

计算机



线摄影

祁吉 高野正雄(日) 主编

人民卫生出版社

计算机 X 线摄影

Computed Radiography

祁 吉 高野 正雄(日) 主编

编者(依汉语拼音顺序排列)

陈 凯	董劲松	段卫东	冯 芾
高野 正雄	郭得安	国婉华	雷新玮
李 鹏	李云卿	刘亚武	祁 吉
沈 文	孙 焱	王红娟	王忠生
张承明	张文波	赵彦祥	魏世栋

人 民 卫 生 出 版 社

计算机 X 线摄影

Computed Radiography

祁吉 高野正雄(日) 主编

人民卫生出版社出版发行
(100050 北京市崇文区天坛西里 10 号)

中国科学院印刷厂印刷

新华书店经销

787×1092 16 开本 $6\frac{3}{4}$ 印张 147 千字

1997 年 4 月第 1 版 1997 年 9 月第 1 版第 2 次印刷

印数: 2 071—4 070

ISBN 7-117-02687-1/R·2688 定价: 28.00 元

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

序

当前,都认为在中国出版关于 FCR(Fuji Computed Radiography)的理论和临床的教科书很合时宜。

FCR 是将 X 线摄像记录在成像板上,然后再转换为电信号进行图像处理的传统摄影方法与电子技术相结合的 X 线诊断系统。FCR 系统利用了以本书作者之一高野正雄为中心开发的新技术在全世界受到好评。目前,在日本、美国、欧洲等国有 5 千多台设备已投入工作,作为影像信息化时期的必备装置已在世界普及。

关于 FCR 的优点本书做了详细的论述。特别应该说明的一点是 FCR 与传统 X 线摄影相比可降低 X 线对人体的照射,减少 X 线对人体的伤害,并可获得丰富的诊断信息,还可将图像清晰地记录下来。还可调整扩大诊断范围,其图像后处理技术更适应现代的诊断要求。此外,从医疗经济方面看,若取消了 X 线胶片、不用消耗品也是一大进步。

本书基础理论部分由发明者高野正雄先生执笔,天津医科大学影像诊断部祁吉教授充实了临床应用部分。在中国出版有关 FCR 理论与临床实践的学术教科书其意义自不赘言。

现将具有以上内容的这样一本书介绍给中国广大医疗工作者,希望在了解了其优点及特点的基础上能促进今后中国影像医学的发展,并取得成就。

日本国铃鹿医疗科学技术大学
理事长 中村 实

序 文

このたび、中国においてFCR(Fuji Computed Radiography)に関する理論と臨床の教書が刊行されることは、まことに時宜を得た企画であろうと思われます。

FCRは、X線画像をイメージングプレート(Imaging Plate)に記録し、電気信号にかえて画像処理を行うという、従来の撮影方法とエレクトロニクス(electronics)とを結び付けた画期的なX線診断システムであり、本書の著者である高野正雄氏が中心となって開発した革新技術として、世界的に評価されている装置であります。現在、日本はもとよりアメリカやヨーロッパ各国で5千数百台が稼働しているとのことで、まさしく画像情報化時代に必須の装置として全世界への普及をみているわけであります。

FCRの利点は本書において詳述されていることと思われませんが、まず特筆されるべきことは、従来のX線写真による撮影に比し低線量での撮影が可能なこと、これは患者さんへの負担が少なくなるという点で画期的なことでもあります。また診断情報が豊富でかつ画像が鮮明に記録されること、さらに診断域を広くコントロールできるといった大きな特徴も有しており、画像処理技術によるこれからの新しい時代にふさわしい診断法が可能となることです。しかも、X線フィルムといった消耗材が不要であることから、医療経済の面からも大変な利点があるわけです。

そのFCRの教書が、開発発明者である高野正雄氏の基礎理論と、天津医科大学画像診断部に祁吉教授による臨床応用に肉付けにより、理論から臨床の実際までの一貫した内容の中国初の学術成書として出版されることの意義は改めて申すまでもありません。

このような性格を持つ本書が、広く中国の医療機関の皆様に紹介され、その利点や特徴が理解されることで、これからの中国の画像医学の発展にますます寄与することでありましょうし、その成果が期待されるものであります。

鈴鹿医療科学技術大学

理事長 中 村 肇

序 言

从 1974 年春季我开始思索 FCR 的原理及着手进行基础研究工作,至今已经度过了 23 个春秋了。当时,在日本终于生产出了半导体基础部件(IC),并进入实用阶段。此时,作为 FCR 的基础技术部件还几乎处于零的状态。在这种情况下,为了获得“理想的 X 线照片”,集中力量进行了基础技术的开发及产品的开发。幸运的是,半导体技术、激光技术等依预测在不断进步。特别是参与技术开发工作的年轻人们,以他们的智慧与热情给予了支持,从而使得今天的第四代产品问世。

