

臨床CT診斷學

李果珍 主編 戴建平 王儀生 副主編

中國科學技術出版社

臨床CT診斷學

李果珍 主 編

戴建平 副主編
王儀生

中国科学技术出版社

·北京·

(京)新登字 175 号

图书在版编目 (CIP) 数据

临床 CT 诊断学/李果珍主编. —北京: 中国科学技术出版社, 1994. 10
ISBN 7-5046-1778-4

I. 临…

II. 李…

III. 计算机辅助诊断

IV. R814.42

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 09981 号

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码: 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京燕山联营印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 42.75 字数: 1000 千字

1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月第 1 次印刷

印数: 1—6000 册 定价: 140.00 元

前 言

1985年编写第一部《临床体部CT诊断学》时，我们临床经验还不丰富，但为了广大同道的迫切需要，还是及时完成了一本符合实际要求的工具书。9年来我们积累了更多经验，国际上也有了許多新进展，因此完全有必要再出版内容丰富、跟上时代进展的新版本。

这本书是由有专科经验的学者执笔，而且增加了新篇章：颅脑，颈部，骨关节，淋巴瘤病和磁共振的基础知识等等。随着国家经济的发展，CT在全国已经相当普及。我谨代表全体著者献上这本《临床CT诊断学》，希望对大家的工作和学习有参考价值。

图像是本书的重要内容，对各单位负责制图的同志，在此表示感谢。

李果珍

1994年8月

目 录

第一篇 物理基础和仪器设备

| | | | |
|-----------------------|------|-----------------------------------|------|
| 第一章 CT | (3) | 二、人体进入磁体的外磁场,形成纵向磁化 | (18) |
| 第一节 基本原理 | (3) | 三、RF 激发产生横向磁化 | (20) |
| 第二节 部件及功能 | (6) | 四、生物组织的 T1 和 T2 差别是磁共振成像的基础 | (23) |
| 第三节 CT 的一些特殊功能 | (9) | 五、梯度线圈和定位 | (25) |
| 第四节 CT 机的主要技术指标 | (10) | 六、变换层厚的措施 | (26) |
| 第五节 安装 CT 的环境要求 | (12) | 七、快速扫描 | (26) |
| 第六节 CT 的维护与维修 | (13) | 八、化学位移 | (27) |
| 第七节 CT 的进展 | (13) | 九、磁敏感性和造影增强 | (27) |
| 第二章 磁共振成像的基本原理 | (17) | 十、磁共振血管成像 | (27) |
| 一、自旋的带电质子产生内磁场 | (17) | | |

第二篇 颅 脑

| | | | |
|------------------------------|------|--------------------------|------|
| 第一章 头颅 CT 扫描概述 | (33) | 一、颅裂畸形 | (55) |
| 第一节 颅脑 CT 扫描技术和检查方法 | (33) | 二、胼胝体发育不良 | (56) |
| 第二节 颅脑疾患的基本 CT 征象 | (35) | 三、Chiari 畸形 | (56) |
| 一、直接征象 | (35) | 四、Dandy Walker 综合征 | (58) |
| 二、间接征象 | (35) | 五、前脑无裂畸形 | (58) |
| 三、定位征象 | (36) | 六、视-隔发育不良 | (59) |
| 四、定性征象 | (36) | 七、神经元移行异常 | (59) |
| 五、其他征象 | (37) | 第四节 组织发育畸形 | (61) |
| 第二章 颅脑正常解剖 | (38) | 一、颅面血管瘤病 | (61) |
| 第一节 颅骨 | (38) | 二、结节性硬化 | (61) |
| 第二节 脑膜 | (39) | 三、神经纤维瘤病 | (62) |
| 第三节 大脑半球 | (43) | 第四章 颅脑损伤 | (63) |
| 第四节 间脑 | (44) | 第一节 简介 | (63) |
| 第五节 小脑 | (45) | 第二节 头皮和颅骨损伤 | (64) |
| 第六节 脑干 | (45) | 第三节 脑外血肿、积液和积气 | (69) |
| 第七节 脑室系统 | (47) | 第四节 外伤性原发性脑损伤 | (75) |
| 第八节 脑的血供 | (48) | 第五节 血管损伤 | (78) |
| 第九节 正常颅脑横断面断层解剖的 CT 表现 | (49) | 第六节 脑疝、脑积水 | (79) |
| 第三章 先天性颅脑发育不全 | (54) | 第五章 脑血管病 | (81) |
| 第一节 脑的正常发育 | (54) | 第一节 缺血性脑疾患 | (81) |
| 第二节 先天性畸形分类 | (55) | 第二节 出血性脑疾患 | (85) |
| 第三节 器官发育畸形 | (55) | 第三节 脑血管病变 | (87) |
| | | 一、动脉瘤 | (87) |
| | | 二、脑血管畸形 | (88) |

| | |
|------------------------|-------|
| 第六章 颅内肿瘤 | (91) |
| 第一节 颅内肿瘤 CT 诊断原则 | (91) |
| 第二节 幕上肿瘤 | (94) |
| 第三节 幕下肿瘤 | (112) |
| 第四节 鞍区及颅底肿瘤 | (116) |
| 第五节 鉴别诊断 | (123) |
| 第七章 感染性疾病 | (125) |
| 第一节 化脓性细菌感染 | (125) |
| 第二节 非化脓性细菌感染 | (128) |
| 第三节 病毒感染 | (131) |

| | |
|-------------------------|-------|
| 第四节 霉菌感染 | (133) |
| 第五节 寄生虫感染 | (134) |
| 第六节 爱滋病(AIDS) | (136) |
| 第八章 髓鞘形成异常及脱髓鞘疾患 | (139) |
| 第一节 髓鞘形成异常 | (139) |
| 第二节 脱髓鞘病 | (142) |
| 第三节 伴有深部灰质受累的变性疾患 | (145) |

