

# 腹部 CT

周康荣 主编

上海医科大学出版社

# 腹部 CT

---

**主 编** 周康荣

**副主编** 唐敖荣 王 滨  
陈祖望 曾蒙苏  
彭卫军

上海医科大学出版社

**(沪)新登字 207 号**

**责任编辑 高敬泉 阮天明**  
**封面设计 朱振东**  
**绘 图 陈丁惠**

**腹 部 CT**

**Fubu CT**

**主编 周康荣**

---

上海医科大学出版社出版发行

上海市医学院路 138 号

邮政编码 200032

新华书店上海发行所经销

江苏省句容县排印厂排版

上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 21.25 插页 174 字数 517 000

1993 年 12 月第 1 版 1993 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—5 000

---

ISBN 7-5627-0190-3/R·178

---

**定价: 108.00元**

## 内 容 提 要

---

全书共分 14 章,第一章为总论,除了叙述 CT 机构造、成像原理和检查技术外,还对近年来造影剂、CT 机、CT 检查和诊断技术的进展作了介绍。第二至第十章及第十三章按脏器介绍腹部疾病的 CT 表现、诊断和鉴别诊断,内容以常见病为主,也尽量包括罕见、少见疾病。在阐述各疾病的 CT 表现和特征之前,先概述病理和临床表现,以求内容的完整,最后对各种影像检查方法作综合分析,尽可能以客观的立场介绍有关方法的优点和局限性,以达到相互取长补短的目的。腹部外伤、淋巴瘤和儿科疾病放在第十一、十二和十四章中集中论述,颇具新意,以便读者加深理解。本书有 1600 多幅精选的 CT 图和 60 余幅线图,以充实文字内容。

## 编写者(按姓氏笔划排列)

---

- 丁建国 上海医科大学中山医院  
王 滨 山东省潍坊医学院附属医院,原中山医院博士研究生  
王康安 上海医科大学儿科医院  
江 浩 上海第二医科大学瑞金医院  
李茂全 上海医科大学中山医院  
严福华 上海医科大学中山医院  
吴卫平 上海医科大学中山医院  
沈继章 上海医科大学中山医院  
张玉珂 新疆维吾尔自治区人民医院  
张志勇 上海医科大学中山医院  
陈财忠 上海医科大学中山医院  
陈祖望 上海医科大学中山医院  
周康荣 上海医科大学中山医院  
施裕新 上海医科大学中山医院  
徐海东 浙江省宁波市第一人民医院,原中山医院博士研究生  
唐敖荣 上海第二医科大学瑞金医院  
彭卫军 上海医科大学中山医院  
蒋亚平 上海医科大学中山医院  
曾蒙苏 上海医科大学中山医院

# 前 言

---

CT 机已在国内迅速普及,尽管设备昂贵,但由于其独特的显像能力以及在疾病诊断中所起的重要作用,因而深受医生的青睐和病员的关注。

在重视经济效益的同时,如何充分发挥每台 CT 机的功能,提高图像质量和诊断水平,为临床提供更多更确切的资料,是每个 CT 专业人员的职责。无论是正确的经验,还是错误的教训,都值得借鉴。书籍无疑是传递信息和学术交流的媒介。80 年代末期,作者推出的《体部 CT》译著在一定程度上达到了普及的目的,但显然还不能满足读者继续深造的迫切要求。于是,在搜集丰富资料的基础上,我们把长期积累的临床经验和科研工作的成果整理成书出版,奉献给广大从事放射学和临床工作的同道,若能对大家有所裨益,则将是我们的最大愿望。本书的出版与广大热爱《体部 CT》译著的读者的鼓励是分不开的,译著固然有不少优点,但它毕竟是国外资料,相比之下,本书的内容和病例尤为丰富,且更适合国情。它不仅具备一般教科书的优点而有益于初读者,更兼备大型专著的特点,不失为一本高级专业参考书。

本书能如此快与读者见面,得力于我的助手们的艰巨劳动,以及上海医科大学出版社的高度重视,在此我表示诚挚的感谢。此外,我还要对为本书提供某些病例的胡全民教授、汪守中主任和廉养德主任等,以及关心本书出版的国内同道表示谢意。

毋庸讳言,尽管我们尽了自己的努力,但不足之处在所难免,祈望专家和同道们不吝批评指正。

周康荣

1993 年 7 月 26 日

# 目 录

## 前 言

## 第一章 总论 ..... 1

- 第一节 CT 机和 CT 诊断技术的发展 ..... 1
  - 一、CT 成像原理 ..... 1
  - 二、CT 机的基本结构 ..... 3
  - 三、CT 机的发展 ..... 5
  - 四、CT 检查和诊断技术的发展和近况 ..... 7
- 第二节 CT 检查技术 ..... 10
  - 一、腹部 CT 检查常规 ..... 10
  - 二、CT 图像质量和影响质量的变量因素 ..... 13
  - 三、伪影和克服伪影的措施 ..... 15
  - 四、CT 检查用造影剂和造影剂反应 ..... 17

## 第二章 肝脏 ..... 21

- 第一节 正常解剖和变异 ..... 21
- 第二节 检查技术 ..... 24
- 第三节 原发性肝细胞癌 ..... 28
  - 一、病理与临床 ..... 28
  - 二、CT 表现 ..... 31
  - 三、鉴别诊断 ..... 36
  - 四、小肝癌的 CT 诊断及影像学方法比较 ..... 38
  - 五、特殊类型的肝细胞癌 ..... 41
  - 六、肝癌术后复发的 CT 诊断 ..... 42
- 第四节 非肝细胞性肝脏恶性肿瘤 ..... 43
  - 一、胆管细胞癌 ..... 43
  - 二、胆管细胞囊腺癌 ..... 45
  - 三、其他上皮来源的恶性肿瘤 ..... 45
  - 四、肝脏肉瘤 ..... 45
- 第五节 肝血管瘤和其他良性占位性病  
变 ..... 46
  - 一、肝血管瘤 ..... 46

