

CT 和 MRI 技术与诊断的进展

吴恩惠 吴奇

CT 和 MRI 检查领域的拓宽、图像显示能力的改进、图像显示方式的开发以及诊断水平的提高同设备与技术的更新密切相关。更新则主要是围绕缩短成像时间和提高图像分辨力,改善图像质量,以便能清楚显示感兴趣器官及其病变为目标的。下边对近年来 CT 和 MRI 的设备、技术和诊断的进展概况加以介绍。

一、CT

CT 扫描从平移/旋转式到旋转式的层面扫描,发展到在旋转式扫描基础上,采用滑环技术和连续进床的螺旋扫描是 CT 发展中的一个重要里程碑,也是今后发展的方向。1998 年推出的多层螺旋 CT (multislice CT, MSCT) 进一步提高了 CT 的性能,是又一重要发展。当前世界生产的 CT 几乎都用螺旋扫描方式。

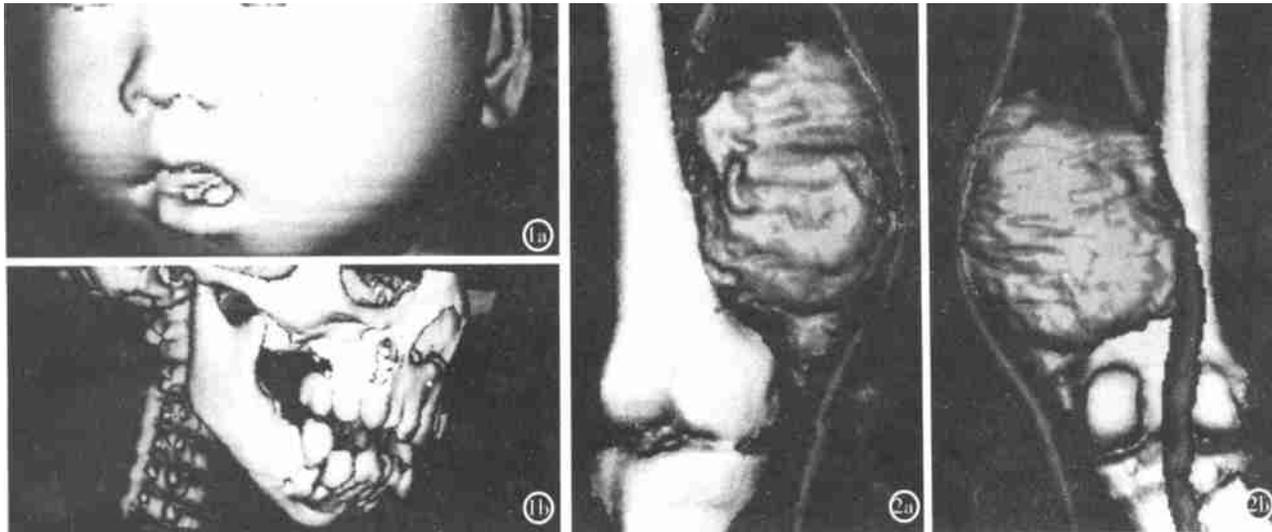


图 1 颌面 CT 三维重建图像 a) 颌面部 b) 颌面骨 图 2 右大腿 CT 容积分段显示图像 a) 前面观 b) 后面观 右大腿横纹肌肉瘤 图像可显示肿瘤及其与股骨与血管的毗邻关系

螺旋 CT 的突出优点是快速的容积数据采集,在短时间内对身体较长范围进行不间断扫描,可得到丰富的影像信息,为改善图像质量和提高 CT 的成像功能打下良好的基础。

MSCT 不同于单层螺旋 CT,后者用扇形 X 线束、单排探测器,每旋转 360° 获得一个层面图像,而前者则用锥形 X 线束,多排宽探测器,多个数据采集系统,每旋转 360° 可得几个层面的图像。探测器的宽度与排数决定着层厚的厚薄与扫描时间。