第三篇 五官和颈

| | |
|-----------------------|-------|
| 第一章 眼部疾病的 CT 诊断 | (151) |
| 第一节 检查方法 | (151) |
| 第二节 眼的正常解剖 | (151) |
| 第三节 眼眶内炎症 | (158) |
| 第四节 甲状腺性眼球突出 | (160) |
| 第五节 眼眶外伤和异物 | (161) |
| 第六节 血管性疾病 | (162) |
| 第七节 眼球钙化 | (165) |
| 第八节 视网膜脱离 | (166) |
| 第九节 眼球肿瘤 | (166) |
| 第十节 眼眶内眼球外肿瘤 | (169) |
| 第十一节 眶壁和副鼻窦肿瘤 | (173) |
| 第二章 耳-颞骨 | (176) |
| 第一节 检查技术 | (176) |
| 第二节 正常 CT 解剖 | (176) |
| 第三节 先天畸形 | (181) |
| 第四节 外伤 | (184) |
| 第五节 肿瘤 | (185) |
| 第六节 炎症性疾病 | (187) |
| 第七节 其他颞骨病变 | (190) |
| 第三章 鼻和副鼻窦 | (192) |
| 第一节 检查方法 | (192) |
| 第二节 正常解剖 | (192) |
| 第三节 恶性肿瘤 | (195) |
| 第四节 良性肿瘤 | (199) |
| 第五节 感染性疾病 | (202) |
| 第六节 外伤 | (204) |
| 第七节 先天畸形 | (206) |
| 第八节 全身性疾病 | (206) |

| | |
|---------------------------|-------|
| 第四章 鼻咽和咽旁间隙 | (208) |
| 第一节 扫描技术 | (208) |
| 第二节 解剖 | (208) |
| 第三节 鼻咽癌 | (210) |
| 第四节 咽旁间隙内的原发肿瘤 | (214) |
| 第五节 颞下窝肿瘤 | (215) |
| 第五章 涎腺肿瘤 (附颞颌关节) | (218) |
| 第一节 解剖 | (218) |
| 第二节 临床表现和病理 | (219) |
| 第三节 良性腮腺肿瘤 | (219) |
| 第四节 腮腺恶性肿瘤 | (221) |
| 第五节 颌下腺肿瘤 | (225) |
| 附: 颞颌关节 | (226) |
| 一、CT 检查技术 | (226) |
| 二、CT 检查的临床应用 | (227) |
| 第六章 喉 | (229) |
| 第一节 检查技术 | (229) |
| 第二节 正常喉解剖 | (229) |
| 第三节 颈部和喉各平面正常 CT 解剖 | (231) |
| 第四节 喉肿瘤 | (235) |
| 第五节 喉的非肿瘤性病变 | (237) |
| 第七章 颈 | (239) |
| 第一节 检查技术 | (239) |
| 第二节 解剖 | (239) |
| 第三节 颈部病变 | (241) |
| 一、脏器区 | (241) |
| 二、两个颈外侧区 | (244) |
| 三、颈后区病变 | (251) |

第四篇 胸部

| | | | |
|------------------------|-------|--------------------------|-------|
| 第一章 胸部 CT 检查技术 | (255) | 二、转移癌 | (340) |
| 第一节 常规 CT 扫描技术 | (255) | 三、良性瘤 | (344) |
| 第二节 高分辨率 CT 扫描技术 | (257) | 第三节 肺气肿 | (349) |
| 第二章 胸部 CT 正常解剖 | (261) | 第四节 尘肺 | (352) |
| 第一节 气道 | (261) | 第五节 弥漫性肺疾病 | (355) |
| 第二节 纵隔 | (266) | 第六节 结节病 | (366) |
| 第三节 肺门 | (271) | 第七节 肺损伤 | (368) |
| 第四节 肺野 | (274) | 第五章 胸膜病变 | (370) |
| 第五节 胸壁 | (277) | 一、胸腔积液 | (370) |
| 第六节 胸膜 | (279) | 二、膈附近胸水和腹水的鉴别 | (370) |
| 第七节 横膈 | (280) | 三、肺下积液 | (372) |
| 第八节 胸内淋巴系统 | (282) | 四、膈倒转 | (372) |
| 第三章 纵隔异常 | (287) | 五、胸膜肿瘤 | (372) |
| 第一节 大血管的先天异常 | (287) | 第六章 胸壁、腋窝的模膈 | (375) |
| 第二节 大血管病变 | (299) | 一、胸壁病变 | (375) |
| 第三节 肺血管病变 | (305) | 二、腋窝病变 | (375) |
| 第四节 气管、支气管病变 | (307) | 三、横膈病变 | (376) |
| 第五节 纵隔占位病变 | (311) | 第七章 心脏的 MRI | (378) |
| 第六节 其他纵隔病变 | (315) | 第一节 检查方法 | (378) |
| 第四章 肺部病变 | (316) | 第二节 正常心脏解剖的 MRI | (383) |
| 第一节 肺感染性疾病 | (316) | 第三节 后天性心脏病的 MRI 诊断 | (385) |
| 第二节 肺肿瘤 | (324) | 第四节 先天性心脏病 | (394) |
| 一、肺癌 | (324) | | |