另一方面,回顾这 23 年走过的路程,曾有过许多艰辛。每逢此时,总会得到以中村 实博士为首的先生们的热情帮助和支持,在此谨致谢意。此次,本书在中国出版,正逢我花甲之年,对我来说这是漫长人生中的一个段落,荣幸之极。我的公司作为亚洲的一个小的团体从事医疗器械的开发,由此若能对维系亚洲人民的身体健康起到积极作用的话将不胜喜悦。

本书可作为 CR 的入门知识。愿靠大家的智慧,完成本书的继编—第二版、第三版的出版。

高野 正雄

1997 年 2 月

序 文

1974 年の春に FCR の原理を考え、基礎研究を初めてからもう 23 年になる。当時は日本でようやく半導体素子(IC)が作られ、実用段階に入った時代で、FCR の基本技術となるものは世の中にほとんど無かった。そんな中で「理想の X 線写真」を求め、基本技術の開発、商品の開発を続けてきた。幸運にも半導体技術やレーザー技術等が予想通り進歩し、また 開発に参加した若い人達の英知と熱意に助けられ、今日の第 4 代機としての商品を造り続けることができた。

一方、この 23 年間をふりかえると、幾多の苦難なできごとがあった。そのたびに中村実博士をはじめ、私を支えて下さった人々に助けられて、今日に至ることができ、感謝の気持ちでいっぱいである。今回、本書が中国で発刊されることは今年 60 歳を迎える私にとって長い人生の一つの区切りとなり、大変嬉しく思います。アジアの一つの小さな集団の人達が開発した医療機械がアジアの人々の健康を守ることに役立つことができればこの上もない喜びです。本書はそのための入門書と思います。皆様の英知で本書に続く第 2 刊、第 3 刊が発行されることを期待しております。

1997 年 2 月

高野正雄

序

计算机 X 线摄影(CR)设备是 X 线平片数字化的比较成熟的设备,现已在国际上广泛应用。本书的第一至七章简述了 CR 系统成像的原理及物理学基础。这些知识是放射(影像)学医师、技师及医学生在知识更新过程中应该更新与掌握的,作者也力图写成“适于医师阅读的物理学”;在第八至第十二章介绍了 CR 系统在全身各部位的应用。

本书是与 CR 系统的发明者—高野 正雄先生合作撰写的,日本国铃鹿医疗科学技术大学董事长中村 实博士给予了积极、热情的支持和帮助。希望本书对在国内介绍 CR 系统这一新型数字化成像设备以及促进国际学术交流与合作方面发挥积极作用。

对本书内容中的不足之处还望读者不吝指正。

祁 吉

1997 年元月

目 录

第一章 引言.....	1
第二章 CR 系统的原理	2
一、开发 FCR 系统的基本动机.....	2
二、FCR 系统的基本结构	3
三、CR 系统的特殊价值	7
四、CR 系统的优点	10
五、CR 系统当前的不足	10
第三章 成像板	11
一、成像板的理化性质.....	11
二、成像板的特性.....	12
三、CR 系统读出装置的结构与特征	14
第四章 CR 系统的影像质量特征	18
一、决定 CR 系统响应性的因素	18
二、CR 系统的噪声	19
第五章 CR 系统的影像处理	21
一、CR 系统影像处理的运行原理	21
二、与检测功能有关的处理.....	23
三、与显示功能有关的处理.....	27
第六章 减影处理	32
一、能量减影的原理.....	32
二、能量减影的影像质量.....	34
第七章 CR 影像的存贮	37

第八章 CR 系统在头颈部的应用	
一、CR 系统在降低头颈部摄影条件的价值	
二、CR 系统在头颈部应用中的图像处理	4
三、CR 系统在头颈部检查中的应用	46
第九章 CR 系统在胸部的应用	52
一、概述	52
二、CR 系统在胸部检查中的应用	59
第十章 CR 系统在胃肠道及泌尿系统中的应用	69
一、CR 系统在胃肠道检查中的应用	69
二、CR 系统在泌尿系统检查中的应用	74
第十一章 CR 系统在骨骼肌肉系统中的应用	78
一、CR 系统在脊柱、长骨和关节的应用	79
二、CR 系统在骨骼肌肉系统中的特殊应用	80
三、CR 系统在骨质疏松研究中的应用	85
第十二章 CR 系统在身体其它部位的应用	86
一、CR 系统在乳腺的应用	86
二、CR 系统在儿科疾病中的应用	89
三、CR 系统在血管造影中的应用	92

第一章 引言

自从伦琴(Wilhelm Conrad Röntgen, 1845—1923)在 1895 年发明了由阴极射线管产生的电磁波—X 线以来, X 线摄影已经经历了一个世纪。在此期间, 随着作为其基础的化学与物理学各分支的进步, X 线摄影经历了从最早的摄影干板到目前最新形式的胶片/增感屏组合的各阶段的进步(图 1.1)。60 年代末至 70 年代初以来, 随着计算机与微电子技术的飞速发展, 一大批全新的成像技术进入了医学领域, 如超声、CT、DSA、MRI、SPECT、PET 等。这些技术不仅极大地丰富了形态学诊断信息的领域和层次、提高了形态学的诊断水平, 同时实现了诊断信息的数字化。所有这些以显示人体结构的形态学信息为主要目的的成像方法及相应的科学目前均被纳入医学影像学(medical imaging)范畴。

