

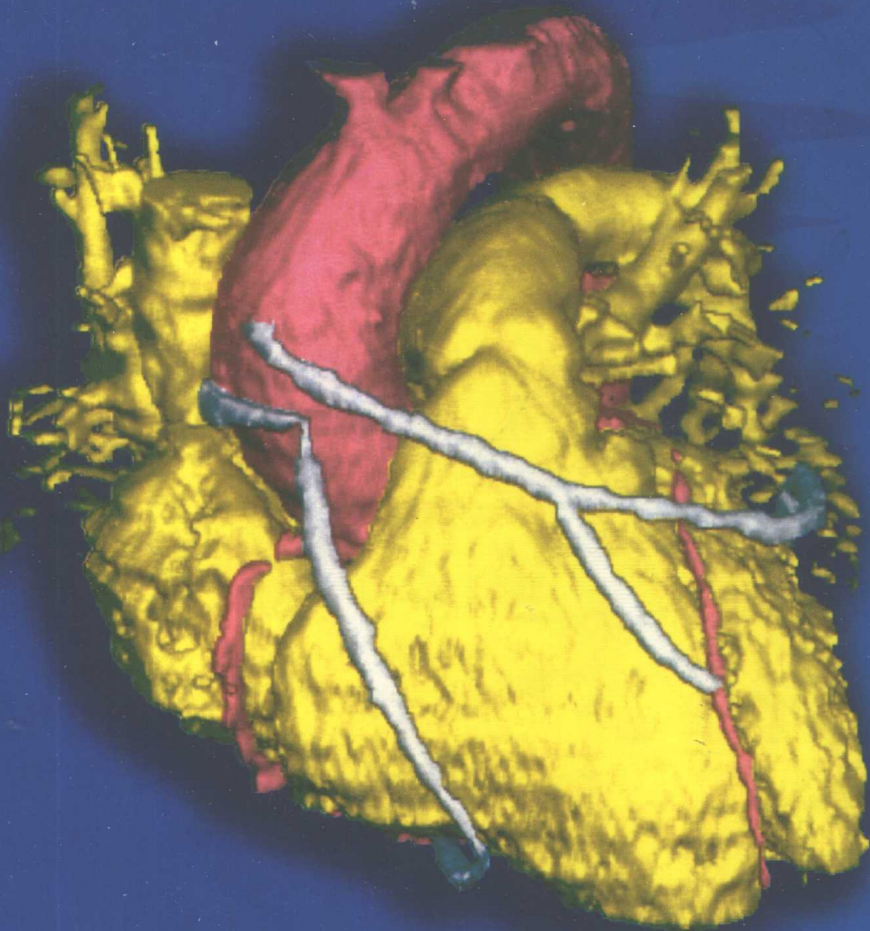
XIN XUE GUAN BING

心血管病

CT诊断学

CT ZHENDUAXUE

主编 戴汝平



人民卫生出版社

心血管病 CT 诊断学

主 编

戴 汝 平

编 著 者

(以姓氏笔画为序)

白 桦	吕 滨	何 沙
荆宝莲	崔 炜	张少雄
贺又增	曹 程	戴汝平

人民卫生出版社

心血管病 CT 诊断学

主 编: 戴 汝 平

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 67616688)

地 址: (100078) 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: [http://www. pmph. com](http://www.pmph.com)

E - mail: [pmph@pmph. com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 北京金盾印刷厂印刷

经 销: 新华书店

开 本: 889×1194 1/16 开本 印张: 21

字 数: 425 (千字)

版 次: 2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

印 数: 00 001—3 000

标准书号: ISBN 7-117-03610-9/R · 3611

定 价: 249.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

序 言

近 30 年来,心血管影像学发展迅速。70 年代以来,随着核素、超声技术、CT 及 MRI 的兴起,心血管影像学领域不断拓展,诊断越来越精细、准确,手段愈来愈趋于无创或少创,对心血管临床发展,起到了举足轻重的作用。CT 是重要的检查手段,在诊断工作中不可或缺,但因常规 CT 扫描速度为秒级,不能克服心血管运动伪影,对心血管病的诊断受到很大限制。电子束 CT (EBCT) 的发明,开创了心血管病 CT 诊断的新纪元。电子束扫描技术,使扫描速度达毫秒级,消除了心脏大血管的运动伪影,EBCT 的容积扫描、电影扫描及血流扫描可提供从解剖到功能及灌注的综合性心血管病的诊断信息,使 CT 在心血管影像学中发挥重要作用。

EBCT 应用于临床在国外始于 80 年代中期,我国起步较晚,1995 年开始引进,目前临床各科包括影像科医生对心血管病的 EBCT 诊断尚缺乏足够的了解与认识。中国医学科学院阜外心血管病医院戴汝平教授主编的《心血管病 CT 诊断学》,堪当传道、授业、解惑之作。本书以大量的临床实践和扎实的科研为基础,并参考了国内外文献编著而成,代表了我国在该领域的学术水平和科研成果,也丰富了国际文库。全书分为十四章,基础部分系统介绍了 EBCT 的设备结构和扫描技术以及 CT 心血管造影及三维重建技术;临床应用部分详细介绍了各种后得性及先天性心血管病的基本知识、EBCT 检查方法及诊断。本书所有病例均来源于作者日常工作,其资料的丰富,病种的繁多,与血管造影及手术对照的翔实,且文字流畅,图文并茂,使人读之受益匪浅,难以释手。这是一本难得的具有先进水平的参考书,相信本书的出版将对我国心血管病 CT 诊断的应用起到很好的推动作用。