1. MSCT (比单层螺旋 CT) 的优势

获得更薄的层厚,薄达 0.5mm; 以更快的速度行更长距离的扫描,获得的容积信息更为丰富,可作不同方位断面的图像重建和图像后处理;减少层面间信息的重迭,降低噪音,改善图

像的信噪比,提高图像质量;③更快的数据采集速度,进一步提高时间分辨力,扫描时间缩短。如用 240° 扫描,扫描时间可缩短到接近 0.5s。这就便于实时成像和有利于显示出脏器的期相特征表现;进一步提高图像的对比分辨力和空间分辨力。MSCT 所得图像的空间分辨力每厘米最高可达 24 线对,为单层螺旋 CT 的一倍,可更好地显示微小结构;减少对对比剂的用量,大致可减少 60%。

为了保证图像质量、长扫描时间和长扫描距离,螺旋 CT 需要配置高热容量球管,当前多用 5.0 兆热单位 (MHU) 的,最高可为 7.7MHU。探测器则使用稳定性好、光输出高、余辉暂短的固体探测器,如稀土陶瓷钆酸钇 (Ygd O),其转换率可超过 90%。高转换率可得高分辨力图像,又降低 X 线量。

螺旋扫描带来的病人接受大的 X 线辐射量问题,可通过低 X 线辐射扫描技术加以解决。例如缩短球管与探测器的间距,所谓短几何学结构设计以降低毫安值,即可减少病人接受的 X 线辐射量,同时球管负荷减小,可延长球管使用寿命,还可增加图像的信噪比。

2. 螺旋 CT 在临床应用上的优点

①实时成像与 CT 透视 螺旋 CT,特别是 MSCT 大大缩短了成像时间。当前,一个层面的扫描时间已缩短到亚秒级,图像重建时间也短到 1s,几乎可达到实时成像的水平。

短时间内完成长距离的连续扫描,给临床应用带来很大方便。对于不合作或难于制动的病人或运动器官的扫描,不难完成检查。病人检查时间的缩短,增加了病人的流通量,从而提高工作效率。连续扫描可获得连续层面图像,避免漏扫层面所

致小病灶的漏诊。使用 MSCT 可在更短时间内完成长距离的连续扫描。当前可在不到 1min 的时间内完成 140cm 的长距离扫描,可一次完成胸、腹部和盆部的扫描。实时成像有利于运动器官的成像和动态观察,易于得到感兴趣器官或结构的期相 CT 表现特征。例如对肝脏的动态 CT 扫描,不难得得到肝动脉期等精确的期相图像。

1 秒或亚秒级采集的容积数据行连续成像(continuous imaging)于 1s 内可显示 6~8 帧图像,达到近于透视的效果,即所谓 CT 透视(CT fluoroscopy),对开展 CT 介入技术很有帮助。为了减少 CT 透视时病人接受较大 X 线辐射量和减轻球管负荷,可采用低 X 线辐射量透视功能。

②CT 图像显示 螺旋 CT 除可快速提供大范围、薄层厚的横断面、冠状面、矢状面及任意斜面的高分辨力图像外,还使一些图像显示技术,如三维重建、容积再现、仿真内镜和 CTA 等图像显示技术进一步提高,使器官、结构及其病变的显示方式有所改变,显示能力有所提高。

三维重建技术:MSCT 所得三维立体 CT 图像更为清晰,对病灶的定位及其同邻近器官、结构的毗邻关系更为明确(图 1)。

容积再现技术:容积再现技术(volume rendering)利用全部体素 CT 值行表面遮盖技术与旋转结合,加上假彩色编码和透明化技术(transparency)使表面与深部结构同时显示。例如在胸部,使支气管、肺、血管、胸壁的肌骨等结构显影,解剖结构明确而逼真,一目了然。