第五篇 腹部

| | | | |
|------------------------------|-------|-------------------|-------|
| 第一章 肝脏 | (397) | 第五节 胆系恶性肿瘤 | (451) |
| 第一节 检查技术 | (397) | 第六节 胆囊良性病变 | (453) |
| 第二节 正常解剖和变异 | (401) | 第七节 梗阻性黄疸 | (454) |
| 第三节 原发性肝细胞癌 | (404) | 第八节 先天性胆管囊肿 | (457) |
| 第四节 其他恶性肿瘤 | (418) | 第三章 胰 | (461) |
| 第五节 肝血管瘤和其他良性占位性 病变 | (420) | 第一节 检查技术 | (461) |
| 第六节 转移性肝癌 | (427) | 第二节 正常解剖 | (461) |
| 第七节 肝脓肿和寄生虫病 | (429) | 第三节 胰腺炎 | (462) |
| 第八节 肝脏弥漫性病变 | (436) | 第四节 胰腺肿瘤 | (464) |
| 第九节 血管病变 | (440) | 第四章 脾 | (473) |
| 第十节 肝脏外伤 | (441) | 第一节 检查方法 | (473) |
| 第二章 胆道系统 | (446) | 第二节 正常解剖 | (473) |
| 第一节 检查方法 | (446) | 第三节 先天变异和畸形 | (474) |
| 第二节 正常解剖 | (446) | 第四节 外伤 | (475) |
| 第三节 胆系结石 | (447) | 第五节 感染 | (476) |
| 第四节 胆系炎症 | (450) | 第六节 梗塞 | (478) |
| | | 第七节 囊性块 | (478) |

| | | | |
|------------------|-------|----------------|-------|
| 第八节 良性肿瘤 | (479) | 第五节 肾感染性疾病 | (513) |
| 第九节 恶性肿瘤 | (481) | 第六节 囊肿类疾病 | (515) |
| 第十节 其他 | (483) | 第七节 肿瘤 | (517) |
| 第五章 胃肠道 | (485) | 第八节 肾外伤 | (525) |
| 第一节 食管 | (485) | 第九节 肾血管疾病 | (525) |
| 第二节 胃 | (487) | 第十节 肾外科手术后续诊 | (526) |
| 第三节 小肠 | (492) | 第八章 腹膜腔 | (528) |
| 第四节 结肠 | (496) | 第一节 检查方法 | (528) |
| 第六章 肾上腺 | (501) | 第二节 正常解剖及变异 | (528) |
| 第一节 检查方法 | (501) | 第三节 腹腔积液 | (533) |
| 第二节 正常肾上腺解剖 | (501) | 第四节 腹膜腔积气 | (539) |
| 第三节 原发性醛固酮增多症 | (501) | 第五节 腹膜腔炎症及脓肿 | (540) |
| 第四节 皮质醇症 | (502) | 第六节 腹膜肿瘤 | (546) |
| 第五节 嗜铬细胞瘤 | (503) | 第七节 腹膜腔外伤 | (547) |
| 第六节 神经母细胞瘤 | (505) | 第九章 腹膜后间隙 | (549) |
| 第七节 骨髓脂肪瘤 | (506) | 第一节 检查方法 | (549) |
| 第八节 无功能肾上腺皮质腺瘤及癌 | (507) | 第二节 正常解剖及变异 | (549) |
| 第九节 肾上腺囊肿 | (507) | 第三节 腹膜后间隙炎症及脓肿 | (552) |
| 第十节 肾上腺转移癌 | (508) | 第四节 腹膜后间隙肿瘤 | (555) |
| 第十一节 肾上腺结核 | (508) | 第五节 腹膜后间隙外伤 | (557) |
| 第十二节 小结 | (508) | 第六节 腹膜后纤维化 | (559) |
| 第七章 肾脏 | (511) | 第十章 恶性淋巴瘤 | (561) |
| 第一节 正常解剖和变异 | (511) | 第一节 病理和分类 | (561) |
| 第二节 检查方法 | (512) | 第二节 临床和分期 | (562) |
| 第三节 先天畸形 | (512) | 第三节 影像学检查步骤 | (563) |
| 第四节 肾结石和尿路梗阻 | (512) | 第四节 CT表现 | (564) |

第六篇 盆 腔

| | | | |
|-------------|-------|--------------|-------|
| 第一章 检查方法 | (581) | 第一节 正常解剖和变异 | (595) |
| 第二章 正常CT解剖 | (582) | 第二节 隐睾 | (595) |
| 第一节 男性盆腔 | (582) | 第三节 睾丸肿瘤 | (596) |
| 第二节 女性盆腔 | (583) | 第六章 子宫 | (598) |
| 第三章 膀胱 | (585) | 第一节 正常解剖和变异 | (598) |
| 第一节 正常解剖和变异 | (585) | 第二节 宫颈癌 | (598) |
| 第二节 膀胱炎 | (586) | 第三节 宫体癌 | (601) |
| 第三节 膀胱结石 | (586) | 第四节 恶性缪勒氏管肿瘤 | (602) |
| 第四节 膀胱癌 | (586) | 第五节 子宫转移癌 | (602) |
| 第四章 前列腺和精囊 | (591) | 第六节 子宫肌瘤 | (603) |
| 第一节 正常解剖和变异 | (591) | 第七章 卵巢和输卵管 | (604) |
| 第二节 前列腺炎和结石 | (592) | 第一节 正常解剖和变异 | (604) |
| 第三节 前列腺良性增生 | (592) | 第二节 输卵管卵巢脓肿 | (604) |
| 第四节 前列腺恶性肿瘤 | (593) | 第三节 子宫内膜异位 | (604) |
| 第五章 睾丸 | (595) | 第四节 卵巢肿瘤 | (605) |
| | | 一、卵巢囊肿与囊性病变 | (605) |

| | |
|----------|-------|
| 二、卵巢良性肿瘤 | (605) |
| 三、卵巢恶性肿瘤 | (606) |
| 四、输卵管病变 | (611) |

| | |
|-------------|-------|
| 第八章 直肠和乙状结肠 | (612) |
| 第一节 正常解剖和变异 | (612) |
| 第二节 直肠癌 | (612) |

