



高级医学影像分析

Advanced Medical Image Analysis

王宽全

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

第2章 CT成像原理 (1)

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- CT起源回顾
- 投影成像（X射线）原理
- 断层成像（CT）原理
- 断层成像前沿技术

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- CT起源回顾
- 投影成像（X射线）原理
- 断层成像（CT）原理
- 断层成像前沿技术

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

X射线

1895年11月8日，德国物理学家伦琴在进行阴极管放电实验时偶尔发现了具有很高能量，肉眼看不见，但能穿透不同物质，能使荧光物质发光的射线。


因为当时对这种射线的性质不了解，因此称之为X射线。为纪念发现者，后来也称为伦琴射线，现简称X线。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

CT（1979年诺贝尔生理学及医学奖）



科马克



亨斯菲尔德

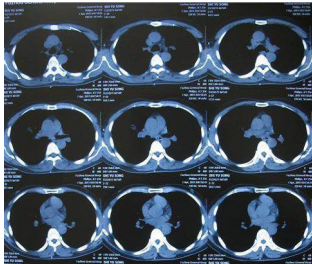
70年代初，科马克设计发展了一种计算机化轴向层析X射线摄影法。

亨斯菲尔德勾画出了计算机断层图像的概念，这就是CT扫描仪的诞生。

科马克和亨斯菲尔德相互并不知道对方的工作，他们两人把电子计算机应用到医疗影像，成为20世纪医学诊断领域的第一次革命。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

多层扫描CT图像实例



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

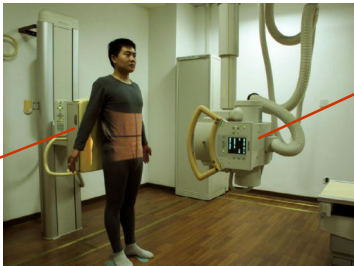
目录

- CT起源回顾
- 投影成像（X射线）原理
- 断层成像（CT）原理
- 断层成像前沿技术

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

投影成像（X射线）原理



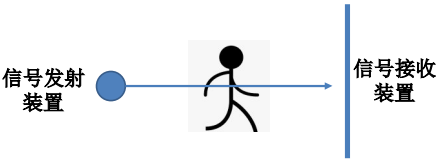
信号发射
装置

信号接收
装置

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

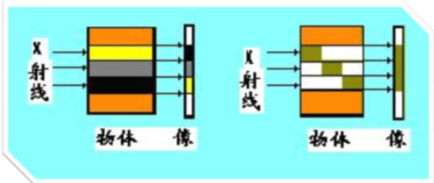
投影成像（X射线）原理



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

X射线成像原理



X线具有一定的**穿透力**，能穿透人体的组织结构；

被穿透的组织结构，存在这**密度和厚度**的**差异**，X线在穿透过程中被吸收的量不同，以致剩余下来的X线量有差别；

这个有差别的剩余X线，经过**显像**过程，例如经过X线片、荧屏或电视屏显示，就能获得具有黑白对比、层次差异的X线图像

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

X射线的产生与特性

- 产生：X射线是真空管内高速行进电子流轰击**靶**时产生的一种电磁波。
- 特性：
 - 穿透性：能穿透可见光不能穿透的物体。
 - 荧光效应：能激发荧光物质，能转换成肉眼可见的荧光。
 - 感光效应：能使涂有溴化银的胶片感光并形成潜影，经显、定影处理后形成灰阶度不同的X线照片，是X射线摄影的基础。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

投影成像（X射线）原理

- X线影像形成，必须具备以下3个条件：
- 1.X线应具有一定的穿透力
 - 2.被穿透的组织结构，必须存在着密度和厚度的差异
 - 3.有差别剩余的X线必须经过显像过程，应用X线片，显示屏等表现。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT ·Computational Perception Center · Research Group of Computing Medicine