值得一提的是,近来随着螺旋 CT 扫描技术的不断进步,已实现亚秒级心电门控触发扫描,为心血管病的螺旋 CT 诊断奠定了基础,其在冠状动脉钙化的检测、冠状动脉搭桥血管术后的随访方面有一定价值。螺旋 CT 在心血管病诊断中的应用正可借鉴 EBCT 的知识和经验。

徐 家 兴

前 言

电子束 CT (electron beam computed tomography, 简称 EBCT) 又称超高速 CT, 由美国 Boyd 博士于 1983 年发明并应用于临床。EBCT 由电子束扫描技术代替 X 线管与检测器的机械扫描, 因而扫描速度提高数十倍, 检查运动的器官 (如心脏大血管) 能得到清晰的图像, 实现了电影 CT, 也实现了 CT 对心脏检查的可能性, 扩展了 CT 在心血管病诊断中的应用范围和诊断能力, 这是本书《心血管病 CT 诊断学》得以实现的基础。EBCT 设备已经广泛应用于临床, 其技术不断得到改进。目前软件升级为 12.43 版本, 使 C-150 机型在检查功能上有较大提高。连续容积扫描 (CVS) 一次屏气 16 秒, 可获得 140 层图像, 实现了胸、腹主动脉 CT 血管造影一次完成, 是急症、外伤的首选检查手段, 也是婴幼儿心血管病诊断的最佳选择。

目前螺旋 CT 开发出多层螺旋、亚秒级、心电触发扫描技术, 容积扫描速度大大提高, 在心脏诊断检查方面有突破性进展。本书也适用于螺旋 CT 的心血管病诊断。

本书充分反映了当前医学影像学的最新技术。CT 心血管造影术 (CTA) 是心血管病诊断必要手段和最新技术, 本书作了详细介绍。CT 的技术关键包括容积数据采集 (volumetric data acquisition) 和图像重建 (imaging reconstruction)。EBCT 及螺旋 CT 随着检测器数量和材料的改进, 计算机技术的提高, 容积数据采集数量大, 速度快, 分辨力高。三维工作站的应用, 使图像显示更加立体真实, 对诊断将起到更大作用, 实践证实它已经不存在体位成像的限制, 与常规心血管造影比较, 有创性检查变为无创或少创性检查, 有其突出的实用价值, 开拓了心血管影像学新领域。

3

本书是根据国人材料总结而成。是我院 1995 年 7 月到 1999 年 5 月 13 000 例各类心血管病诊断检查的经验总结。全书共 14 章 80 节, 第一~三章为电子束 CT 设备结构及技术, 从我国现实出发, 提出了 CT 心血管造影及三维重建技术。第四~十四章为 EBCT 在各类心血管病诊断中的临床应用, 包括冠心病、心肌病、肺心病、瓣膜病、主动脉疾患、心包疾患、心脏肿瘤以及先天性心脏病。各节编写格式为: 疾病的基本知识、EBCT 检查方法及 EBCT 诊断。均为我们自己的临床实践经验总结。由于我院病例材料丰富, 充分开发设备功能, 因此在临床诊断诸多方面达到最佳水平。有些特殊病例应用 CT 作出正确诊断为首次报告。本书首次提出了应用 CT 节段分析方法, 诊断复杂先天性心脏病, 开拓了心血管病 CT 诊断新领域。

本书充分反映我国的 EBCT 心血管病诊断的科研成果, 充分体现了我们的科研水平以及国人心血管病的特点。对我国 EBCT 冠状动脉钙化的研究, 提出了中国人冠状动脉钙化预测冠心病的价值及特点。应用 CT 血管造影开发对冠状动脉、搭桥血管的造影及三维重建, 实现了应用无创或少创的方法检查冠状动脉及搭桥血管, 从而扩大了 EBCT 对心血管病的应用

范围。对主动脉瘤、大血管病、脉动脉栓塞 CT 血管造影研究，证明 CT 血管造影可以代替常规有创血管造影，对于临床诊断及治疗有重大价值。最大程度上减少了病人的痛苦。

本书着眼于广大读者，充分体现了影像医学的特点，立足于国人资料，图文并茂。

本书是集体智慧的结晶、集体劳动的成果。在这里应该感谢为 EBCT 工作作出贡献的谢若兰、任力、陈瑶、金泽宁、吴鸿雁、吕建华、杨有优、金敬琳、赵笑炎等同志。同时，应该感谢我国著名放射学家李果珍、刘赓年、吴恩惠、徐家兴、陈星荣、李松年、王仪生等教授对我们工作的关心和支持。