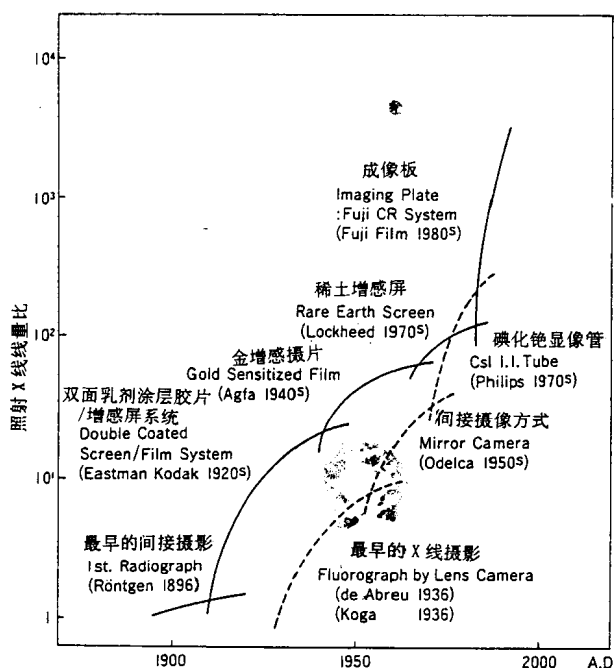


图 1.1 各阶段 X 线摄影技术的进步

在医学影像学领域中, 尽管 X 线摄影是临床放射学检查中应用最早和最普遍的成像方式, 但却是医学影像学中最后实现信息数字化的检查手段。这一事实妨碍了 X 线摄影信息直接进入图像存贮与传输系统(picture archiving and communicating system, PACS)以及远程医学(telemedicine)系统。反之, 也是这两个系统覆盖内容的不足。此外, 传统的胶片/增感屏组合的 X 线摄影方式固有的敏感性和分辨力的限度也是实施传统的 X 线摄影技术改良的促因之一。

迄今, 已从不同渠道探讨了 X 线平片信息的数字化方式, 目前具有实际应用价值的方式归纳起来主要有三种类型:

(一)直接成像方式 以计算机 X 线摄影(computed radiography,CR)方式为代表。富士胶片公司(Fuji Film)最早开发的 FCR 系统即为该方式的先驱。直接成像方式不以 X 线胶片为记录和显示信息的载体,而是使用可记录并可由激光读出 X 线影像信息的成像板(imaging plate,IP)作为载体,经 X 线曝光及信息读出处理,形成数字式平片影像。

(二)间接成像方式 此种方式沿用了影像增强管-电视链。首先,经 X 线曝光在影像增强管-电视链上形成视频影像,再使视频影像数字化,形成数字式平片影像。此种方式成像的原理与数字减影血管造影(DSA)成像的原理基本相同,只是通常不作减影处理(除非用于血管造影)。一般称此种方式为数字式 X 线摄影(digital radiography,DR),但有时有人把 CR 方式也称为 DR,系因二者均有“数字化”的内涵。

DR 方式需使用专门的设备。

(三)过渡方式 采用专门的读出装置,扫描已摄取的常规 X 线胶片,使胶片上记录的模拟信息数字化为数字式平片影像。此种方式是回顾性施行的,通常作为把以往的常规 X 线平片信息数字化的过渡方式。

上述三种方式目前均已市售的设备。就前两种设备来说,间接成像方式需用专用设备(DR 系统),与系统的 X 线摄影设备不兼容;设备的结构不能适用于各种 X 线摄影(尤其是较复杂的摄影)要求;设备的配置与运行成本不适于高通量的 X 线摄影部门,故推广应用的局限性较大。直接成像方式则仅以 IP 代替 X 线胶片(二者的暗盒尺寸相同,大小、形状类似),与常规 X 线摄影设备匹配运行,也不需操作者进行特殊的培训,故目前已在世界各地推广。

第二章 CR 系统的原理

富士胶片公司首先开发的 CR 系统称 FCR 系统。该系统的关键元件—成像板,以及该系统的工作原理已为其后相继开发的其它类似系统广泛沿用。

一、开发 FCR 系统的基本动机

1. 实现常规 X 线摄影信息数字化 基于该系统的功能,使常规 X 线摄影的模拟信息直接转换为数字信息。

2. 提高图像的分辨、显示能力,使之突破常规 X 线摄影技术的固有局限性。

3. 采用计算机技术,实施各种后处理(post-processing)功能,增加显示信息的层次。

4. 降低常规 X 线摄影的辐射剂量。

5. 实现 X 线摄影信息的数字化贮存、再现及与其它相关信息的联网(传输)。

FCR 系统是富士胶片公司的高野正雄(Masao Takano)等于 70 年代开始研制的,80 年代初期已有市售,90 年代上市,产品已几度升级。目前,FCR 类型的设备已在全世界逐步普及。