二、肝脏其他良性肿瘤 ..... 49

三、肝脏囊肿 ..... 51

第六节 转移性肝癌 ..... 52

第七节 肝脓肿和寄生虫病 ..... 55

一、肝脓肿 ..... 55

二、慢性血吸虫肝病 ..... 57

三、肝包虫病 ..... 59

第八节 肝脏弥漫性病变 ..... 60

一、肝硬化 ..... 60

二、脂肪肝 ..... 61

三、血色素沉着症 ..... 63

四、肝糖原贮积病 ..... 64

五、肝豆状核变性 ..... 64

六、肝淀粉样变性 ..... 64

第九节 少见病变 ..... 65

一、Budd-Chiari 综合征 ..... 65

二、Caroli 病 ..... 65

## 第三章 胆道系统 ..... 69

第一节 正常解剖和变异 ..... 69

一、正常胆道系统的 CT 表现 ..... 69

二、先天性变异 ..... 70

第二节 检查技术 ..... 70

第三节 胆囊炎和胆石症 ..... 71

一、急性胆囊炎 ..... 71

二、慢性胆囊炎 ..... 72

三、胆石症 ..... 73

第四节 胆囊息肉样病变 ..... 73

第五节 胆囊癌 ..... 74

第六节 胆总管囊肿 ..... 76

第七节 胆道炎症和出血 ..... 76

一、急性化脓性胆管炎 ..... 76

二、慢性胆管炎 ..... 77

三、原发性硬化性胆管炎 ..... 77

## 【2】目 录

四、胆道出血 .....	77	第一节 正常解剖和 CT 表现 .....	131
第八节 胆管结石 .....	78	第二节 检查技术 .....	133
一、肝内胆管结石 .....	78	第三节 胃的非肿瘤性病变 .....	134
二、肝外胆管结石 .....	78	一、胃部炎症 .....	134
第九节 胆管癌 .....	79	二、胃溃疡病 .....	135
<b>第四章 脾脏</b> .....	<b>82</b>	三、胃底静脉曲张 .....	135
第一节 正常解剖 .....	82	四、胰腺疾病影响 .....	137
第二节 检查技术 .....	84	第四节 胃良性肿瘤 .....	137
第三节 先天性异常 .....	84	一、胃平滑肌瘤 .....	137
一、副脾 .....	84	二、胃脂肪瘤、腺瘤和息肉 .....	137
二、游走脾 .....	85	第五节 胃恶性肿瘤 .....	138
三、无脾综合征 .....	86	一、胃癌 .....	138
四、多脾综合征 .....	86	二、胃平滑肌肉瘤 .....	142
第四节 脾脏增大 .....	88	第六节 胃手术后 CT 检查 .....	143
第五节 脾脏肿瘤 .....	89	第七节 十二指肠肿瘤 .....	143
一、原发性恶性肿瘤 .....	89	一、良性肿瘤 .....	143
二、转移性肿瘤 .....	90	二、恶性肿瘤 .....	144
三、脾脏良性肿瘤 .....	91	第八节 小肠非肿瘤性病变 .....	144
第六节 脾脏炎性病变 .....	93	一、肠缺血 .....	144
一、脾脓肿 .....	93	二、小肠内出血 .....	144
二、脾脏结核 .....	93	三、小肠水肿 .....	144
第七节 其他 .....	94	四、Crohn 病 .....	145
一、脾囊肿 .....	94	五、小肠梗阻 .....	145
二、脾梗塞 .....	95	六、小肠憩室 .....	145
<b>第五章 胰腺</b> .....	<b>98</b>	七、肠套叠 .....	146
第一节 胰腺的正常解剖和变异 .....	98	第九节 小肠肿瘤 .....	146
一、胰腺的正常解剖 .....	98	一、良性肿瘤 .....	146
二、胰腺的变异 .....	102	二、恶性肿瘤 .....	147
第二节 正常胰腺的 CT 表现 .....	102	第十节 结肠癌 .....	149
第三节 CT 检查的适应证 .....	103	第十一节 直肠癌 .....	150
第四节 CT 检查技术 .....	104	第十二节 直肠和结肠其他病变 .....	154
第五节 胰腺炎 .....	105	一、溃疡性结肠炎 .....	154
一、急性胰腺炎 .....	105	二、放射性结肠炎 .....	154
二、慢性胰腺炎 .....	111	三、缺血性结肠炎 .....	155
第六节 胰腺癌 .....	112	四、其他 .....	155
第七节 胰头-壶腹区梗阻性黄疸的 CT 诊断 .....	119	<b>第七章 肾脏、输尿管和膀胱</b> .....	<b>158</b>
第八节 胰腺囊性肿瘤 .....	120	第一节 正常解剖 .....	158
第九节 胰腺内分泌肿瘤 .....	122	第二节 检查技术 .....	162
第十节 胰腺罕见肿瘤 .....	124	第三节 肾脏肿瘤 .....	163
第十一节 胰腺先天性疾病 .....	125	一、肾实质性肿块 .....	164
<b>第六章 胃肠道</b> .....	<b>131</b>	二、肾恶性肿瘤 .....	164
第一节 正常解剖和 CT 表现 .....	131	三、肾良性肿瘤 .....	175
第二节 检查技术 .....	133	四、肾脏囊性病变 .....	178
第三节 胃的非肿瘤性病变 .....	134	五、未定型肿块 .....	184
一、胃部炎症 .....	134		
二、胃溃疡病 .....	135		
三、胃底静脉曲张 .....	135		
四、胰腺疾病影响 .....	137		
第四节 胃良性肿瘤 .....	137		
一、胃平滑肌瘤 .....	137		
二、胃脂肪瘤、腺瘤和息肉 .....	137		
第五节 胃恶性肿瘤 .....	138		
一、胃癌 .....	138		
二、胃平滑肌肉瘤 .....	142		
第六节 胃手术后 CT 检查 .....	143		
第七节 十二指肠肿瘤 .....	143		
一、良性肿瘤 .....	143		
二、恶性肿瘤 .....	144		
第八节 小肠非肿瘤性病变 .....	144		
一、肠缺血 .....	144		
二、小肠内出血 .....	144		
三、小肠水肿 .....	144		
四、Crohn 病 .....	145		
五、小肠梗阻 .....	145		
六、小肠憩室 .....	145		
七、肠套叠 .....	146		
第九节 小肠肿瘤 .....	146		
一、良性肿瘤 .....	146		
二、恶性肿瘤 .....	147		
第十节 结肠癌 .....	149		
第十一节 直肠癌 .....	150		
第十二节 直肠和结肠其他病变 .....	154		
一、溃疡性结肠炎 .....	154		
二、放射性结肠炎 .....	154		
三、缺血性结肠炎 .....	155		
四、其他 .....	155		
<b>第七章 肾脏、输尿管和膀胱</b> .....	<b>158</b>		
第一节 正常解剖 .....	158		
第二节 检查技术 .....	162		
第三节 肾脏肿瘤 .....	163		
一、肾实质性肿块 .....	164		
二、肾恶性肿瘤 .....	164		
三、肾良性肿瘤 .....	175		
四、肾脏囊性病变 .....	178		
五、未定型肿块 .....	184		