穿透作用

X线穿透一般可见光不能穿透的各种不同密度的物质，并在穿透过程中受到一定程度的吸收即衰减。**X线的穿透力与X线管电压密切相关，电压越高，所产生的X线的波长越短，穿透力也越强。**另一方面，X线的穿透力还与被照体的密度和厚度相关。X线穿透性是X线成像的基础。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT ·Computational Perception Center · Research Group of Computing Medicine

X线与物体的相互作用

X射线通过物质时，与物质发生相互作用过程中由于吸收和散射导致入射方向X射线强度减少。

单能窄束X射线在物质中的衰减规律可表示为

$$I_t = I_0 e^{-\mu t} \qquad I_t = I_0 \int e^{-\mu t} dt$$

X射线经过人体组织后，会被相对应的探测器接收到，因为在穿透人体时，有一部分能量会被吸收，从而导致探测器接收到的数值，会随着他经过的组织的不同而不同。
式中， μ 代表物质所特有的衰减系数， t 代表这个物质的宽度， I_0 代表入射强度， I_t 探测器接收到的强度。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT ·Computational Perception Center · Research Group of Computing Medicine

衰减定律离散化表示

一般情况下，X射线束是由能量连续分布的光子组成，当穿过一定厚度的物质时，各能量成分衰减的情况不一样，它不遵守单一的指数衰减规律，因此连续X射线的衰减规律比单能X射线复杂得多，理论上连续能谱窄束X射线的衰减可由下式描述

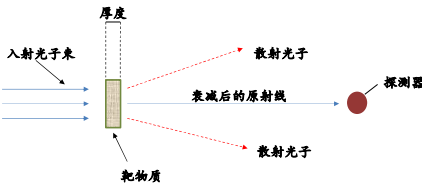
$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$= I_{01}e^{-\mu_1 x} + I_{02}e^{-\mu_2 x} + \dots + I_{0n}e^{-\mu_n x}$$

式中 I_1, I_2, \dots, I_n 表示各种能量X射线束的穿透能力；
 I_{01}, \dots, I_{0n} 表示能量X射线束的入射强度；
 $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$ 表示各种能量X射线衰减系数， x 为吸收物质层的厚度。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT ·Computational Perception Center · Research Group of Computing Medicine

投影成像（X射线）原理

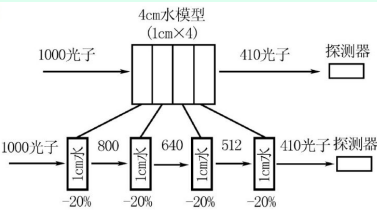


单能单行X射线光子束被物质衰减示意图

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT ·Computational Perception Center · Research Group of Computing Medicine

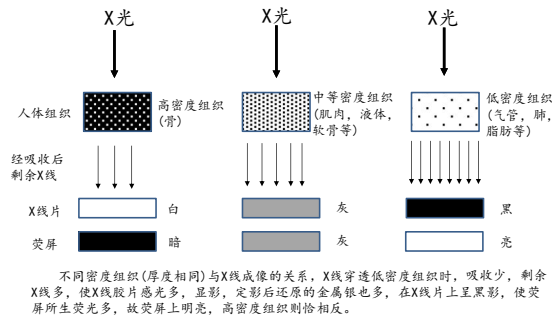
X线与物体的相互作用

连续能谱的X射线束是能量从最小值到最大值之间的各种光子组成的混合束，当连续X射线通过物质层时，其量和质都变化。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT ·Computational Perception Center · Research Group of Computing Medicine

投影成像（X射线）原理



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

- CT起源回顾
- 投影成像（X射线）原理
- 断层成像（CT）原理
- 断层成像前沿技术

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像与投影成像的比较

投影成像技术:

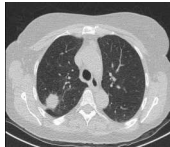
- 三维图像上映射为二维图像

- 具有**重影**: 是一种压缩显像, 效果并不好, 如左图, 很难帮医生确定病灶在**三维空间**中的位置。



CT断层成像:

- 可以提供人体解剖结构在三维空间中的分布信息。
- 可以克服多个人体组织结构重叠在一起的问题
- 能够实现的准确病灶定位。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

投影成像

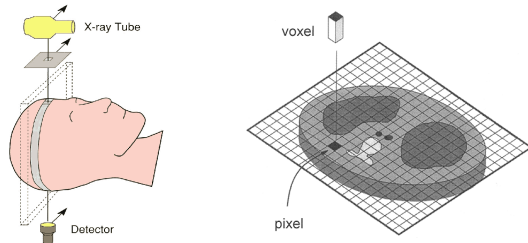


传统的放射性检测, 只能给出阴影, 而阴影给出的信息十分有限。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像

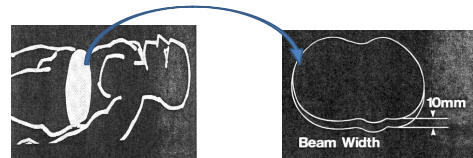


断层图像是可以理解为对人体的剖面成像

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像

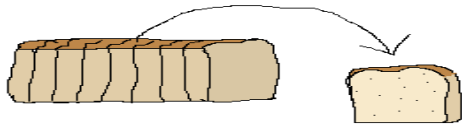


身体横截面被扫描产生的CT图像的被称为切片。
切片具有厚度, 这个厚度由X射线束的厚度确定

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像

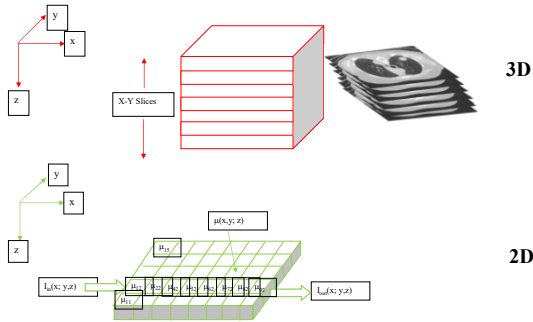


可以类似把面包看作人体，切的每一片都是一个CT图像，我们不仅可以通过CT看到面包里面的部分，还能将切片按顺序叠加起来，重新建成人体的三维结构

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像数据结构

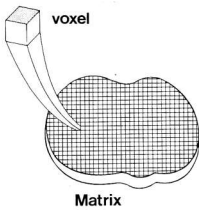


哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

体素

图像矩阵的每个元素或者数字代表三维结构中的体素。

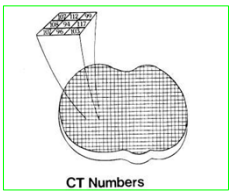


哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

CT 值

- ✓ 在CT图像中的值被称为CT值。
- ✓ 每一个CT值代表着X射线在对应位置上的物质上衰减的程度。



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

正常组织的CT值

组织类别	CT值 (Hu)
水	0
脑脊液	3-8
血液	13-32
出血	64-84
脾脏	50-65
肝脏	50-70
钙化	80-300
肺组织	-600~800
骨皮质	> 400
脂肪	-20-80

$$CT值 = \frac{\mu_m - \mu_w}{\mu_w} \times 1000$$

μ_w : 水的吸收系数;

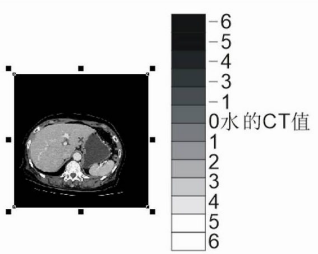
μ_m : 该物质吸收系数;