由于作者学识所限，经验不足，书中缺点、错误在所难免，祈望读者不吝赐教。

戴汝平

中国医学科学院心血管病研究所阜外医院

1999 年 5 月 1 日

目 录

第一章 电子束 CT (EBCT) 设备结构及原理	1
第一节 EBCT 成像原理.....	1
第二节 EBCT 的系统结构.....	2
第二章 EBCT 工作方式	7
第一节 EBCT 的基本扫描模式.....	7
第二节 扫描触发方式.....	8
第三节 扫描体位.....	9
第四节 图像重建.....	9
第五节 临床常用扫描方式.....	11
第六节 造影剂增强.....	15
第七节 EBCT 与常规心血管造影计算左心室容积准确性的比较.....	18
第三章 CT 血管造影术及三维重建	21
第一节 CT 血管造影术 (CTA).....	21
第二节 三维重建.....	24
第三节 CTA 及三维重建的临床应用.....	27
第四章 EBCT 正常心血管解剖	33
第一节 心脏横断位解剖.....	33
第二节 心脏短轴位解剖.....	41
第三节 心脏长轴位解剖.....	46
第四节 正常解剖变异.....	50
第五章 冠状动脉粥样硬化性心脏病 (冠心病) EBCT 诊断	60
第一节 基本知识.....	60
第二节 EBCT 检查方法.....	63
第三节 冠心病.....	64
第六章 心肌病 EBCT 诊断	102
第一节 心肌病 EBCT 诊断.....	102
第二节 扩张性心肌病.....	103
第三节 肥厚性心肌病.....	105

第四节 限制性心肌病·····	111
第五节 致心律不齐性右室发育不良·····	115
第六节 心肌病 EBCT 诊断评价·····	118
第七章 高血压和高血压心脏病 EBCT 诊断·····	119
第一节 原发性高血压·····	119
第二节 继发性高血压·····	121
第八章 肺动脉高压与肺源性心脏病 EBCT 诊断·····	125
第一节 肺源性心脏病·····	125
第二节 肺动脉栓塞·····	127
第三节 原发性肺动脉高压·····	132
第九章 心脏瓣膜病 EBCT 诊断·····	134
第一节 基本知识·····	134
第二节 二尖瓣病变·····	136
第三节 主动脉瓣病变·····	139
第四节 三尖瓣病变·····	143
第五节 瓣膜置换术后的 EBCT 检查·····	144
第六节 EBCT 瓣膜病诊断的评价·····	146
第十章 主动脉瘤 EBCT 诊断·····	148
第一节 基本知识·····	148
第二节 真性主动脉瘤·····	150
第三节 假性主动脉瘤·····	154
第四节 主动脉夹层·····	158
第五节 主动脉瘤术后 EBCT 检查·····	163
第六节 主动脉瘤 EBCT 诊断价值·····	165
第十一章 其他主动脉疾患·····	167
第一节 马凡综合征·····	167
第二节 大动脉炎·····	172
第三节 川崎病·····	181
第十二章 先天性心脏病的 EBCT 诊断·····	184
第一节 先天性心脏病 EBCT 节段分析法·····	184
第二节 先天性心脏病的 EBCT 检查方法·····	194
第三节 房间隔缺损·····	196

第四节 心内膜垫缺损.....	198
第五节 单心房.....	200
第六节 左侧三房心.....	202
第七节 室间隔缺损.....	205
第八节 动脉导管未闭.....	208
第九节 主动脉-肺动脉间隔缺损.....	210
第十节 先天性冠状动脉瘘.....	213
第十一节 主动脉-左室通道畸形.....	216
第十二节 先天性主动脉瓣上狭窄.....	217
第十三节 先天性主动脉瓣下狭窄.....	219
第十四节 先天性肺动脉狭窄.....	221
第十五节 肺动脉及其分支狭窄.....	224
第十六节 一侧肺动脉缺如.....	225
第十七节 肺动脉起源异常.....	227
第十八节 法乐四联症.....	231
第十九节 肺动脉闭锁合并室间隔缺损.....	236
第二十节 完全性大动脉错位.....	243
第二十一节 校正型大动脉错位.....	247
第二十二节 右室双出口.....	249
第二十三节 单心室.....	257
第二十四节 先天性主动脉缩窄.....	261
第二十五节 主动脉弓离断.....	264
第二十六节 共同永存动脉干.....	268
第二十七节 部分性肺静脉异位引流.....	274
第二十八节 完全性肺静脉异位引流.....	278
第二十九节 心肌发育缺陷综合征.....	283
第十三章 心包疾患EBCT诊断.....	286
第一节 心包解剖.....	286
第二节 心包疾患EBCT检查方法.....	286
第三节 心包积液.....	287
第四节 缩窄性心包炎.....	290
第十四章 心脏肿瘤.....	293
第一节 心脏肿瘤病理及检查方法.....	293
第二节 心包肿瘤.....	295
第三节 心脏肿瘤.....	296

参考文献	306
索引	319

第一章

电子束 CT(EBCT)

设备结构及原理

电子束 CT (electron beam CT, EBCT), 又称超高速 CT (ultrafast CT, UFCT), 电子束成像系统 (electron beam imaging system, EBIS), 或电子束断层扫描 (electron beam tomography, EBT)。

电子束 CT 是由美国 Douglas boyd 博士 1983 年首先开发并应用于临床的新型医学成像设备, 是 CT 的一种特殊类型。EBCT 应用电子束技术产生快速旋转的扇形 X 线束, 与使用机械旋转的 X 线球管的常规 CT 设备相比, 扫描速度大大加快, 可达到毫秒级, 动态分辨率明显提高, 特别适合于心血管疾病的诊断检查。