六、肾肿块的检查程序 .....	185	第三节 腹腔积液和脓肿 .....	231
第四节 肾脏感染性疾病和其他 .....	187	一、腹腔积液 .....	231
一、肾急性炎症性病变 .....	187	二、腹腔脓肿 .....	233
二、肾慢性炎症性病变 .....	191	第四节 腹膜腔疾病 .....	235
三、肾特异性感染 .....	192	一、结核性腹膜炎 .....	235
四、其他 .....	194	二、腹膜假性粘液瘤 .....	236
第五节 肾结石和肾、输尿管积水 .....	197	三、网膜扭转 .....	236
一、肾结石 .....	197	四、网膜原发性节段性梗塞 .....	237
二、肾和输尿管积水 .....	198	五、肠系膜脂膜炎 .....	237
第六节 肾脏先天性异常 .....	199	六、其他少见疾病 .....	238
一、肾缺如(孤立肾) .....	199	七、腹膜腔肿瘤 .....	239
二、额外肾 .....	199	第五节 腹壁疾病 .....	241
三、异位肾 .....	200	一、腹壁炎症 .....	241
四、游离肾 .....	200	二、腹壁积液 .....	241
五、融合肾(马蹄肾) .....	200	三、腹壁血肿 .....	242
六、肾发育不全 .....	201	四、腹壁疝 .....	242
七、肾盂、输尿管重复畸形 .....	201	五、腹壁肿瘤 .....	243
第七节 肾移植和术后并发症 .....	202	第十节 腹膜后腔 .....	247
一、移植肾的正常 CT 表现 .....	202	第一节 正常解剖 .....	247
二、肾移植术后并发症及 CT 表现 .....	203	第二节 检查技术 .....	249
三、影像学方法的比较 .....	204	第三节 腹主动脉病变 .....	249
第八节 输尿管病变 .....	204	一、动脉粥样硬化 .....	249
第九节 膀胱病变 .....	206	二、真性腹主动脉瘤 .....	249
第八章 肾上腺 .....	212	三、主动脉夹层 .....	253
第一节 正常解剖和变异 .....	212	四、假性动脉瘤 .....	256
第二节 检查技术 .....	215	第四节 下腔静脉病变 .....	258
第三节 CT 检查的应用指征和一般诊断 原则 .....	215	一、先天发育异常 .....	258
第四节 皮质醇增多症 .....	217	二、下腔静脉血栓或癌栓形成 .....	260
第五节 原发性醛固酮增多症 .....	219	第五节 肿瘤 .....	261
第六节 嗜铬细胞瘤 .....	220	一、脂肪肉瘤 .....	262
第七节 肾上腺转移性癌 .....	222	二、平滑肌肉瘤 .....	263
第八节 肾上腺无功能性肿瘤 .....	223	三、纤维组织细胞肉瘤 .....	263
第九节 其他肾上腺病变 .....	223	四、神经母细胞瘤 .....	263
一、肾上腺髓性脂肪瘤 .....	223	五、横纹肌肉瘤 .....	263
二、肾上腺囊肿 .....	224	六、畸胎瘤 .....	263
三、女性化肾上腺皮质肿瘤 .....	224	七、异位嗜铬细胞瘤 .....	264
四、肾上腺皮质功能减退症 .....	224	八、神经源性肿瘤 .....	264
第十节 肾上腺病变影像学技术比较 .....	225	九、脂肪瘤 .....	264
第九章 腹膜腔与腹壁 .....	227	十、鉴别诊断 .....	264
第一节 正常解剖 .....	227	第六节 腹膜后纤维化 .....	265
第二节 检查技术 .....	231	第七节 腰肌病变 .....	266
		一、腰肌脓肿 .....	266
		二、腰肌血肿 .....	267