第七篇 四 肢

| | |
|--------------|-------|
| 第一章 创伤 | (621) |
| 第一节 躯干 | (621) |
| 第二节 上肢创伤 | (623) |
| 第三节 下肢创伤 | (624) |
| 第二章 关节病 | (626) |
| 第一节 躯干 | (627) |
| 第二节 四肢关节病 | (628) |
| 第三章 骨关节感染 | (631) |
| 一、急性血源性骨髓炎 | (631) |
| 二、慢性骨髓炎 | (631) |
| 三、脊柱结核 | (631) |
| 四、膝关节结核 | (632) |
| 第四章 肿瘤与肿瘤样病变 | (633) |
| 第一节 脊柱骨软骨瘤 | (634) |
| 第二节 骨囊肿 | (634) |
| 第三节 动脉瘤样骨囊肿 | (634) |
| 第四节 骨巨细胞瘤 | (635) |

| | |
|----------------|-------|
| 第五节 多发性骨髓瘤 | (635) |
| 第六节 骨转移癌 | (636) |
| 第五章 软组织病变 | (638) |
| 第一节 血管瘤 | (638) |
| 第二节 神经纤维瘤 | (638) |
| 第三节 脂肪瘤 | (639) |
| 第四节 血肿 | (639) |
| 第五节 骨化性肌炎 | (640) |
| 第六节 滑液囊肿或软组织囊肿 | (640) |
| 第六章 特殊扫描 | (642) |

| | |
|---------------------|-------|
| 第一节 骨骼各种角度的 CT 扫描测量 | (642) |
| 第二节 QCT 骨密度测量 | (643) |
| 第三节 关节造影 CT (CTA) | (645) |
| 第四节 CT 引导下介入放射学 | (647) |
| 第五节 术后随诊 | (647) |

第八篇 脊 柱

| | |
|-------------------|-------|
| 第一章 检查方法 | (653) |
| 第二章 正常解剖 | (654) |
| 一、脊椎的一般形态 | (654) |
| 二、颈段 | (655) |
| 三、胸段 | (656) |
| 四、腰骶段 | (656) |
| 第三章 脊椎退行性病变和脊椎狭窄症 | (657) |
| 一、椎间盘退行性病变 | (657) |
| 二、椎小关节退行性病变 | (659) |
| 三、脊椎狭窄症 | (659) |
| 第四章 椎间盘疝 | (661) |
| 一、腰椎间盘疝 | (661) |
| 二、颈椎间盘疝 | (663) |
| 三、胸椎间盘疝 | (663) |

| | |
|------------|-------|
| 第五章 肿瘤 | (664) |
| 一、脊髓内肿瘤 | (664) |
| 二、脊髓外硬膜内肿瘤 | (665) |
| 三、硬膜外椎管内肿瘤 | (666) |
| 四、脊椎骨的肿瘤 | (667) |
| 第六章 外伤 | (668) |
| 一、骨与韧带损伤 | (668) |
| 二、外伤性椎间盘疝 | (668) |
| 三、椎管内结构的损伤 | (668) |
| 第七章 感染性疾病 | (670) |
| 一、蛛网膜炎 | (670) |
| 二、间盘炎 | (670) |
| 三、脊椎化脓性骨髓炎 | (670) |
| 四、脊椎结核 | (670) |

第一篇

物理基础和仪器设备

第一章 CT

第一节 基本原理

X 线在穿过物质时其强度呈指数关系衰减。X 线通过均匀物质后的强度 I_{out} 与入射强度 I_{in} 的关系为： $I_{out} = I_{in} \cdot e^{-\mu l}$ (图 1-1-1)

“ l ” 为 X 线在均匀物质中传播的距离，“ μ ” 为物质对 X 线的衰减系数。X 线在衰减系数 (μ) 不同的物质中传播时衰减的快慢不同 (图 1-1-2)。

图中表明，在具有较小衰减系数 μ_1 小的物质中，X 线经过较长距离才被完全吸收；而在具有较大衰减系数 μ_3 大的物质中，X 线经过较短距离就已完全衰减。

X 线穿过一组衰减系数不同的模块后 (图 1-1-3) 的强度与入射的 X 线强度的关系为：

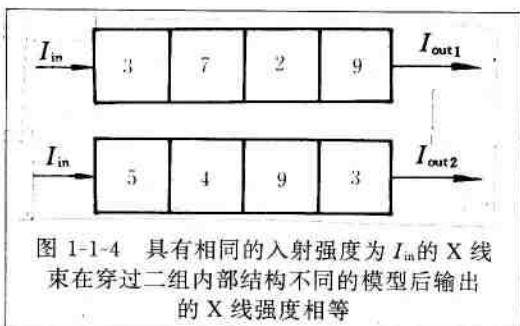
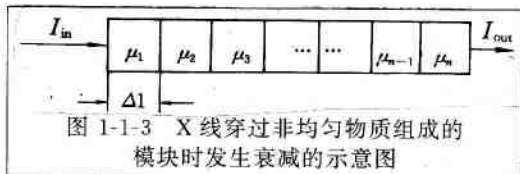
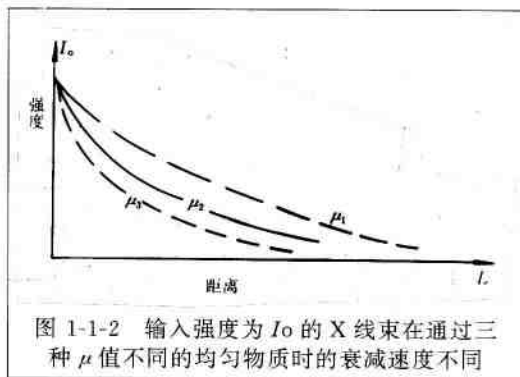
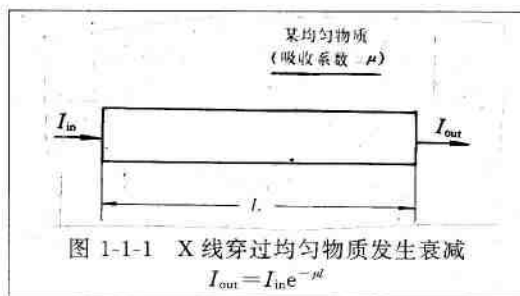
$$I_{out} = I_{in} \cdot e^{-\mu_1 \Delta l} \cdot e^{-\mu_2 \Delta l} \cdot e^{-\mu_3 \Delta l} \cdot \dots \cdot e^{-\mu_n \Delta l}$$

$$I_{out} = I_{in} \cdot e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots + \mu_n) \Delta l}$$