► 第一节 EBCT 成像原理

EBCT 扫描器的系统结构和工作原理与常规 CT 扫描系统不同, 主要的区别是 X 线源 (图 1.1.1)。

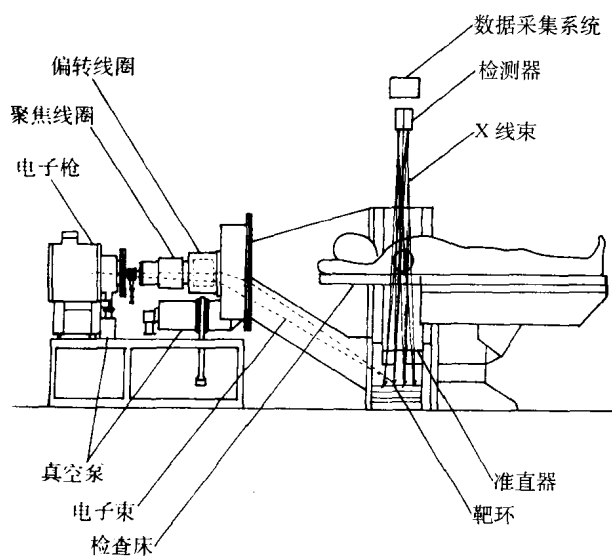


图 1.1.1 EBCT 工作原理示意图

常规 CT 使用安装于扫描机架上的 X 线球管发射 X 线, 扫描机架环绕患者做机械性往复运动, 产生旋转 X 线, 实现对患者的扫描。

EBCT 以电子束技术为基础, 核心部件是电子枪。电子枪发射电子束, 再由电子束轰击扫描机架下部的圆弧形钨靶环产生旋转 X 线, 实现 CT 扫描。启动一个扫描序列, 计算机发出的指令使电子枪产生并加速电子束, 即高能量电子脉冲。130kV 时电子束电流大约为 550 ~ 650mA。电子束由聚焦和偏转线圈控制通过高真空偏移管。电磁线圈使电子束聚集成毫米级的小焦点 (图 1.1.2), 而偏转线圈的磁场变化使得聚焦电子束旋转扫过四个弧形静止钨靶环中的一个, 电子束在靶环上做匀速圆周运动, 轰击靶环产生旋转的 X 线源。计算机控制电子束扫描速度和整个扫描序列中扫描的靶环数及其被扫次数, 形成不同扫描模式。准直器控制

X 线束的形状, 使 X 线成扇形在直径 47.5cm 的扫描区域中穿过病人, 由扫描机架另一侧的探测器接收经被照体衰减后的 X 线信号。接收到的信号由数据采集系统进行预处理后经光缆送至扫描存储器, 再传输到快速重建系统进行层面图像重建 (图 1.1.3)。