单位: Hu , Hounsfield Unit

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

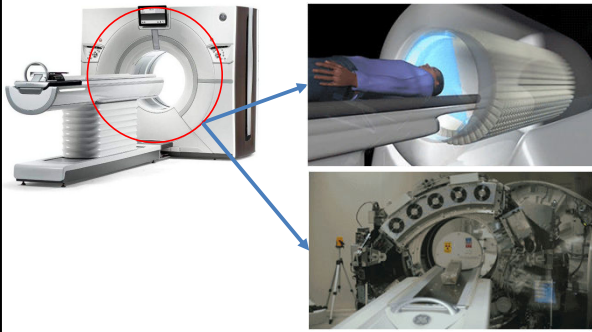
图像中的CT值



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

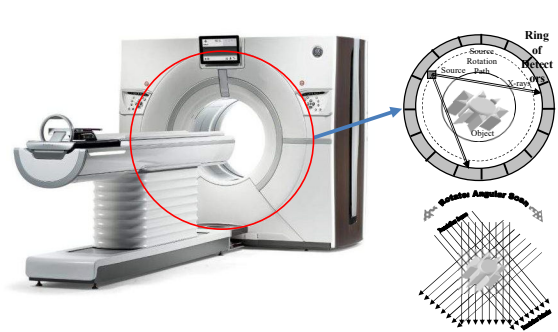
断层成像设备



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

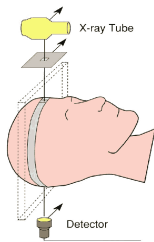
断层成像设备



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像如何实现？



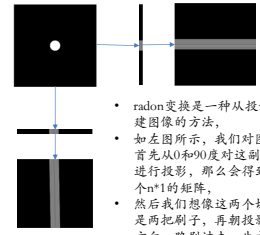
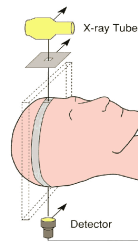
$$I_t = I_0 \int e^{-\mu_t t} dt$$

- X射线经过人体组织后，会被相对应的探测器接收到。
- 在穿透人体时，有一部分能量会被吸收，从而导致探测器接收到的数值，会随着他经过的组织的不同而不同。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像如何实现？

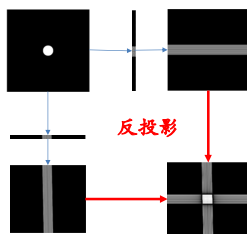
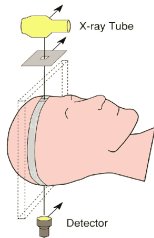


多方向投影：雷登变换

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像如何实现？

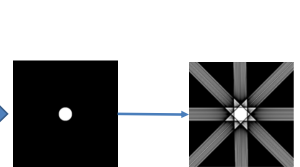
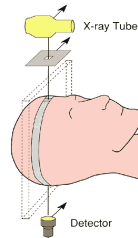


将他们叠加最终得到了右下较为粗糙的还原图片

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像如何实现？

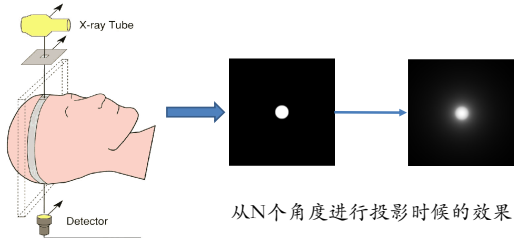


分别是8个角度和180个角度进行投影重建的两张图片，可以看出，角度越多复原的效果就越好。

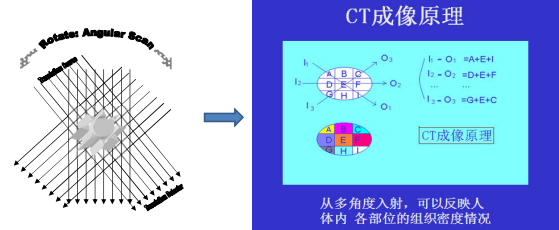
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