其中 Δl 为正立方体模块的边长， μ_1 、 μ_2 、 μ_3 、 \dots 、 μ_n 分别为各个模块的衰减系数。故对于不均匀物质来讲：

$$I_{out} = I_{in} \cdot e^{-\int \mu dl}$$

即 X 线在穿过不均匀物质时，其强度按指数规律衰减，其衰减率为 X 线在其传播途径中物质吸收系数的线积分值。 μ 在这里为 l 的函数，即在 X 线传播途径的各点上的 μ 值是不同的。



由上式可以看出, X 线在穿过物质后的强度与所传播途径上各个点的物质的衰减系数都有关系。因此当我们用入射强度相同的 X 线穿过二个由不同模块组成的模型时就会发现, 尽管二组模型的内部结构不同, 模型一由吸收系数为 3, 7, 2, 9 的模块组成, 模型二由吸收系数为 5, 4, 9, 3 的模块组成(图 1-1-4), 由于 $3+7+2+9=5+4+9+3$, 故其穿过模型后的 X 线强度是相等的。这说明 I_{out} 仅仅能反映 X 线在传播过程中的综合效果, 而不可能反映在这一路径上不同密度物质的分布情况。这就是线积分测量方式的最大缺点与局限。从常规 X 线设备的成象来看, 各组织的图象相互重叠, 高密度的物体(如骨骼, 造影剂等)的图象将掩盖低密度组织的影象。人们为了解决常规 X 线设备影象重叠的问题曾采用了 X 线断层以便突出聚焦层面的图象, 但由于未能改变其线积分测量的本质也就无法从根本上解决图象重叠的问题。

CT 设备克服了常规 X 线设备的线积分测量这一缺点, 得到了反映人体组织结构分布的图象, 从根本上克服了常规 X 线机影象重叠的弊病, 从而使医疗影象学有了一个飞跃。

为了说明 CT 的工作原理, 有必要先对一些基本名词的概念加以扼要的介绍。

1. CT 值 在 X 线穿过人体的物理过程中, 物质的密度是由物质对于 X 线的衰减系数来体现的。在研究 CT 图象时人们更关心的是人体内各组织密度间的差异, 而不是密度的绝对值, 因此 CT 值的概念被采用了, 其定义为:

$$\text{某物质的 CT 值} = 1000 \times \frac{\mu_{\text{该物质}} - \mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}}$$

即某物质的 CT 值等于该物质的衰减系数与水的吸收系数之差再与水的衰减系数相比之后乘以 1000。其单位名称为 HU (Hounsfield Unit); 1000 即为 HU 的分度因数 (scaling

factor)。显然, 在这里是以水为标准, 各组织的 CT 值均与它比较。

显而易见:

$$\text{CT 值}_{\text{水}} = 1000 \times \frac{\mu_{\text{H}_2\text{O}} - \mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} = 0 \text{ (HU)}$$

空气由于 μ 值近似为 0

$$\begin{aligned} \text{CT 值}_{\text{空气}} &= 1000 \times \frac{0 - \mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} \\ &= 1000 \times \frac{\mu_{\text{H}_2\text{O}}}{\mu_{\text{H}_2\text{O}}} = -1000 \end{aligned}$$

故空气的 CT 值为 -1000 (HU)。

物质的 CT 值反映物质的密度, 即物质的 CT 值越高相当于密度越高。

应该指出的是, 物质对于 X 线的衰减系数 μ 除了与物质本身的密度有关外, 还与通过该物质的 X 线能量有关, X 线能量越低, 则物质的 μ 值相对偏高。因此 CT 值会在一定程度上受 CT 机产生的 X 线能量的影响。

2. 矩阵 矩阵 (Matrix) 是一个数学概念, 它表示一个横成行、纵成列的数字阵列, 如图 1-1-5 即表示了一个 5×5 的矩阵。由两个技术指标来表明矩阵的情况, 一是矩阵的大小, 如 320×320 , 512×512 , 1024×1024 等, 一是矩阵中数字的精度, 由于计算机常用二进制数表示, 故其精度也用二进制的位数来表示, 如 10bit, 12bit 等。其精度根据设

| | | | | |
|------|------|------|------|------|
| 1010 | 1100 | 0001 | 1011 | 1101 |
| 0010 | 0000 | 1000 | 1100 | 1001 |
| 0001 | 0110 | 1001 | 0110 | 0000 |
| 1010 | 0110 | 0111 | 0011 | 1111 |
| 1011 | 1110 | 0101 | 0101 | 1010 |

图 1-1-5 矩阵示意图
图中为一个 5×5 的二进制数字矩阵, 字长为 4bit

备要求而定。在CT中有二种意义的矩阵，一是重建矩阵，一是显示矩阵，这将在下文中加以说明。

3. 象素与体素 (Pixel, Voxel) CT的图象实际上是人体某一部位有一定厚度的(如10mm, 5mm, 1.5mm等)体层的图象。我们将成象的体层分成按矩阵排列的若干个小单元(图1-1-6)。而以一个CT值综合代表每个小单元内的物质的密度。这些小单元我们称之为体素 (Voxel)。同样，一幅CT的图象是由许多按矩阵排列的小单元组成，这些组成图象的基本单元被称之为象素 (Pixel)。体素是一个三维的概念，而象素是一个二维的概念。象素实际上是体素在成象时的表现。象素越小，越可分清图象的细节，图象也就有较高的分辨率。