(4) 目 录

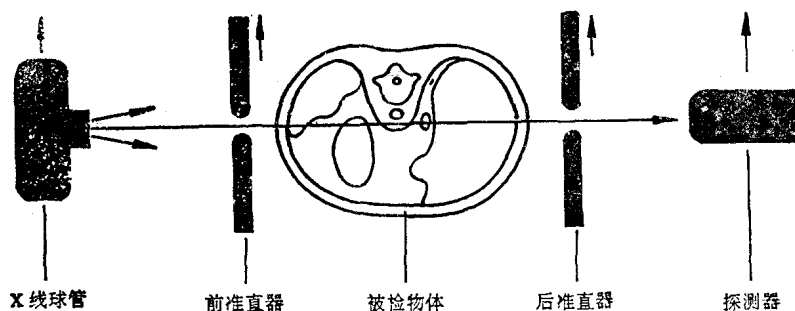
三、肿瘤 .....	267	第二节 检查技术 .....	304
四、其他 .....	267	第三节 前列腺、精囊及睾丸病变 .....	305
<b>第十一章 淋巴系统 .....</b>	<b>270</b>	一、前列腺增生症 .....	305
第一节 正常解剖 .....	270	二、前列腺癌 .....	306
第二节 检查技术 .....	273	三、睾丸肿瘤 .....	308
第三节 淋巴瘤 .....	274	四、隐睾 .....	309
第四节 腹、盆腔脏器淋巴瘤 .....	278	五、精囊囊肿 .....	310
一、肝脏原发淋巴瘤 .....	279	第四节 子宫病变 .....	310
二、脾脏原发淋巴瘤 .....	279	一、子宫肌瘤 .....	310
三、肾脏、卵巢原发淋巴瘤 .....	280	二、宫颈癌 .....	311
四、胃淋巴瘤 .....	280	三、子宫体癌 .....	314
五、小肠淋巴瘤 .....	281	第五节 卵巢病变 .....	315
六、结肠和直肠淋巴瘤 .....	282	一、卵巢良性病变 .....	315
第五节 淋巴结和累及淋巴结的病变 .....	283	二、卵巢恶性肿瘤 .....	317
一、淋巴结结核 .....	283	三、多囊卵巢综合征 .....	319
二、白血病 .....	283	第六节 盆腔其他病变 .....	319
三、恶性组织细胞病 .....	284	一、盆腔脂肪增多症 .....	319
四、淋巴结转移 .....	285	二、畸胎瘤 .....	320
第六节 影像学方法比较和选择 .....	285	三、脊索瘤 .....	320
一、影像学方法比较 .....	285	四、其他 .....	320
二、检查程序 .....	286	<b>第十四章 儿科腹部CT .....</b>	<b>323</b>
<b>第十二章 腹部钝伤 .....</b>	<b>288</b>	第一节 检查技术 .....	323
第一节 概论 .....	288	第二节 肝脏和胆道 .....	324
第二节 腹部钝伤的分类和预处理 .....	288	一、肿瘤 .....	324
第三节 检查技术 .....	289	二、炎症性病变 .....	326
第四节 腹腔积血 .....	289	三、胆总管囊肿 .....	326
第五节 实质性脏器损伤 .....	292	第三节 肾脏 .....	326
一、脾损伤 .....	292	一、肾脏囊性疾病 .....	326
二、肝损伤 .....	293	二、梗阻性尿路病变 .....	327
三、胰腺损伤 .....	294	三、肿瘤 .....	327
四、肾损伤 .....	295	第四节 肾上腺 .....	328
五、肾上腺损伤 .....	296	一、肿瘤 .....	328
第六节 空腔性脏器损伤 .....	297	二、肾上腺出血 .....	329
一、肠和肠系膜损伤 .....	297	第五节 胰腺 .....	329
二、膀胱损伤 .....	297	一、肿瘤 .....	329
第七节 横膈撕裂 .....	298	二、急性胰腺炎 .....	329
第八节 腹主动脉损伤 .....	298	第六节 腹膜后软组织肿瘤 .....	329
<b>第十三章 盆腔 .....</b>	<b>301</b>	一、畸胎瘤 .....	330
第一节 正常解剖 .....	301	二、脂肪瘤和淋巴管瘤 .....	330
		三、恶性肿瘤 .....	330
		第七节 隐睾 .....	330

## 第一节 CT 机和 CT 诊断技术的发展

## 一、CT 成像原理

通常所指的 CT 是 X 线 CT，全称为 X 线计算机断层摄影术 (X-ray computed tomography)，简称为 CT。

CT 扫描过程首先是用高度准直的 X 线束扫描人体的某个部位，并围绕该部位作 360° 匀速转动，穿过人体的 X 线再经准直后，由探测器(detector)接受(线图 1-1)。探测器接受的大量信息经模数(A/D)转换器将模拟量转换成数字量输入计算机，计算机计算出该断面上各单位体积的 X 线吸收值(CT 值)，并排列成数字矩阵(digital matrix)。数字矩阵再经数模转换器(D/A convertor)，用黑白不同的灰度等级在监视器荧屏上显示，就获得该部位的横断面解剖结构的图像。



线图 1-1 CT 机 X 线部分结构图

X 线穿过人体某一部位时，不同密度的组织对 X 线的吸收量也不同。组织密度越高如骨骼，吸收 X 线越多，探测器接受到的信号越弱；反之，组织密度越低，如脂肪和空气等，吸收的 X 线量越少，探测器接受到的信号越强。探测器分辨 X 线量的敏感程度较 X 线透视(荧光透视和电视增强透视)和 X 线胶片摄影等高得多，因此，其对组织密度的分辨率较常规方法高得多(10~30 倍)。X 线穿过人体某一部位时的吸收遵循指数衰减规律如下列计算式所示：

