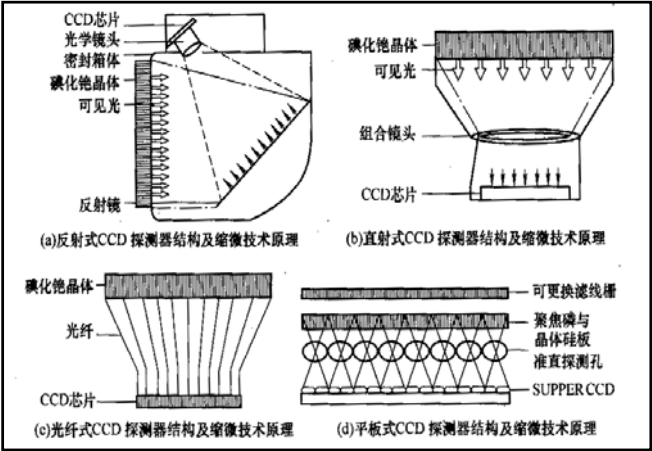
- CCD 由一系列金属氧化物半导体电容组成，CCD成像系统由荧光体配上光学镜头，再加上CCD器件 构成。
- X 射线经过闪烁体 (碘化铯) 产生可见光，可见光经光学系统传输，再由CCD经光电转换为电荷。
- 目前CCD型DR主要有多块CCD和单块CCD两种探测器。

- 多块CCD型探测器主要以瑞典Swissray medical AG公司的ddR为代表，探测器有4个2 cm²的CCD芯片作为探测器元件。
- 基本成像过程为：
 - 1、透过人体的X线投射到大面积CsI平板上，立即转换为可见荧光。
 - 2、4个位于不同位置的反射镜将荧光图像分割为4个等分的区域，按反射镜所确定的光路，分别形成4幅独立的局部图像；
 - 3、4个125万像素的CCD镜头分别将采集的光信号传送到镜头后部的CCD芯片；
 - 4、由CCD产生光生电子，并通过计算机处理转化为数字信号；
 - 5、通过计算机重建图像，对定焦式光学镜头产生的几何光学畸变进行矫正并完成4幅图像拼接整合，还原为一幅完整的X线图像。

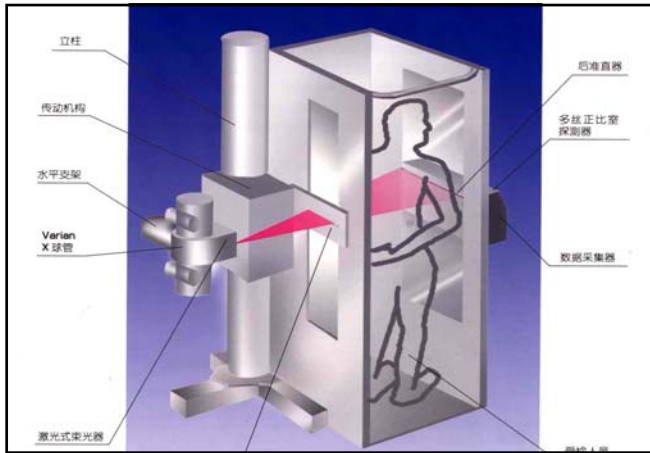


- 单块CCD型探测器主要以加拿大IDC公司为代表，其产品Xplorer于2003年推出。
- X线转换层采用大面积CsI: Tl平板，CCD探测器采用了单片CCD芯片技术，成像单元由单个5 cm²的大尺寸VHD CCD芯片和大口径组合镜头(f0. 95)组成。
- 单芯片CCD在成像原理上没有图像的拼接过程。

- 单块CCD成像基本过程：
 - 1、透过人体的X线投射到大面积CsI: Tl平板上被转换为可见荧光。
 - 2、整块反射镜面以45°折射角将可见光导入CCD镜头。
 - 3、大口径光学组合镜头采集光信号，传送到镜头后部的1700万像素的CCD芯片。
 - 4、由CCD产生光生电子，通过计算机处理转化为数字信号；
 - 5、通过计算机重建图像，并矫正定焦式光学镜头产生的几何光学畸变，形成X线图像。



- ### 线扫描成像技术
- 线扫描成像技术是数字化X线摄影的一个类别，线扫描数字X线摄影所采用的核心组件是线阵X线探测器，它与平板探测器的结构不同，线扫描成像采用**条形线阵探测器**(strip detectors/linear detector)，其像素阵列仅有数排，X线连续曝光时间长，按照时间顺序，分时和逐行扫描并接收X线信号。



数字化乳腺X线摄影

- 1965年第一个钼靶X管用于乳腺摄影；1973年旋转阳极钼靶X管投入使用，同年出现自动曝光控制，以及压迫器在乳腺机上使用；1976年滤线栅用于乳腺摄影；1981年小焦点（0.1mm）的X线管启用；20世纪80年代CR用于乳腺摄影；1996年电荷耦合器件（CCD）应用于乳腺摄影机；2000年全视野平板探测器投入使用；2002年计算机辅助检测（CAD）用于乳腺摄影；2004年三维乳腺摄影技术使用；2006年数字合成体层成像技术用于乳腺X线检查。
- 目前数字乳腺X机以非晶硒平板探测器的成像质量最佳，像素大小在75~100微米之间。

DSA成像技术

- 1、DSA设备目前主要是影像增强器型和平板型，后者市场占有率逐年增加。
- 2、DSA的功能由诊断转换为治疗，功能不断延伸，新领域不断开辟。
- 3、DSA设备是介入治疗的主要工具，使得介入治疗成为继内科、外科之后的第三大临床治疗科室，以微创治疗解决了内科和外科不能或者创伤很大的疾病。

图像存储与传输系统（PACS）

它是高速计算机设备以及海量存储介质为基础，以高速传输网络与医学影像设备相结合，利用先进的数字化信息技术将各种医学影像检查所获得的影像、诊断报告等信息，进行数字化的存储和管理，并可实现影像信息本地及远程查询、浏览、打印等功能。

一个完整的PACS应该具备：①用于诊断、诊断报告、会诊以及远程工作站操作时，提供影像的查看功能。②在存储介质上对医学图像进行短期、长期的归档保存功能。③利用局域网或公用通讯设施进行影像的传输通讯功能。④为用户提供与其他医疗设施和科室信息系统进行集成的界面。

激光打印技术

- 最先应用于激光相机的是气体氦氖激光器。氦氖激光束可以被聚焦到原子级，再加上选用特殊的超微粒激光胶片，可获得较高的清晰度图像，且造价低。
- 半导体激光打印机是20世纪80年代起步，它具有调制速率高、寿命长、体积小、效率高。在红外线范围内，它可将成像所需的数据直接用激光束写在透明胶片上。
- 医用非激光成像技术主要包括热敏成像和喷墨成像两种，目前市场上常见的干式热敏打印机，它不产生油墨等废料，分辨率和灰阶数也都优于其他的技术。

各种DR成像设备的评价

- 1、非晶硅平板探测器目前使用最为广泛，其中又以Trixell平板探测器为主，设备性能和成像质量比较优良。硫酸钡平板探测器性能稳定，操作便捷，价格适中。
- 2、非晶硒平板探测器最早应用临床，目前市场占有率不高。
- 3、CCD探测器设备价格低廉，图像质量一般，主要用于基层医院。
- 4、线扫描探测器设备价格低廉，辐射剂量低，成像速度慢，主要用于基层医院。
- 5、平板数字胃肠机目前包括影像增强器型和动态平板型，前者价格低廉，后者价格较高但成像质量好。这种机型作用范围广，一机多能，效价比很高。