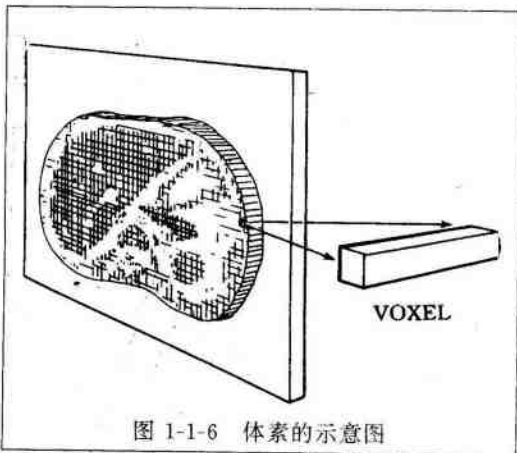


图 1-1-6 体素的示意图

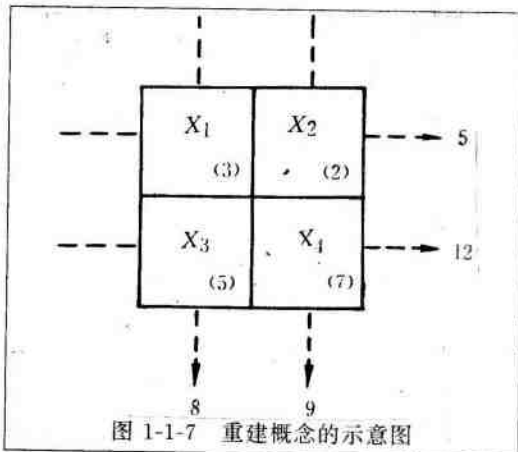


图 1-1-7 重建概念的示意图

4. 原始数据, 显示数据及重建 用准直的X线穿过人体的某一层面, 用一个探测器阵列来接收经人体后衰减的X线信号, 这些信号经放大后进行模数转换, 所得到的数据称之为原始数据 (Raw Data)。

组成CT某层面图象的数据是该层面各体素CT值的矩阵。在这一矩阵中的数据称为显示数据 (Display Data)。

在CT中用专门的计算机将收集到的原始数据经复杂的运算过程而得到一个显示数据的矩阵。用原始数据经计算而得到显示数据的过程被称之为重建 (Reconstruction) 过程。

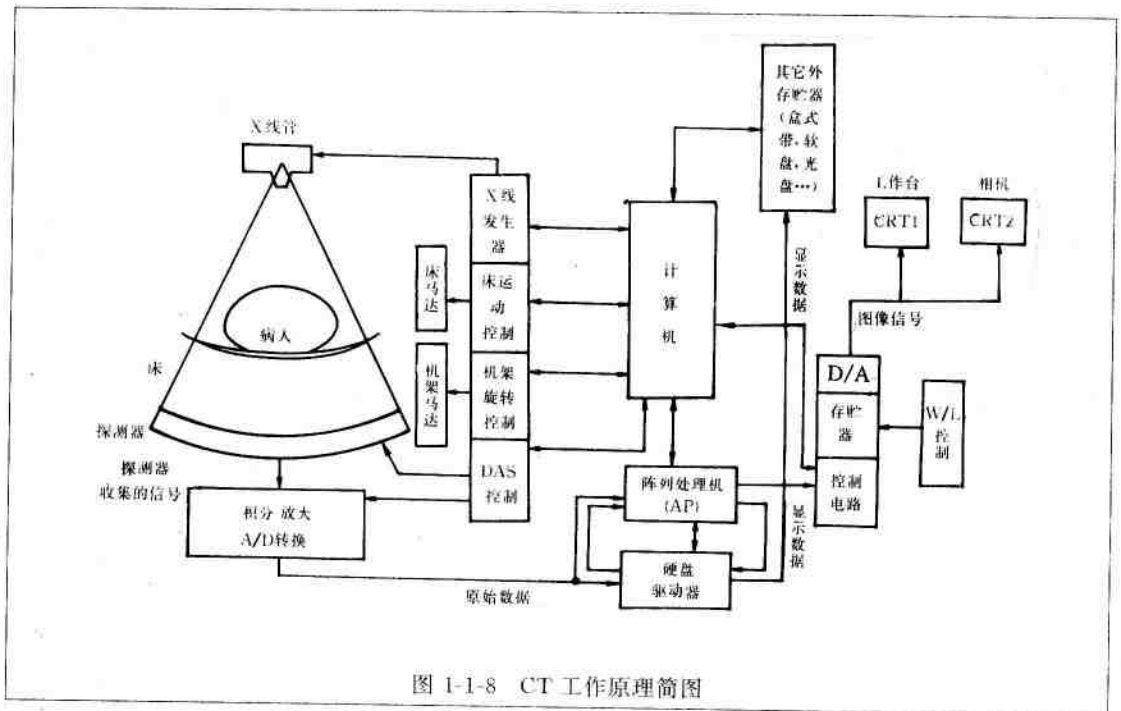
CT的本质就是重建图象, CT正是用重建图象才克服了常规X线设备线积分测量的局限性。现在用一个简单的例子来说明重建过程, 以加深对于CT原理的理解。