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

式中： $I_0$  为入射 X 线强度； $I$  为通过物体吸收后的 X 线强度； $d$  为物体厚度； $\mu$  为物体

的线性吸收系数。

上式取对数得：
$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu d, \text{ 或 } \mu = \frac{1}{d} \ln \frac{I_0}{I}$$

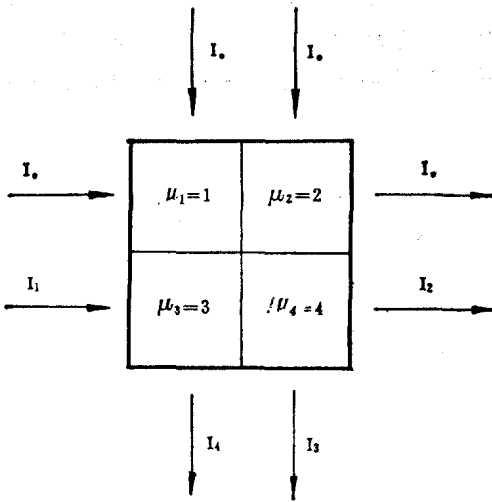
如果已知  $I_0$  和  $d$ ，测出  $I$  值，根据上式可得出  $\mu$  为 X 线所贯穿各组织元素总的吸收系数。然而，实际上沿 X 线通过的途径上物质的密度和组成等都是不同的。因此，一般将被检物体分解成许多 ( $n$  个) 小的单元 (体积)，且假定每个单元的密度是均匀的，那么：

$$I_n = I_0 e^{-(\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \dots + \mu_n)d}$$

或 
$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 \dots + \mu_n = \frac{1}{d} \ln \frac{I_0}{I_n}$$

该方程即为 CT 建立图像的基本方程。如果式中入射 X 线强度  $I_0$ 、通过物体吸收后的 X 线强度  $I_n$  和物体的厚度  $d$  均为已知数，那么沿 X 线途径上的吸收系数之和 ( $\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 \dots + \mu_n$ ) 就可以计算出来。但为了重建 CT 图像，必须求出每个小单元的吸收系数  $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_3$ 、 $\dots$ 、 $\mu_n$ ，即 CT 建立图像的过程为求得每个小单元吸收系数的过程。由于几个未知的  $\mu$  不可能在一个方程式上求得，所以必须从不同的方向进行扫描，就可以收集到足够的数据建立足够多的方程式，求得几个吸收系数 ( $\mu$ )。这些复杂的运算是由高速运行的计算机完成的。

下面用一个简单的例子，说明求得  $\mu$  的过程。假定某一物体由 4 个单元构成，X 线从两个方向扫描 (线图 1-2)。



线图 1-2 吸收系数  $\mu$  值的求解

由此简化后得到 4 个方程，即：

$$\begin{cases} \mu_1 + \mu_2 = 3 \\ \mu_3 + \mu_4 = 7 \\ \mu_1 + \mu_3 = 4 \\ \mu_2 + \mu_4 = 6 \end{cases}$$

根据此方程组，可求出  $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_3$  和  $\mu_4$ 。

就人体某一部位而言，将单元分得越小，要求出的吸收系数越多，即象素 (pixel) 越小、数目多，就越是更加真实地反应组织的密度和解剖结构；象素是用黑白不同的灰阶将吸收系数反映在 CT 平面图像上，是构成 CT 图像的最基本单位。象素从根本上说是一定体积的 X 线吸收系数，这种含有一定厚度的象素也称为体素

(voxel)，目前最小为  $1.0\text{mm} \times 1.0\text{mm} \times$  厚度 (最小为  $1\text{mm}$ )。因此 CT 值测得的数据最小为 1 个象素 ( $1\text{mm}^3$ ) 所代表的吸收系数，通常为多个象素的平均值。

矩阵 (matrix) 是构成一幅 CT 图吸收系数 (象素) 的排列方式，一般为  $128 \times 128$ 、 $256 \times 256$ 、 $320 \times 320$ 、 $512 \times 512$ ，甚至为  $1024 \times 1024$ 。矩阵越大，象素越小，探测器的数目越多，所收集的信息量成几何倍数增加，对计算机的要求也就越高。求得的衰减系数越多、越精确，建立的 CT 图像更能接近实际解剖结构。