1981 年 6 月在比利时首都布鲁塞尔召开的国际放射学会(ICR)年会上,曾因 FCR 系统和数字减影血管造影(DSA)系统的问世而被誉为“放射学新的起步年”。

二、FCR 系统的基本结构

图 2.1 显示了 FCR 系统的基本组成部份。

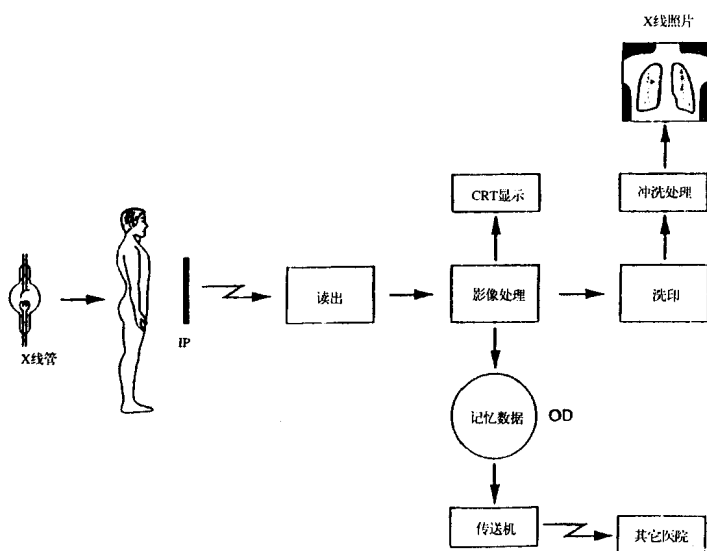


图 2.1 CR 系统的主要组成部分

X 线管和 IP 构成 CR 系统的信息采集部分；读出装置（激光扫描器、

光电倍增管和 A/D 转换器）构成 CR 系统的信息转换部分；

显示与记录装置构成 CR 系统的信息处理与记录部分

根据 FCR 系统各种元件的功能，FCR 可分为三个主要的部份：

（一）信息采集(acquirement of information) 常规 X 线摄影中使用增感屏/胶片组合系统的成像方式已众所周知，在 X 线照片上最终形成的影像无法直接数字化。CR 系统解决的关键问题之一即是开发了一种既可接受模拟信息，又可实现模拟信息数字化的信息载体，即成像板(IP)。这样，采集的信息则可应用数字图像信息处理技术进一步处理，实现数字化处理、贮存与传输。

成像板为外观很象摄影增感屏的一种薄板，由保护层、成像层、支持层和背衬层构成。其中关键的成像层为一层含微量二价铕离子的氟卤化钡晶体。该晶体层内的化合物经 X 线照射后可将接受的能量以潜影的方式贮存于晶体内，是为模拟影像。当随后用激光束扫描带有潜影的成像板时，可激发贮存在晶体内的能量，使之转换为荧光，继而读出并转换为数字信号。数字信号则可被馈入计算机和数字图像处理系统，最终形成数字影像(图 2.2)。

成像板是装入特定的暗盒内，用和常规 X 线摄影相同的方式投照的，因此是和常规 X 线摄影设备兼容的。这样，FCR 系统的信息采集部份主要是由 X 线管和成像板组成的。

在本书第三章将详细讨论成像板的特性。

（二）信息转换(transformation of information) CR 系统中，IP 经 X 线照射后被激发（第一次激发）。经第一次激发的 IP 上贮存有空间上连续的模拟信息，为使该信息数字化，IP 要由激光束扫描（第二次激发）读出。CR 系统的读出装置中的激光发生器发射激光束（氦-氖[He-Ne]激光束波长为 633nm，半导体激光束波长为 670~690nm），在与 IP 垂直

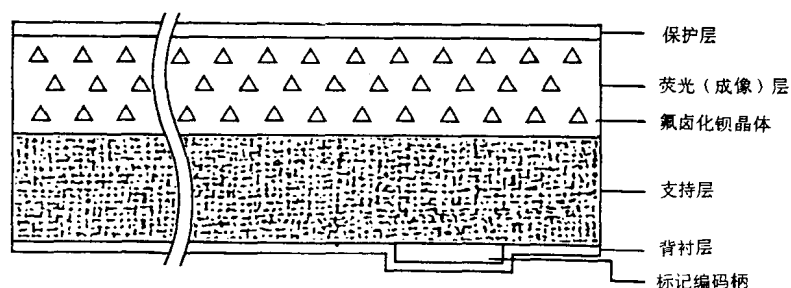


图 2.2 IP 结构的剖面图

从上至下依次为保护层、成像层、支持层与背衬层

的方向上依次扫描整个 IP 表面。IP 上的荧光体被二次激发后发生光激发发光或称光致发光(photostimulated luminescence, PSL)现象,产生荧光。荧光的强弱与第一次激发时的能量精确成比例,即呈线性正相关。该荧光由沿着激光扫描线设置的高效光导管采集和导向,导入光电倍增管,被转换为相应强弱的电信号。继而,电信号被馈入模拟/数字(A/D)转换器转换为数字信号。至此,CR 系统完成了模拟信号到数字信号的转换(图 2.3, 2.4)。