图1-1-7中排列了四个正方体模块, 代表了四个未知密度的体素, 其 μ 值分别用 X_1, X_2, X_3, X_4 来表示, 我们用平行的X线分别从X方向和Y方向进行照射。并用探测器分别在X及Y方向上接收到四组数据。因此我们可以知道:

$$\begin{aligned} X_1 + X_2 &= 5 & X_2 + X_4 &= 9 \\ X_3 + X_4 &= 12 & X_1 + X_3 &= 8 \end{aligned}$$

求 X_1, X_2, X_3, X_4 的过程实际上就是重建过程。其运算结果为: $X_1=3, X_2=2, X_3=5, X_4=7$ 。3, 2, 5, 7, 是显示数据, 而5, 12, 8, 9, 是原始数据。应该指出实际CT的重建的数学处理过程是一个相当复杂的数学过程。重建的能力是CT的一个重要指标。它要用一个专门的计算机——阵列处理器 (Array Processor 简称AP) 来完成。数学上的二维的FFT (快速傅立叶变换) 是其主要的运算方法之一。

了解了上述概念, 也就很容易了解CT的基本原理了。CT的英文名称为Computed Tomography, 即: 计算机体层摄影。简称为CT。它是在1972年由Sir Godfrey Newold



Hounsfield 发明的。它是用准直后的 X 线束对人体的某一层面从不同的角度进行照射，用探测器接收到多组原始数据（可高达数十万个数据）经计算机重建后产生显示数据矩阵，并在 CRT 或胶片上成象的 X 线诊断设备。重建图象反映了 CT 的本质，而计算机技术的发展使 CT 在技术上得以实现。

图 1-1-8 是 CT 的工作简图，其工作步骤简述如下：在计算机的控制下，X 线发生器产生 X 线，数据采集系统开始收集探测器采集到的数据。与此同时计算机控制机架的旋转部分旋转，以改变取样的位置。数据收集系统得到数据后，一方面送硬盘存贮，一方面送 AP 进行重建。经 AP 处理后的显示数据被计算机送硬盘存贮，同时也可以被送入图象存贮器，经窗宽窗位控制后，或在 CRT 上显示层面的图象（也可以显示在多幅照相机的 CRT 上），或进入激光象机的存贮器，后被拍成多幅图象。显示数据还可以存入磁带，盒式带，光盘，磁光盘，软盘等进行长期保存。

第二节 部件及功能

典型的 CT 设备包括：①扫描机架和病床；②X 线系统；③数据收集系统；④计算机和阵列处理机；⑤操作台包括图象显示系统；⑥照相机；⑦硬盘驱动器以及其它种类的用于存贮病人资料的外部设备。

一、扫描机架

在扫描机架内装有 X 线管、准直器、过滤器、探测器，数据采集系统、旋转机械及控制电路和机架前后倾斜的机械传动部件等。

准直器位于 X 线管前端的 X 线出口处。其窄缝按扫描层厚要求分别可调为 10mm, 5mm, 3mm, 1.5mm 等不同的宽度。它的宽度决定了 X 线束的宽度即决定了扫描层面的厚度。

过滤器也置于 X 线管的前端，X 线通过

过滤器后进入人体，其目的是过滤掉低能 X 线来校正由于 X 线是多种能量射线而造成的误差。对于头部和体部在扫描时应选用不同的过滤器。

探测器是将 X 线信号（X 线的强度）转变为电信号的器件。有两种类型：固体探测器和气体探测器。固体探测器一般用碘化钠，碘化铯，锗酸铋等组成的闪烁晶体将 X 线信号转变成光信号再与光电二极管配合最后转化成“电信号”。气体探测器是采用高压氙气，它在吸收 X 线时产生电离，通过积分电路将电离后的电流信号转变成相应的电压信号。一般地说，固体探测器灵敏度高，有较高的转换效率而气体探测器的稳定性和一致性较好。探测器的灵敏度，一致性，稳定性，动态范围及效率等一系列特性，直接影响 CT 的图象质量和 CT 的整机性能。因此探测器技术的发展，如新型探测器的研制成功，探测器的小型化等都对 CT 性能的提高起着重

大的作用。

在第三代 CT 中，探测器阵列呈扇形，与 X 线管一起同步旋转，在第四代 CT 中，探测器排列成圆环且固定不动，仅 X 线管在探测器环内旋转（见图 1-1-9）。其旋转方式通常是顺时针旋转一次后再反时针旋转一次，如此交替进行。新型的连续旋转型 CT 则采取滑环结构做单方向的连续旋转。

为了便于对某些器官进行一定方向的 CT 扫描（如使扫描平面与椎间盘的间隙平行），一般 CT 均能使其机架有 $\pm 20^\circ$ 的倾斜角度。

病床：病床可做上下运动，其床面可做前后运动。前后运动除操作员用按钮控制外，在扫描的过程中由计算机控制。它决定扫描层面位置的准确性，因此其位置的精度，位置的重复性是床运动的一个重要指标。在连续旋转式扫描的 CT 中，床运动速度的准确性与稳定性则直接影响图像质量。