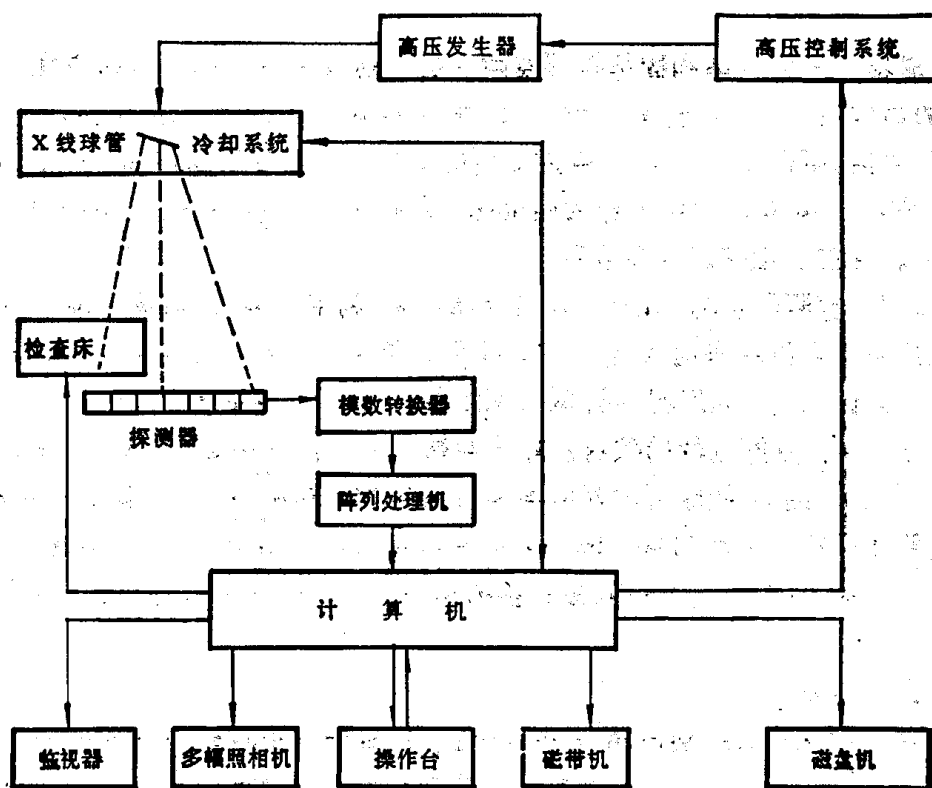
CT 图像重建的过程即为求得每一个吸收系数的复杂数学运算过程。数学运算的方法

必须以尽可能短的运算时间和准确反映组织吸收系数为前提,主要有:①反投影法(back projection),也称综合法(summation method);②迭代法(interactive methods),包括代数重建法(simultaneous reconstruction)、逐线校正法(ray-by-ray correction)、逐点校正法(point-by-point correction);③解析法(analytic methods),包括二维富里叶变换法(two-dimensional Fourier analysis)、滤波反投影法(filtered back-projection)和褶积反投影法(convoluted back-projection)。这3种方法中,目前多采用解析法,此法不但运算量小,图像质量也较好。

(王滨·周康荣)

## 二、CT机的基本结构

CT机的基本结构包括X线发生系统、X线探测器、支架、计算机系统、图像显示和记录部分、操作控制台及必要的附属设备。其主要结构部分及相互关系如线图1-3。



线图 1-3 CT机主要部件框图

### (一) X线发生系统

包括高压发生器、X线球管、冷却系统及前准直器等。目的是产生一个稳定、高度准直的束状X射线。

1. 高压发生器 为X线的产生提供一个稳定的直流高压。高压值的大小直接影响X线能量值的变化,而X线能量与吸收系数关系极为密切。只有在X线能量稳定的情况下,才能准确地反映被扫描物体的X线吸收系数。所以,稳定的高压是CT成像的重要基础之一。因此,任何高压系统均需采用高精度的反馈稳压措施。

2. X线球管 CT机的X线球管与一般的X线球管相同,为高度真空的二极管,分固定阳极和旋转阳极两种。固定阳极只能用于扫描速度慢、毫安小的第1、2代CT机;旋转阳极适应于扫描速度快的第3、4代CT机,需要在很短的时间内(1s或数秒)产生足够的剂量,即毫安秒,往往要求较高的毫安值。同时,阳极靶面会产生大量的热能,旋转阳极使热能均匀地分布在圆形靶面上,一方面起保护作用,另一方面有助于散热。由于第3、4代CT机扫描时间短,且扫描周期也短,故在短时间内多次扫描,阳极靶面的热能会成倍增加。钨靶阳极的耐热性能高于普通阳极靶面。此外,还须有冷却散热装置来保证球管连续工作。

3. 冷却系统 对固定阳极为油冷式冷却系统。旋转阳极常需将大量的热迅速散掉,多采用油-风冷却方式,即阳极靶面的热能首先传给周围的油,再经高压泵输送到散热器,将热能散到空气中去,冷却过的油再输回球管内。

4. 前准直器 去除散射线,使X线呈束状排列。

### (二) X线探测部分

包括探测器、模数转换器和后准直器。作用是探测穿过人体后的X线量,并转化为数字信号。

1. 探测器 分为气体和固体探测器两大类。前者采用气体电离的原理,探测器内多用惰性气体如氙气(xenon)或氪气(krypton),当X线射入后,使氙气产生成对的光电子,由收集电极集中后,便产生与X线强度成比例的电流。后者常用碘化钠(NaI)、碘化铯(CsI)、钨酸镭( $\text{CdWO}_4$ )、锗酸铋(BGO)作为荧光体,它们受到X线照射后发出荧光,经光电转换和信号放大。目前碘化钠已极少应用。

气体和固体探测器各有优缺点,前者灵敏度差,利用率高;后者灵敏度高,但其余辉时间(激发荧光后恢复到原状态的时间)长,使利用率降低。固体探测器的分辨率较气体为高。作为临床应用,无论CT机应用哪种类型的探测器,并不十分重要。

第1、2代CT机探测器的数目从单个至数十个,目前第3、4代CT机的探测器多达数百,甚至千余个,沿X线球管的对应面呈弧形排列。探测器越多,空间分辨率越高。

2. 模数转换器 将探测器形成的电信号转化为数字信号,输送到阵列处理机。

3. 后准直器 位于探测器前,被扫描物体后方,其作用是除去X线通过被照射物后产生的散射线。

### (三) 支架部分

包括扫描架和检查床。前者将X线发生部分(包括或不包括高压发生器)固定在一个框架中,将扫描物体置于其中心,并能绕被扫描物体作匀速旋转。目前新型的低压滑环式CT机,高压发生器也安置在扫描架内。检查台可以移动,将病人的被扫描部位送入扫描架内。