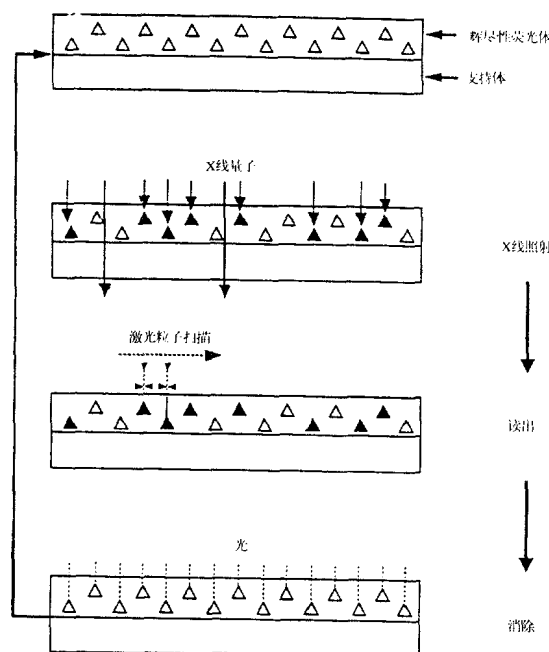


图 2.3 IP 的辉尽性荧光体工作方式

荧光体被 X 线照射后激发(第一次激发),含有潜影的荧光体被激光扫描(第二次激发),产生光激发发光(光致发光)现象,二次激发后的荧光体被强光照射,消除了潜影,可重新用于成像

在本书第四章将详细讨论与信息转换有关的技术问题。

(三)信息的处理与记录(processing and recording of information)

信息的处理 FCR 系统信息处理的原理与其它数字信息处理技术是类似的。大体上讲,CR 的信息处理可分为谐调处理、空间频率处理和减影处理。

事实上,FCR 系统的读出装置是依据 IP 上成像层内晶体的 PSL 特征设计的。FCR 系统中的信息转换部份主要是由激光扫描器、光电倍增管和 A/D 转换器组成的。

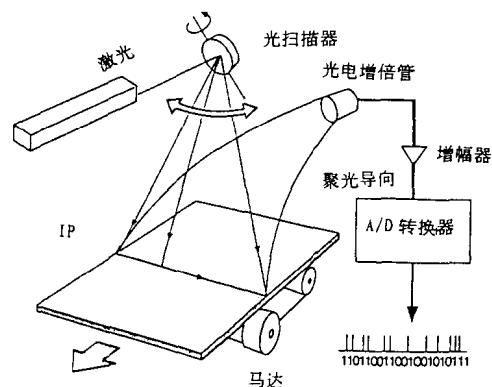


图 2.4 IP 的读出方式示意图

FCR 系统中,随 IP 在读出装置内移动,IP 被激光束逐行照射而激发(二次激发),荧光体发射出与贮存的信息相应强度的荧光,荧光被聚光导入光电倍增管,转换为电信号,继而经 A/D 转换器转换为数字信号而被读出

(1) 谐调处理(gradation processing): 谐调处理涉及的是影像的对比。常规的增感屏/胶片摄影系统中, 最终显示的影像相当大程度上依赖于 X 线曝光量, 当曝光量过高和过低时, 均不能得到有诊断价值的影像。CR 系统中, X 线剂量和/或能量改变(曝光宽容度)的允许范围则较大, 在适当设置的范围内曝光都可以读出影像的信号。

在一张 X 线照片上, 包括有不同的解剖部位, 每次投照时可能使用不同的投照技术, 若使用同一种类型的谐调处理技术产生所有的影像显然是不理想的。CR 系统可分别地控制每一幅影像显示的特征, 可依据成像的目的设置谐调处理技术。比如: 胸部摄影中, 影像信息覆盖的范围很宽, 在肺野和纵隔部位的密度差别很大, 因而可分别应用不同类型的谐调处理技术, 以既可极好地显示肺野内的结构, 又可防止在输出影像中纵隔的密度与骨的密度过于接近, 提高纵隔内不同软组织的分辨层次。又如, 在乳腺摄影中, 则要增加低密度区的对比, 抑制高密度区的对比, 以利显示包括边缘部位在内的乳腺内钙化(图 2.5)。