断层成像如何实现？



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

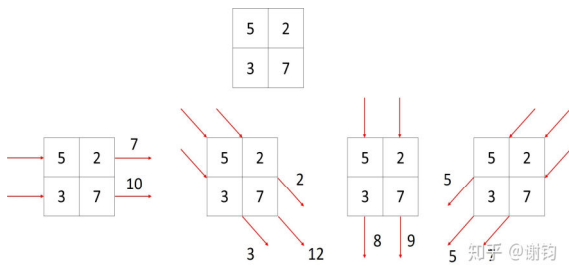


CT成像是X射线成像在多个方向的拓展！

每次X射线通路都有不同的像素组合，探测器会记录响应的强度值。采用一定的数学方法（投影和反投影图像重建技术）。

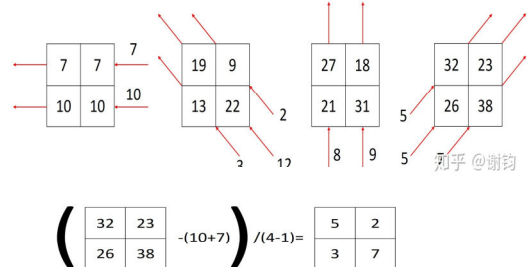
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

为了让问题简化一点，我们假设目标是一个2X2的矩阵，然后看看我们的CT在各个角度进行投影成像后的结果：

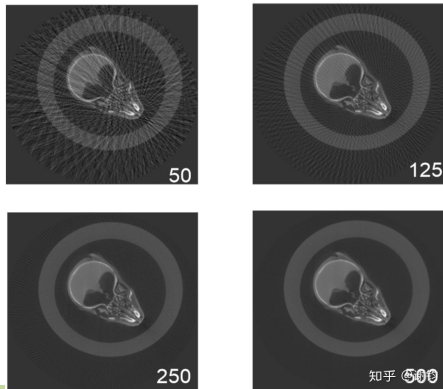


哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

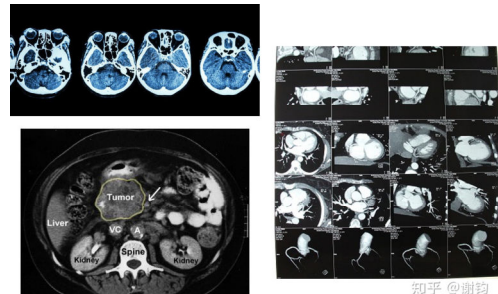
有一个简单粗暴的方式，叫做逆投影。操作也很简单，就是把获得的投影信息反着加回去就行了：



哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



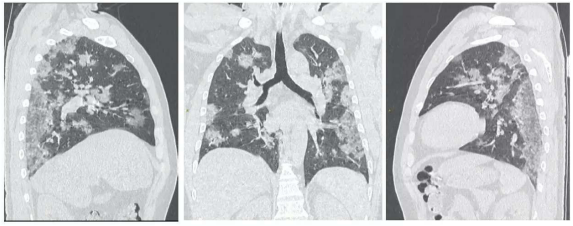
哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine



左上：脑部CT成像。右：冠状动脉（就是给心脏肌肉供血的血管）CT成像与三维重建。左下：腹部CT成像，Tumor肿瘤，Spine脊柱，Kidney肾脏，Liver肝脏。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组
HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

武汉协和医院



男，44岁，华南海鲜市场密切接触史。无明显诱因发热、乏力。外院诊断为肺炎。

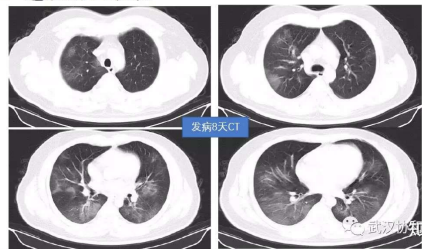
武汉协和医院放射科提供的新型冠状病毒引起的肺炎CT影像学资料

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

武汉协和医院

进展期CT表现



男性，32岁，否认华南海鲜市场接触史。间断发热、咳嗽5天。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