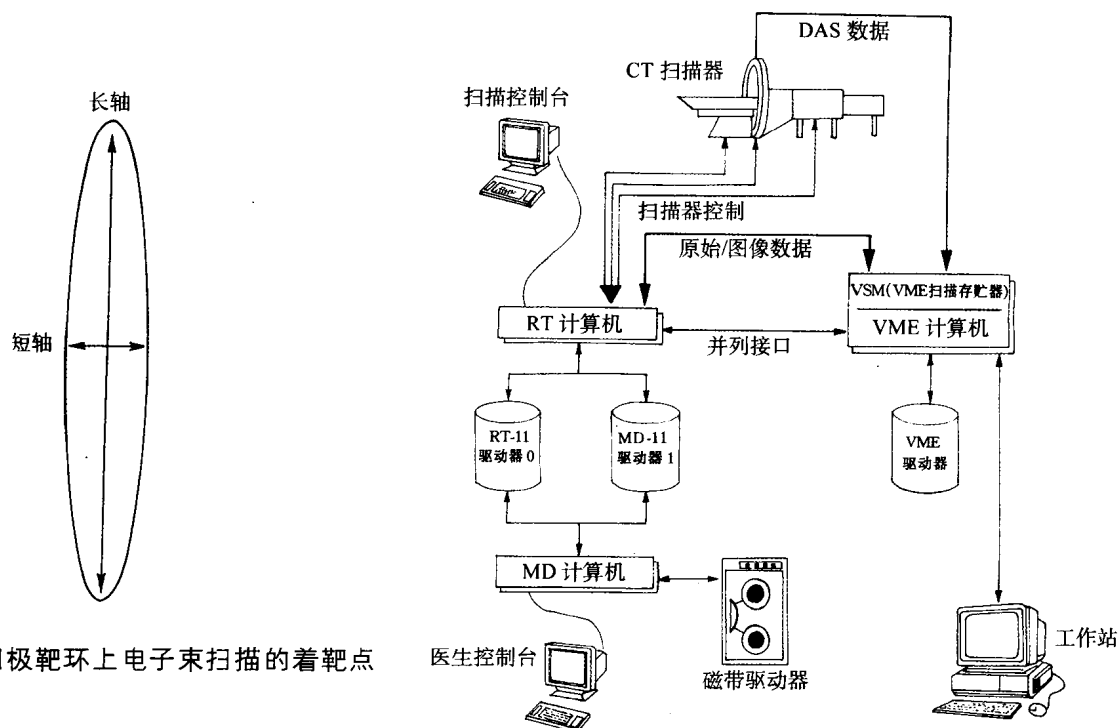


图 1.1.2 阳极靶环上电子束扫描的着靶点

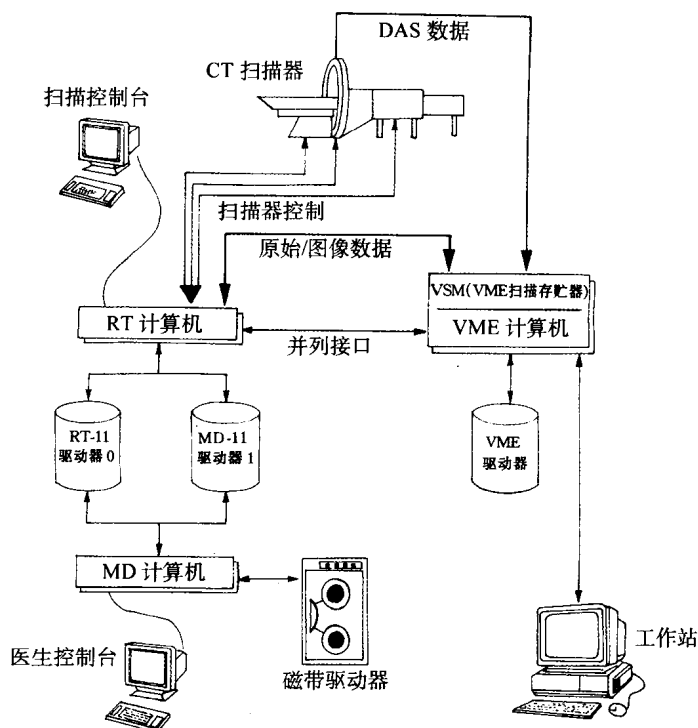


图 1.1.3 EBCT 数据处理流程

► 第二节 EBCT 的系统结构

EBCT 扫描系统的主要结构 (图 1.2.1) 包括:

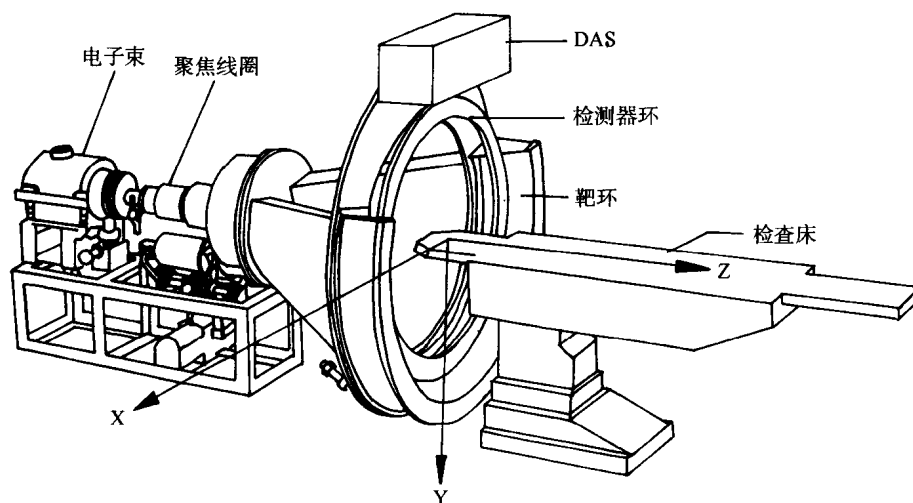


图 1.2.1 EBCT 系统结构示意图

1. 电子枪 二极管型电子枪, 由阴极、加热灯丝、真空泵、真空阀等部分组成。

阴极: 圆盘形旁热式氧化物阴极, 直径约 6mm。阴极在 130kV 加速电压作用下, 发射出 600mA 左右的电子束流。

加热灯丝: 作用是给阴极加热, 使其达到 1100℃ 的发射温度。

真空泵: 电子枪工作的基本条件是高度真空。真空泵的作用是保持电子枪正常工作所需的额定真空度。

真空阀: 电子枪和与其对接的主腔体达到额定真空度时, 真空阀打开, 开通电子束飞向阳极靶的路径。

2. 阳极靶环 位于扫描机架下部有四个半径 90cm、210°弧形固定钨靶, 依次为 A、B、C、D 环。A 环靠近电子枪侧, D 环靠近检查床侧。各个靶环分别固定在铝制的基体上, 有一定的倾斜角度。基体内有空槽, 供循环冷却水流过将阳极靶环的热量带出。另外还有一个 E 靶环, 位于 D 靶环前方, 用于调整电子束形状和扫描轨迹, 但不产生图像数据。

3. 聚焦偏转系统 (DCS) 该系统的作用是控制电子束的形状, 扫描方式和两种扫描速度, 另外还控制电子束在靶环之间的“跳跃”, 以实现多种临床扫描模式。

4. 准直器 其作用是限制 30°X 线扇束的形状, 进而控制扫描层面厚度。EBCT 的准直器分三部分:

(1) 预准直器: 这是一组位于阳极靶环上方, 真空腔体外面的铅环, 铅环间缝隙正好与各靶环发射的 X 线束对应。预准直器的作用是挡住无用的 X 线。

(2) 固定准直器: 一组 4 个固定的黄铜圆环。其作用是在多层扫描方式时, 控制 X 线束形状, 使每层厚度固定不变 (图 1.2.2)。

(3) 移动准直器: 位于固定准直器环内侧, 由一组构造复杂的圆环 (图 1.2.3) 组成, 可在扫描机架内移动。其作用是在单层扫描方式时, 改变扫描层面厚度。移动准直器有三个不同尺寸: 1.5mm、3mm 和 6mm。

5. 检测器环和数据采集系统 (DAS) 检测器环位于扫描机架上部, 与阳极靶环同心, 其半径比靶环半径小, 为 67.5cm, 该环上部 210°范围内平行排列两组光电晶体检测器, 分别称为环 1 和环 2 (图 1.2.4)。

环 1 靠近电子枪侧 (头侧), 含有 432 个探测器, 每个检测器宽约 5.8mm。环 2 靠近检查床侧 (足侧), 含有 864 个探测器, 每个检测器宽约 2.9mm。多层扫描方式同时使用两个检测器环, 环 1 使用 432 个检测器, 环 2 将其 864 个检测器每两个取平均, 相当于 432 个检测器。单层扫描方式只使用环 2(864 个检测器)。

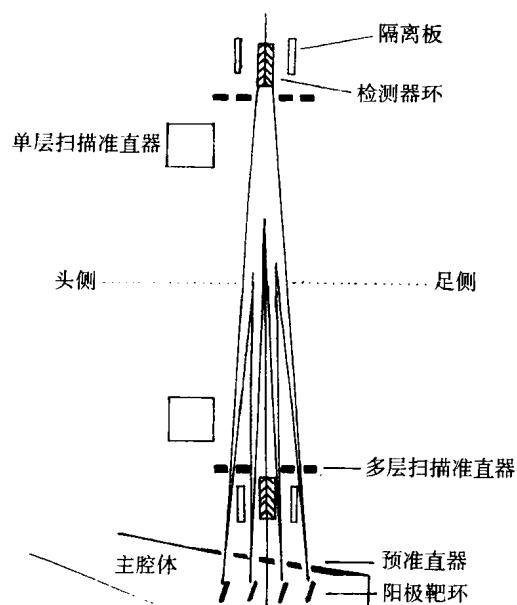


图 1.2.2 EBCT 多层扫描时准直器和检测器环工作示意图

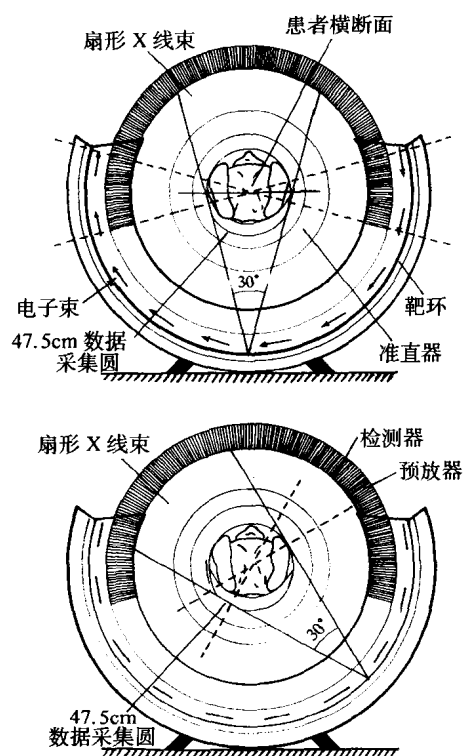


图 1.2.4 EBCT 检测器环与阳极靶环横断面示意图

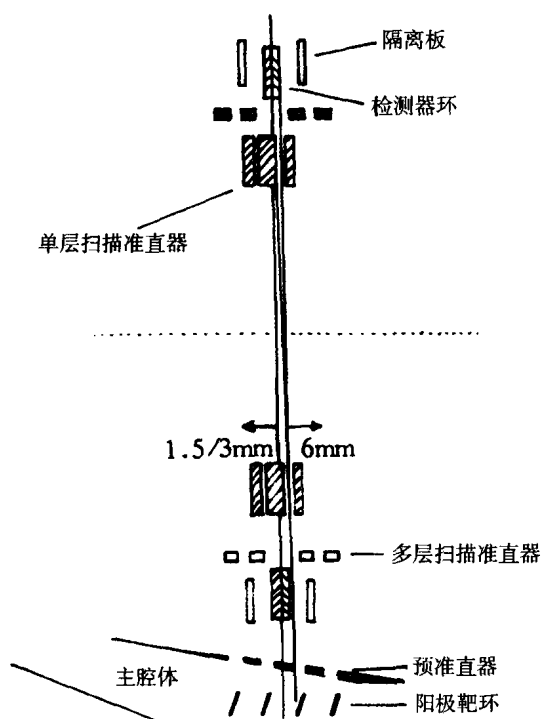


图 1.2.3 EBCT 单层扫描时准直器和检测器环工作示意图

检测器由闪烁发光铬钨晶体、光电二极管、混合电路预放大器组成。经被照体衰减后的 X 线射到检测器晶体上，晶体将 X 线光子能量转换成可见光被直接耦合到光电二极管，光电二极管将其转换成不同的电流强度，预放大器将电流转换成电压信号，形成扫描原始数据。