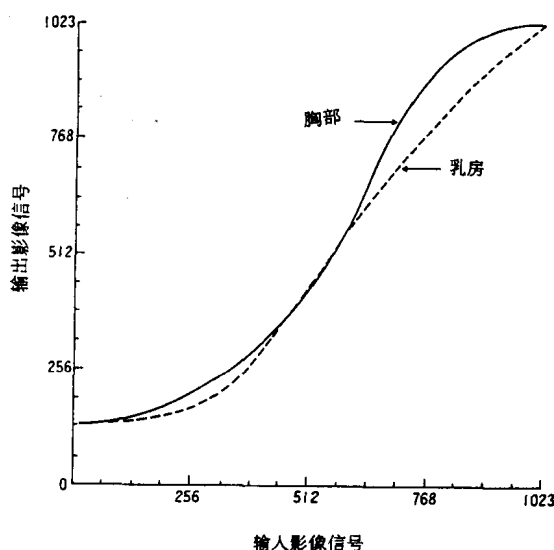


图 2.5 CR 影像的谐调处理

曲线示最适于胸部与乳腺诊断应用的谐调类型(GT)

谐调处理中, 有四个参数决定谐调处理状况的非线性转换曲线, 即谐调类型、旋转中心、旋转量和谐调曲线移动量。谐调类型是四个参数中最基本的参数, 它规定非线性转换曲线的基本形式。FCR 系统有 15 个以上谐调类型的形式, 在 FCR 照片上, 由字母 A 到 P 中的一个字母标明。例如, 选择某一种谐调类型, 则可实现影像的黑/白翻转; 当曲线围绕某一特定的中心点旋转时, 依赖旋转中心点的位置和旋转程度可得到不同的影像对比; 当谐调曲线移动时, 则可改变影像的总体光学密度(图 2.6)。

(2) 空间频率处理(spatial frequency processing): 空间频率处理是指对频率响应的调节, 从而影响影像的锐度。在增感屏/胶片系统, 随着空间频率的增加, 频率响应变小, 即是说影像内高频率成份的对比将减小。CR 系统中, 可通过空间频率处理调节频率响应, 比如, 可提高影像中高频率成份的频率响应, 从而增加此部分的对比。

边缘增强技术是空间频率处理的较常用的技术。该技术是通过增加对选择的频率的响应, 使兴趣结构的边缘部分得到增强, 从而突出结构的轮廓。改变显示矩阵的大小也可决定不同结构的对比, 使用较大的矩阵可使处于低空间频率的软组织结构得到增强;