### (四) 计算机系统

第3、4代CT机包括阵列处理机(图像处理计算机)和主计算机。其作用是处理数据,完成图像的重建、控制和监测整个CT系统。

1. 阵列处理机 在主计算机的控制下,接受模数转换器或磁盘输入的数据,处理后交与主计算机。

2. 主计算机 主计算机是CT机的中央处理系统,与CT机各部分有传出、传入的广泛联系,主要的功能有:①将扫描系统获得的数据,根据不同的需要,按照不同数学模型,完成图像的重建;②图像(数据)的管理和调用;③监测和控制整个CT系统,特别是扫描部分的

状态,发现并校正某些偏差。

一般主计算机由小型机来完成。近几年来,应用多台并行微型计算机分别执行不同的功能,以体积小、运算速度快、互不干扰为特点,是将来的发展方向。

#### (五) 图像贮存、显示和记录部分

包括磁盘(硬盘)或光盘、磁带或软磁盘、显示器和照相机等。

1. 磁盘、光盘、磁带和软磁盘等 磁盘或光盘是将计算机处理过的数字信号按计算机的指令,自动由磁盘机存入磁盘或光盘的某个特定区域。目前,磁盘的容量很大,可存贮 $512 \times 512$ 的图像数据500多幅;光盘的容量多达数千幅,甚至上万幅。一般一台CT机仅装备1个或2个盘,当盘内存满后,可以给予计算机指令,将已存的图像数据清除,重复使用。利用磁带机,可将存于盘内的图像数据转录至磁带上。磁带可永久保存或重复使用。软磁盘由软盘驱动器操作,功能与磁带一致,但容量很小。

2. 显示装置 常用高分辨率黑白电视监视器,可显示16个灰阶。

3. 照相机 常用多幅照相机,将CT图像经阴极射线管投射到单面胶膜的胶片上,胶片大小一般为 $20\text{cm} \times 25\text{cm}$ , $25\text{cm} \times 30\text{cm}$ 或 $36\text{cm} \times 43\text{cm}$ ,有多幅供选择,如2、4、6、9、12或20幅。近几年,激光照相机已有应用,其胶片的质量较前者更高。

#### (六) 操作控制部分

通过操作台的键盘将必要的指令输入计算机,再由计算机通过控制部分执行,如扫描的厚度、间隔、千伏、毫安、时间等,以及扫描的部位与方式、图像重建的算法、CT值的测定、窗宽、窗位的调节、病人的资料输入和图像的管理、记录等。

(王滨 周康荣)

### 三、CT机的发展

#### (一) CT机的分代

CT机的发展通常以“代”(generation)来划分。CT机的分代主要以X线球管和探测器的关系,探测器的数目、排列方式和两者的运动方式来划分。其实代并不能完全反映CT机性能的优劣,而X线球管系统和探测器的性能、计算机的运算速度等更为重要。

1. 第1代CT机 X线为单射束,单个或数个探测器,运动方式为平移加旋转,扫描时间长达数分钟,只能限于头颅扫描。

2. 第2代CT机 X线为多射束,探测器从数个至几十个,运动方式也为平移加旋转,扫描时间缩短到18s左右。开始扩大到全身应用,但运动伪影很明显。

3. 第3代CT机 X线为扇形束。探测器也相应呈扇形排列,数目多达几百个。运动方式为旋转式。扫描时间一般为2~5s,最快可达1s。应用功能也明显增加。

近两年,滑环式CT机的出现是第3代机型的一个突破。

4. 第4代CT机 与第3代基本相同。探测器排列呈圆周状,固定在扫描架四周,仅为X线球管旋转。

5. 第5代CT机 超高速CT(ultra fast CT, UFCT),与以前的CT机已有根本区别,下面将重点给予介绍。

电影CT(cine CT)较第3、4代CT机扫描速度明显提高,可实时显像。为了减少毫安秒(主要是毫安),探测器改为稀土元素。主要用于心脏等检查,但效果并不十分理想,目前

尚未广泛用于临床。随着 UFCT 等的出现,估计电影 CT 不会有很大发展。

## (二) 新型 CT 机的特性和临床应用

1. 滑环式 CT (cycle CT) 以往 CT 机其球管系统的电力及信号传递都采用电缆来进行,因此每一次旋转扫描后,必须命其作反向运动,然后作第 2 次扫描,明显影响了扫描速度的提高。而滑环式 CT X 线球管系统的电力和信号的传递由高压或低压滑环装置来实现。滑环式 CT 按扫描方式又分两大类。

(1) 螺旋形连续式扫描(spiral continuous scanning): X 线球管不停地作圆周运动,扫描过程中持续发射 X 线。检查台(病人)则沿扫描平面的垂直方向作水平匀速移动,速度为层厚的距离/s。球管转动的速度一般为每秒 1 周,最短 0.6s 1 周。两种运动轨迹的组合形成螺旋形无间断式扫描。实际上,这种方式获得的 CT 图像不是一个标准横断面的图像。其机型代表为德国西门子公司的 SOMATOM-PLUS-S。

(2) 间断扫描:球管的运动方式与前述相同,扫描时(1s)检查台不动,此时发射 X 线;检查台移动时(1s),停止发射 X 线。这样得到的 CT 图像与普通 CT 一致,为标准横断面。其代表机型为美国通用电气公司的 GE CT Prospeed。此为高速滑环式。另外还有一种机型与普通 CT 的速度一致,但 X 线发生部分采用上述滑环。

从根本上讲,螺旋形连续式 CT 为高速滑环式 CT 的演变形态,两者原理是一致的。

另外,根据滑环所能提供电力的情况,又分为高压滑环和低压滑环两种。前者高压发生器与普通 CT 一致,位于机架外,高压经滑环输送到球管内;后者滑环为低压电力,高压发生器由于技术的进步,体积可以很小,置于扫描架内。