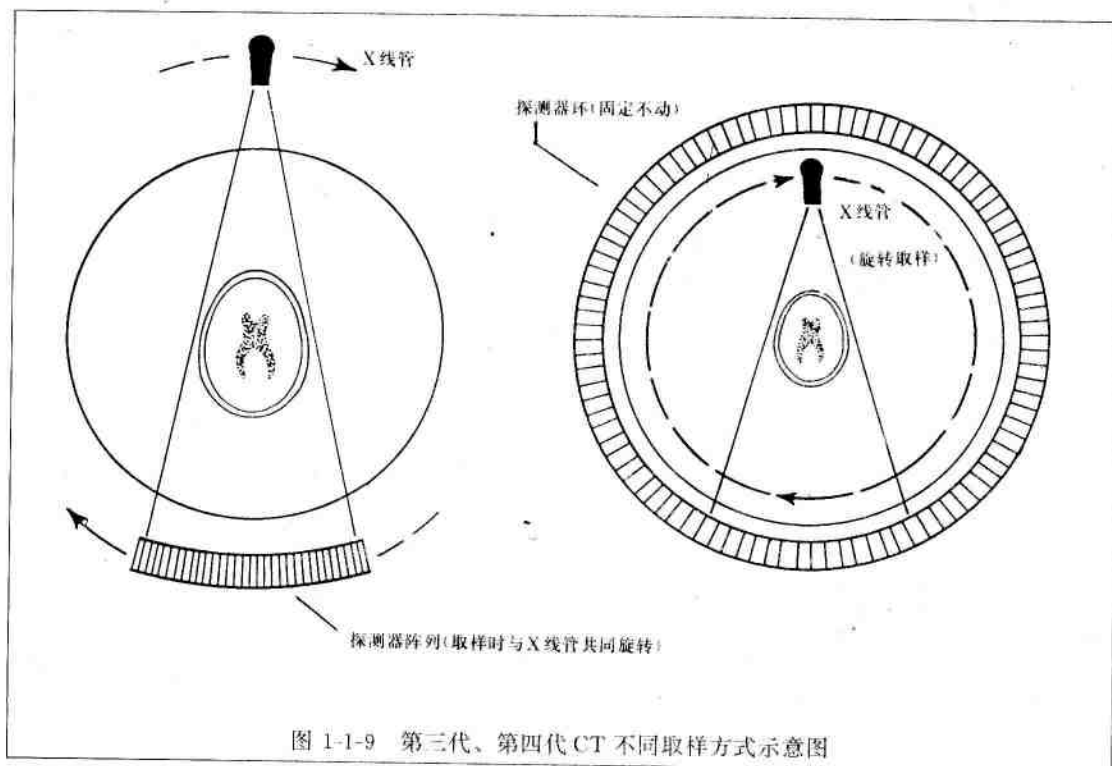


图 1-1-9 第三代、第四代 CT 不同取样方式示意图

二、X 线系统

CT 的 X 线系统分为连续式曝光和脉冲式曝光两种方式。在 80 年代中期及以前的 CT 产品中,常常采用脉冲式,即在扫描过程中 X 线脉冲的产生与数据取样同步。在采样时有 X 线产生,在采样间隙, X 线中止,这样可以减少人体接受的 X 线量,同时减少了 X 线发生器及 X 线管的工作量。随着 CT 设备的发展,为了提高图象的质量使取样频率(每秒钟内的取样次数)不断提高,这样在扫描周期里,取样时间与扫描时间的比值大大增加了。因此 80 年代后期的大部分 CT 设备采用了连续 X 线曝光方式。随着连续旋转型 CT 的产生,中频 X 线发生器已广泛应用在 CT 系统中,其高压发生器体积小,重量轻。

三、数据采集系统 (Data Acquisition System, 简称 DAS)

数据采集系统由探测器、缓冲器、积分器、放大和 A/D 转换等电路组成。计算机将由探测器得到的模拟信号加以处理(如积分、放大等)然后通过模数转换器变为数字信号再送到 AP 中进行图象重建,并送磁盘中进行原始数据存档。

四、计算机系统

CT 有两个主要的计算机系统,一是主计算机,一是阵列处理器 (AP)。主计算机的功能如图 1-1-8 所示,它负责控制整个系统的运行,包括机架、床的运动, X 线的产生,数据收集以及各部件间的信息交换。AP 则承担图象重建的任务。随着 CT 的发展,多处理器、多总线的结构在 CT 中得到采用,即 X 线的发生、数据收集、运动控制、图象显示等部件均有自己的微处理器来控制工作,而用一个主计算机按系统运行的时间要求将各个微处理器的工作协调起来。这样大大增加了系统的并行处理功能。如机器在扫描的过

程中仍可进行图象重建而医生仍可在工作台上进行其它图象的诊断,使 CT 的工作效率大为提高。

五、操作台和图象显示

操作台:操作台是操作员与 CT 机联系的工具。设置扫描条件、控制扫描、观察、分析及处理病人资料均在操作台上进行。操作台一般有两个 CRT,一个用来显示病人的图象,一个与键盘配合,用来与计算机对话,有些新设计的 CT 可以使一个 CRT 具有双重的功能。早期的 CT,操作员要通过人机对话的形式来控制设备的运行,操作步骤比较繁琐。随着功能键的采用,使得操作得到简化,新设计的 CT 用触摸式屏幕提供程序清单,用鼠标器控制光标又进一步提高了操作员的工作效率。

图象显示单元:为了显示病人某一层面的图象,必须将该图象的显示数据放入图象显示单元。该单元主要由图象存贮显示矩阵硬件、窗宽窗位 (Window width, Window Level) 控制器和相应的控制电路组成。显示矩阵硬件的容量为 256×256 , 512×512 , 1024×1024 等。字长为 $10 \sim 12$ bit。由于该矩阵是显示数据的矩阵,故矩阵里的任何一个数据实际上是对应着要观察体层中某一部位的 CT 值。其控制电路负责显示数据从磁盘机到显示矩阵的传输。其附加电路包括字符发生器、轨迹发生器以及图象分析和测量的功能(如感兴趣区的平均值和标准差的测量,距离的测量等)。

窗口技术是分析数字化图象的重要方法。即选择适当的窗位和窗宽来观察图象。对于 CT 的图象来说,图象矩阵单元的数字范围一般在 $+1000$ 和 -1000 (HU) 之间。而在观察图象时我们必须将这些数据进行 D/A 转换变成不同的电压值,进而在 CRT 上显示成不同的灰度。人的视觉只能分辨从白到黑之间不同的 16 个灰度层次(称之为灰阶),