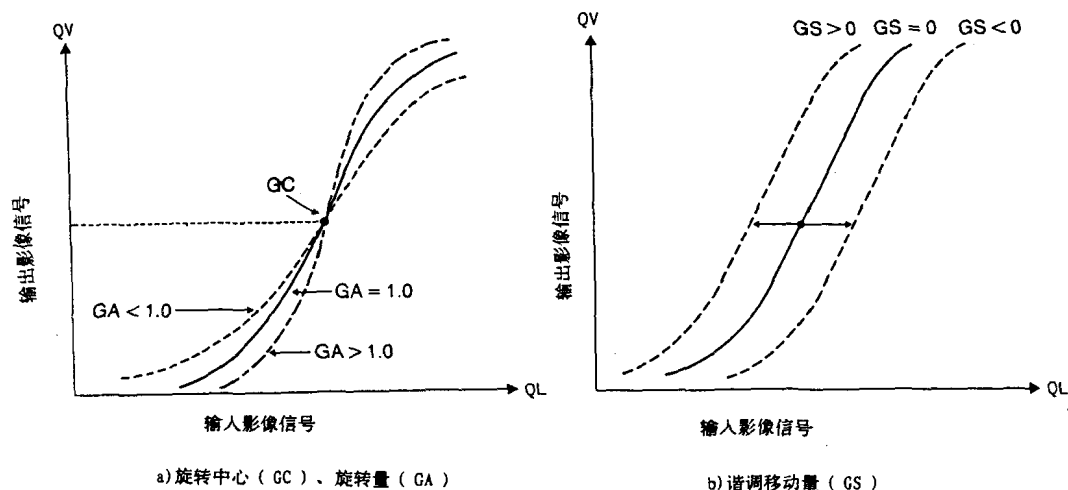


图 2.6 影响谐波处理的非线性转换曲线的参数

使用较小的矩阵则可使较细微的结构,如骨的微细结构得到增强(图 2.7、2.8)。

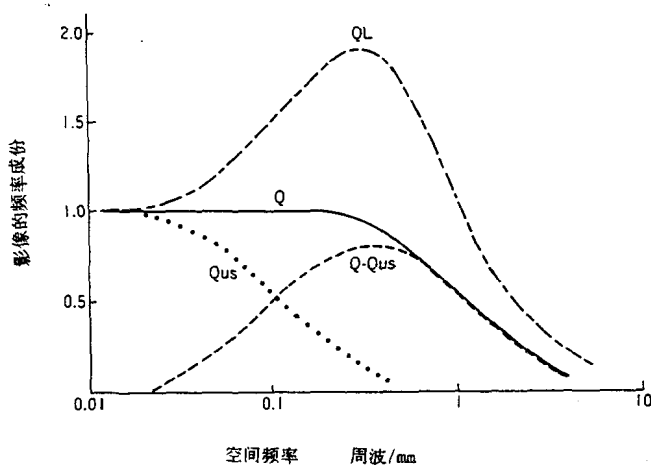


图 2.7 空间频率处理

FCR 系统中使用的空间频率处理称为不鲜明蒙片处理。图中 Q 代表原始影像, Qus 代表不鲜明影像, QL 代表经处理的影像。虚线代表原始影像与不鲜明影像之间的差别 (Q-Qus), 单点的曲线指示经过处理的影像的频率响应

通常, 谐波处理(影响对比)和空间频率处理(影响锐度)是结合应用的。低对比处理和强的空间频率处理结合使用, 可提供较大的层次范围和实现边缘增强, 利于显示软组织, 如纵隔等; 高对比处理与弱的空间频率处理结合使用可提供与增感屏/胶片系统提供的类似的影像。

(3) 减影处理: 减影(subtraction)通常是数字减影血管造影(DSA)设备的功能, 但 CR 系统也可完成血管造影与非造影影像的减影职能。在时间减影血管造影方式中, CR 系统同样可以摄取蒙片(mask)和血管显影照片, 并经计算机软件功能实施减影。

和 DSA 设备相比, CR 系统实施时间减影方式还有下述优点: ①IP 覆盖范围大, 可克服 DSA 设备中影像增强管(I.I)视野较小的限制。②IP 的空间分辨率比 I.I-TV 系统高, 若使用 10×12 英寸的 IP, 其空间分辨力为 3.3LP/mm, I.I-TV 系统为 1.8cycle/mm。③

IP 的动态范围宽,利于视野内的结构具有明显密度差别时信息的采集,如胸部摄影。

在能量减影方式中,CR 系统除可采用传统的瞬时切换曝光电压,得到两幅不同能量影像实施减影的方式外,还可在暗盒中放置两张 IP,中间夹有一层铜滤过板,只需一次曝光,因铜滤过了软 X 线,下面的 IP 接受了相当于高能量曝光的硬 X 线照射,分别读出后则可实施两种能量曝光的影像减影。如在胸部摄影中,采用能量减影方式可分别突出肋骨与肺野的显示(图 2.9)。

CR 系统实施时间或能量方式减影功能时的缺点是时间分辨力差,目前不可能达到 DSA 设备通常可达到的每秒数幅以上的采集频率及实时显示。但在继续改进设备功能的同时,可以实施对时间分辨力要求不高的部位与目的的检查。

(4)信息的记录:FCR 系统的信息是存贮在光盘中的。若光盘的一面存贮量为 1GB,而一幅 CR 影像的存贮空间为 4MB,则每面光盘可存贮 250 幅图像。但是,资料管理系统可提供压缩,若压缩率为 1/20,则每面光盘的存贮量可扩充到 5000 幅影像。

为满足临床诊断目的,FCR 系统信息的记录方式有三种主要类型,即激光打印胶片、热敏打印胶片及热敏打印纸。激光打印胶片是常规的记录方式,CR 信息传输到激光打印机,打印机还可同时联接其它成像设备,如 CT、MR、DSA 等,形成网络。

图 2.10 示在医院中 FCR 系统配置的方框图。

三、CR 系统的特殊价值

在临床应用中 CR 系统的特殊价值(special value of CR system)主要体现在以下方面:

(一)**X 线剂量** CR 系统设计的初衷之一是减少 X 线剂量。投照 X 线剂量的降低与 IP 的性能、检测(读出)设备的敏感性、投照部位及投照时的技术参数等多种因素有关。已有的材料证实,应用 FCR 系统成像的 X 线剂量,在胸部投照时为常规 X 线摄影的 1/20~1/7;在胃肠道造影检查时为 1/20;泌尿与盆腔检查时为 1/8~1/2。X 线剂量还与 IP 使用的期限有关,事实上超过额定曝光次数的 IP 通常仍可使用,但 X 线曝光剂量将提高,才可继续得到可满足诊断要求的影像(图 2.11)。

(二)**团检及高危人口的 X 线检查** 适龄妇女的乳腺定期普查已相当普及,但积累的 X 线剂量过高自身即为一个致癌的危险因素。CR 系统的低 X 线剂量成像则极有利于乳腺普查及其它类似目的的团检。此外,对辐射尤其敏感的孕妇及儿童,使用 CR 系统代替常规 X 线摄影则可大大放宽 X 线检查的内容与次数的限度。