2. UFCT 1984 年由美国 Imatron 公司率先研制成功,直到近几年才逐步用于临床,适用于心脏和全身各部位的检查。X 线的产生采用最先进的电子束技术 (electron beam technology),球管的阳极与阴极分离,从阴极的电子枪发射电子束,经加速形成高能电子束,再通过聚集和磁场偏转线圈,投射到呈 210° 弧形的阳极靶面,产生 X 线束,代替传统的机械性旋转,扫描速度达到 50ms。探测器则排列在与阳极靶面相对的位置。扫描方式有以下 3 种:①连续式扫描(cinema):采用多靶和探测器环,在极短的时间内完成多层面(8 个)和多幅图像(80 幅)扫描,适用于心脏功能检查;②触发式扫描(flow study):由门电路控制,分别于心动周期的不同时相扫描,测定血流量;③容积式(volume)扫描:在一定的间隔时间内对感兴趣的脏器和部位进行扫描,用于形态诊断。

UFCT 在临床应用方面主要有以下作用:①心脏功能和形态研究,如测定心室收缩期和舒张期容积,计算排血指数;通过电影动态摄影,观察心室壁和心脏瓣膜运动;测定心肌壁厚度和心肌量等;②血流量测定,包括心、脑、肾和冠状动脉血流量,以及心肌灌注量;③三维图像重建;④全身快速扫描。

## (三) CT 机的发展和趋势

1. 扫描速度 扫描时间在不断缩短,经历了从低速到高速及超高速的变化过程,目前滑环式 CT 已达 1s,最快达 0.6s;UFCT 短至 50ms。

2. 计算机 一方面,由于大规模集成电路的出现,CT 用计算机向微型化发展,包括滑环式高速 CT,也多采用微型计算机;另一方面,运算速度极快,重建速度由数分钟缩短至数秒,CT 扫描过程中即可达到动态和实时显像(real time imaging)的目的。

3. 探测器 数量增加,由气体型向固体型发展,并以高度密集化排列。



4. 功能键 范围扩大,自动化水平迅速提高,操作程序方便。

5. X线球管和高压发生器 容量大大增加,以适应快速扫描和动态扫描的需要。高压发生器的体积缩小,完全能安装在机架内,随球管一同旋转,主要用于低压滑环式CT机。

6. 图像空间分辨率(spatial resolution) 进一步提高,从3mm提高到0.35mm。从第1、2代到第3、4代CT机,空间分辨率的提高较为显著,而高速CT机和超高速CT机之间,分辨率却无明显差别。空间分辨率的提高归咎于许多因素,而以探测器的数量和质量以及扫描矩阵关系最为密切。扫描矩阵已从原来的 $128 \times 128$ 、 $256 \times 256$ 提高到 $512 \times 512$ ,最高矩阵已达 $1024 \times 1024$ 。矩阵的提高又与计算机的功能不可分割。

由于以上技术的改进,使得CT图像在各种冠状位、矢状位和其他位置的重建非常接近解剖结构,而且三维重建、图像旋转及成像均已成为现实,极大地满足了临床工作的需求。

在三维图像重建时,伪彩色技术将不同密度的血管如动脉、静脉,分别用红色、蓝色等显示,有利于血管的辨别。

(王滨 周康荣)

#### 四、CT检查和诊断技术的发展和近况

众所周知,CT机自问世到现在,经历了升级换代的巨大变化,CT机结构和性能的完善和提高,促进了CT检查技术的发展,并为新技术的开展和应用提供了必要的物质基础。此外,其他影像学科的发展也推动了CT诊断的进一步发展。现根据国内外文献报道,结合作者自己的临床和科研工作经验,将近年来CT检查技术、临床应用和诊断方面的进展和近况作一简单介绍。

##### (一) 动态CT扫描

动态CT扫描开展于80年代初期。近年来国外许多医疗中心已将大剂量注射动态CT(bolus dynamic scanning, B-DC)列为常规技术,分动床和同层两种方式。它是随着CT扫描速度的不断提高而发展和完善的,借此可获得常规增强扫描无法得到的许多诊断资料和信息,归纳起来有以下一些优点:

1) 对血管解剖结构显示清晰。就某一解剖区域而言,如胸部的纵隔、腹部的肝、脾、胰、肾脏或盆腔区域,完成动态扫描约需2min。在该期内大部分造影剂尚停留在大血管和周围脏器的血管内,即血液内的造影剂浓度维持在峰值和略低水平,血管的显示十分清晰,这对胸部纵隔、腹部和盆腔正常结构的显示,以及病理情况如肿大淋巴结的判断十分有利。反之,增强效果欠佳的CT图往往难以判别是血管还是肿大的淋巴结,这在盆腔和纵隔区域尤为突出。某些情况下,如淋巴瘤和转移癌的分期,需要作胸腹部甚至盆腔一次联合扫描检查,普通增强甚至一般动态CT均难以达到上述要求,现代螺旋形CT机和超高速CT机以其高速的特有优点,可以在很短时间内完成几个区域的联合扫描,所得图像上的血管结构仍然十分清晰,这是一般CT机无法比拟的。

2) 有利于鉴别血管性和非血管性病变。

3) 对于血管性病变,如真性、假性和夹层动脉瘤,动静脉畸形,血管畸形、狭窄,血栓形成和侧支血管建立等,动态CT或加薄层扫描,可显示其细节和病理特征。由此得到的资料和诊断准确性可以和MRI媲美,后者被公认为血管病变的最佳影像检查技术。

4) 动态CT对小病灶的检出以及病灶的定性能力都优于常规增强扫描,肝脏和胰腺是