数据采集系统 (DAS) 位于检测器环上方，将采集的数据转换成为数字信号，通过光缆传送至重建计算机 (VME 计算机) 进行运算处理，重建层面图像。

检测器和 DAS 的工作与电子束扫描同步。同步信号来自偏转系统。

6. 真空系统 电子束工作的基本条件是真空环境。EBCT 的真空腔体分为两个部分：电子枪和圆锥形的主腔体。真空系统负责保持真空腔体内的真空度。真空系统包括真空泵、真空阀、管道、检测器和控制器。

电子枪和主腔体的真空度要求是不同的。电子枪内真空度由去离子泵控制，应保持在 10^{-8} Torr 量级。为了保证正常扫描时，电子束更好的聚焦，主腔体内需要注入少量高纯度氮气，主腔体内真空度应为 2×10^{-6} Torr。当主腔体内真空度达到额定值后，电子枪真空阀打开，允许进行正常扫描。

7. 高压系统 EBCT 阳极为零电位，电子枪阴极为 -130kV 的负高压。高压系统由高压发生器、高压调节器和控制器组成。前两项位于高压密封油箱。控制器包括自耦变压器、控制电路以及与 RT 计算机的接口。

8. 内部连锁系统 (VILK) 连锁系统是硬件系统，其作用是连续的严密监测整个成像系统内各个分系统的工作条件，只有具备所有的必要条件后方可进行扫描。一旦发现异常，立

即发出指令实施连锁,切断高压,保护设备,并使病人免受无效辐射。

该系统直接控制电子枪去离子泵的工作电压、电子枪加热灯丝功率、高压初级自耦变压器和高压输出。

9. 控制台 EBCT 成像系统有两个控制台;操作者控制台 (RT) 和医生控制台 (MD)。如需要还可增加一个医生控制台。两个控制台的功能大部分共有。但操作者控制台可控制扫描,还可选择和管理原始数据文件和图像重建队列。

两个控制台功能独立。操作者控制台扫描时,医生控制台可显示和分析图像。

10. 检查床 EBCT 的检查床位于扫描机架前方,用于支撑病人和扫描空间定位。

EBCT 的检查床可进行几种运动:

(1) 床面升降,上下移动范围大约 25cm。

(2) 床面水平进出,移动范围大约 132cm。手控移动速度分为 3.2cm/s 和 1.3cm/s 两种;扫描期间床面运动速度由扫描方案的参数决定。

(3) 床面长轴顺钟向或反钟向摆动,各为 25°范围 (图 1.2.5a、b)。

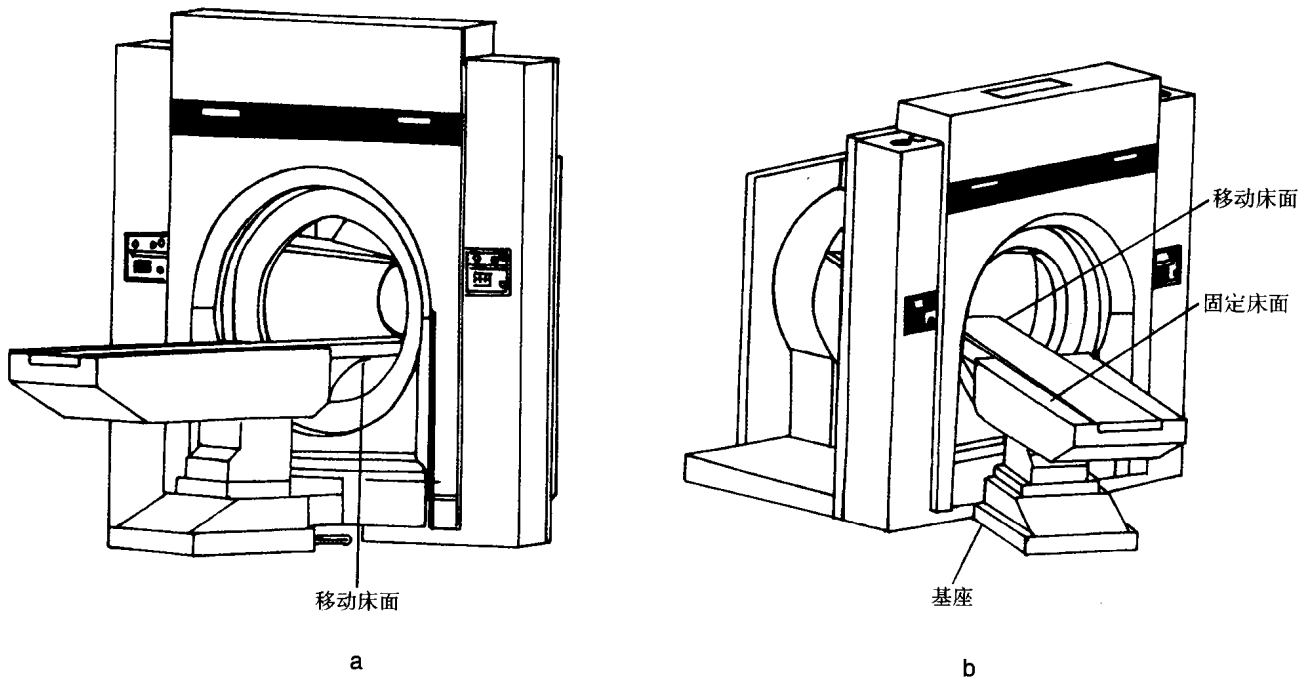


图 1.2.5 床面顺/反钟向摆动示意图

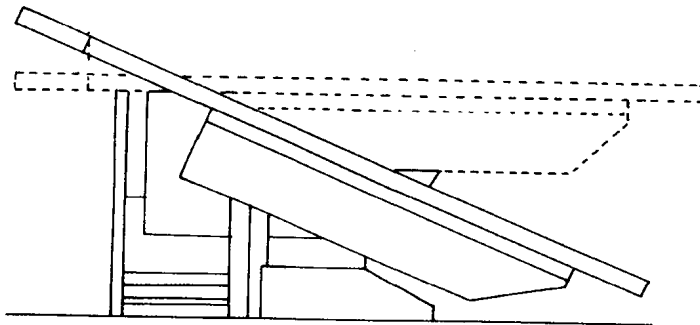


图 1.2.6 检查床面倾斜示意图

(4) 床面从水平位至头高足低位的倾斜, 最大倾斜 23° (图 1.2.6)。

后两种是专为心脏检查的长轴位和短轴位设计的。

11. 计算机系统 EBCT 有 5 个计算机协同工作: RT 计算机 (RT 控制台)、MD 计算机 (MD 控制台)、VME 计算机 (图像重建系统)、VILK 计算机 (真空度系统、聚焦偏转系统和连锁系统) 和检查床运动系统计算机。

VME 计算机的 CPU 为 MVME167, 字长 32 位, 扫描数据存储器 192MB。图像重建速度: 256 矩阵约 1 秒, 512 矩阵约 4 秒。

(白 桦 贺又增)

第二章 EBCT 工作方式

►第一节 EBCT 的基本扫描模式

扫描方式按电子束基本扫描速度分为两种：

1. 多层扫描模式 (multiple slice mode, MSM) 电子束基本扫描速度为 17 次/s。电子束扫描一个钨靶环 (图 2.1.1) 所需时间是 50ms, 扫描之间间隔 8ms, 一个扫描周期是 58ms。

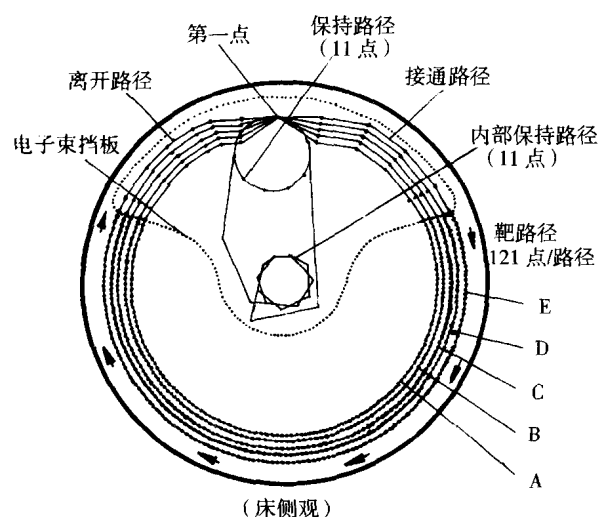


图 2.1.1 电子束靶环扫描路径

MSM 方式使用检测器环 1 和环 2, 每个靶环发射的 X 线可以产生两幅紧密邻接的 7mm 的断层图像。这样每秒可以获得 34 帧断面图像。相邻两个靶环的图像之间有 4mm 的间隔。

MSM 采用多靶扫描, 可选用不同的靶环组合。靶环扫描顺序永远是 D→C→B→A 方向, 不能反向移动。

2. 单层扫描模式 (single slice mode, SSM) 电子束基本扫描速度为 9 次/s。电子束扫描靶环所需时间是 100ms, 扫描之间间隔 16ms, 一个扫描周期是 116ms。

扫描仅使用靶环 C 及检测器环 2, 每次扫描可产生一帧断面图像。扫描层面厚度可改变。

3. 定位扫描 (preview scan) 这是一种特殊的电子束扫描方式, 仅供单层容积扫描时获取扫描定位像所用。具体扫描方法: 电子束在靶环 E 上运动, 至正下方时, 跃到靶环 C 产生垂直方向的 X 线束, 经检测器环 2 采集数据可得到病人正位影像。电子束在靶环 C 只停留瞬间又回到靶环 E, 当运动到靶环终端的水平位置时, 又跃至靶环 C, 产生水平方向的 X 线束, 可得到病人的侧位影像。操作者根据所得到的正侧位定位像确定轴位扫描层面。

4. EBCT C-150 临床扫描方式 EBCT 系统有四个阳极靶环和两个检测器环, 由计算机控制电子束的扫描, 可以提供多种组合的扫描方式:

(1) 单层扫描模式 (single slice mode, SSM):

*定位扫描 (preview scan)

*步进容积扫描 (step volume scanning, SVS)