目录

■ CT起源回顾

■ 投影成像（X射线）原理

■ 断层成像（CT）原理

■ 断层成像前沿技术

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

螺旋CT

扫描轨迹为螺旋曲线，故称螺旋CT

1、扫描方式与供电方式：

①扫描方式：X线管绕被查人体匀速单向旋转，人体匀速前进



优点：

①扫描速度快：
减少运动伪影

②无采集数据遗漏：
容积数据，任意位置、任意方位重建图像。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

320排

和以往的螺旋CT相比，320排螺旋CT有以下特点：

1. 以高空间分辨力为基础的纵轴覆盖范围大幅度增加，也就是说只需要一次扫描，多个方向进行调整，获得任意切面图像，使得医生可以更好的了解病变的细节和空间解剖关系。
2. 是时间分辨力的空前提高，每周旋转可缩短至0.33S。采集同样体积的数据，扫描时间大为缩短，一次屏气20s，可以完成胸部扫描；扫描的单位时间覆盖率明显提高，病人接受的射线剂量明显减少
3. 成像软件方面有了更完善的改进，采集的数据既可做常规图像显示，也可在工作站进行后处理，完成三维立体重建、多层面重建、器官表面重建等，并能实时或近于实时显示

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

640排

和320排螺旋CT相比，640排螺旋CT有以下特点：

1. 高空间分辨率进一步增加，可以看到亚毫米级的切面图片，从而医生可以更加细微的发现病变细节
2. 进行一次扫描的时间进一步减少，扫面的单位时间覆盖率明显提高，减少CT扫描时对病人的危害。
3. 由于排数增多，在进行三维立体建模时，可以得到更加细节的结果，在头颅，脊柱，骨关节等部位的显示，得到更加精细的三维立体图像，同时可以获得类似于内窥镜检查的管腔内部结构信息。
4. 因为价格昂贵，所以还没有成为CT扫描的主流方式。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

PET

传统CT难以发现密度变化小或局限于细胞水平的早期病变

PET全称为正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography PET)，是反映病变的基因、分子、代谢及功能状态的显像设备。它是利用正电子核素标记葡萄糖等人体代谢物作为显像剂，通过病灶对显像剂的摄取来反映其代谢变化，从而为临床提供疾病的生物代谢信息。是当今生命科学、医学影像技术发展的重要里程碑。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

国内发展现状

- ✓ 在CT设备方面目前国内已经具有了生产CT设备的能力。
- ✓ 但是目前在MRI方面，国内只有很少的公司具备生产相关设备的能力。
- ✓ 国内联影公司的PET已经处于领先地位

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

CT的关键技术（ChatGPT）：

- ✓ CT技术是一种利用X射线穿透人体组织，通过计算机处理和重建得到人体内部结构的影像的技术。
- ✓ CT技术的关键技术包括扫描系统、计算机处理系统和图像显示与存储系统。其中，扫描系统是CT机的核心部件，主要由X射线源、探测器、机架和床台等组成。计算机处理系统负责对探测器采集的数据进行滤波、重建、校正和分析等操作。图像显示与存储系统负责将计算机处理后的图像以数字或模拟方式显示在屏幕上，并进行存储、传输和打印等功能。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine

CT的未来发展方向（ChatGPT）：

- ✓ CT技术的未来发展方向主要包括提高图像质量、降低辐射剂量、增加功能性和智能化等方面。
- ✓ 提高图像质量的方法有优化扫描参数、采用新型探测器和重建算法、利用深度学习等技术等。
- ✓ 降低辐射剂量的方法有减少扫描范围、降低管电压和管电流、采用迭代重建和噪声抑制等技术等。
- ✓ 增加功能性的方法有开发多能谱CT、分子影像CT、灌注CT等新型CT模式，以提供更多的生理和代谢信息。
- ✓ 增加智能化的方法有利用人工智能和机器学习等技术，实现CT图像的自动分割、识别、定量分析和诊断辅助等功能。

哈尔滨工业大学·感知计算研究中心·计算医学课题组

HIT •Computational Perception Center • Research Group of Computing Medicine