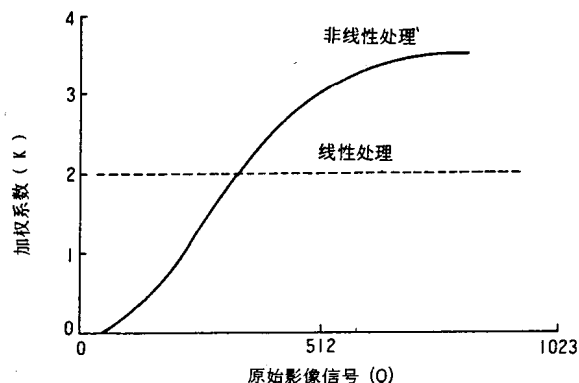
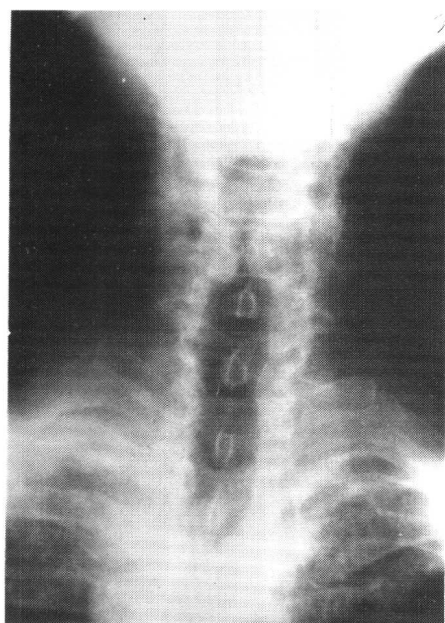
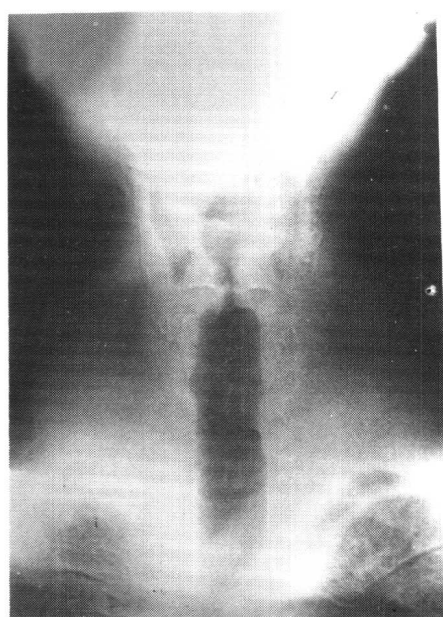


图 2.8 不鲜明蒙片处理中加权系数的函数曲线图
图中,加权因素 K 值不是一个常数,K 值随原始影像的密度(信号 Q)恒定地增减,在低密度区域(Q 值小的区域)K 值减小,在高密度区域(Q 值大的区域)K 值增加。

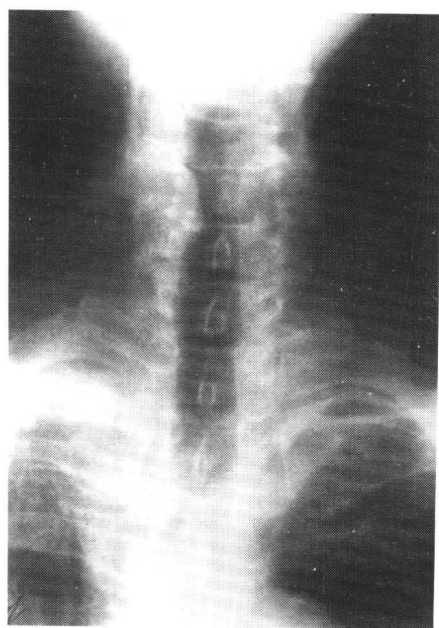
此类处理称为“非线性不鲜明蒙片处理”



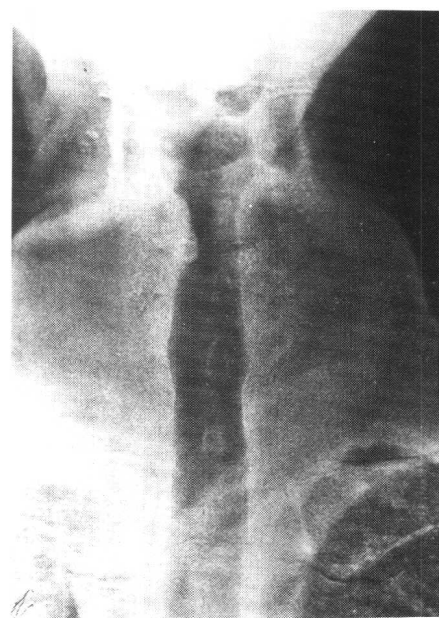
①



②



③



④

图 2.9 口喉部的能量减影照片(口喉癌)

①常规 X 线高电压摄影(发声时);②FCR 能量减影照片保留了软组织,更清晰地显示了气道;③常规 X 线高电压摄影(平静呼吸时);④FCR 能量减影照片