容积分段显示技术:使用专用软件可对三维立体图像进行三维切割、拆分和假色处理,使各组织与结构及其病变显示更加清楚、明确(图 2)。

仿真内镜技术:计算机的仿真技术与 CT 相结合而开发的仿真内镜(virtual endoscopy, VE)功能,可模拟内镜的检查过程。由于具有无创、逼真等优点而得到大家的认同。当前几乎在所有管腔都可行仿真内镜显示,如仿真鼻咽及鼻窦镜、喉及下咽镜、气管、支气管镜、胃镜、结肠镜、尿路镜、血管镜、中耳镜和椎管镜等。仿真支气管镜可显示到 5~6 级的支气管,超过纤维支气管镜可观察的范围,可显露息肉样病变、气道狭窄、闭塞等(图 3)。仿真胃镜与结肠镜也可检出小的息肉样病变,可用为筛选检查。仿真血管镜可观察纤维血管镜无法检查到的部位,诊断血管狭窄、粥样斑和血栓,发现直径大于 3mm 的动脉瘤,观察到主动脉夹层的内膜瓣和开口等。特别是采用 MSCT 成像,则效果更佳。为对纤细、迂曲而又受心脏搏动影响,很难行仿真内镜检查的冠状动脉的显示提供了可能。

CTA:目前 CTA 显示血管较过去更为完美,对脑血管、肾动脉与肺动脉显示效果好,但对小血管的显示仍不够理想(图 4)。与 MRA 相比,CTA 所得信息较多,与 DSA 相比,CTA 无需插管,创伤小。在进一步改善图像分辨力后有望成为更加实用显示血管的方法。

冠状动脉 CTA 一直是研究内容之

一。MSCT 可能显示血管狭窄、粥样斑及钙斑等。MSCT 对冠状动脉钙化积分也有望发挥作用。

③CT 脑血流灌注成像 CT 脑血流灌注成像(brain perfusion imaging)的原理与方法有如脑 CT 动态扫描和脑 MRI 的灌注成像。静脉快速团注对比剂后对选定层面行连续扫描。使用专用软件,通过脑血流流速、流量及平均通过时间等参数对急性或超急性缺血性疾病的诊断、局部脑缺血与脑梗死的鉴别和脑瘤微循环的观察提供一可行的新途径。还有望用于心脏、肝、肾等器官的检查。

④专用软件包的应用 由于 MSCT 功能的特点,已开发出专用的软件包。

脑功能改变早期检查软件包:结合 MSCT 功能成像与形态成像所提供的信息用以检查脑缺血、观察脑缺血后组织学改变以及脑瘤的早期检查等。

肿瘤放疗计划软件包:MSCT 所得的形态与功能信息直接与肿瘤 TPS 相匹配,用以确定放疗计划与判断疗效。

外伤专用软件包:MSCT 可行短时间、长距离扫描,一次扫描即可迅速查出多器官、多发性的多种损伤,并可使用容积再现技术,有利于早期诊断。

二、MRI

提高 MRI 设备的性能,缩短成像时间,实现实时成像和 MR 透视,改善图像分辨力,使分辨力达到微米水平和适应开发与完善新技术,如功能成像和微结构成像等是 MRI 发展的重点。

1. MRI 设备

①磁体 磁体的小型化和开放式一直被重视。小型磁体易于实现磁体的开放式,减轻磁体重量,减少超导线和液氮消耗,对场地条件要求低,从而可降低设备成本。

开放式磁体的应用引人注目,当前低场强 MRI 设备,不论是永磁型、常导型或超导型都已采用开放式。性能有很大提高,图像质量、成像功能都有很大改善。成像时间也有所缩短。对病人舒适、减少幽闭恐怖感,又便于操作,不仅适于开展介入技术,而且可以满足诊断的需要。中场强开放式 MR 设备也已问世。使用超导磁体和垂直磁场,有较高的场强(如 1.0T),较高的梯度场强(如 20mT/m)和较高的切换率。可行薄层采集,成像速度快,能得到高分辨力图像。用于 MRA 及功能成像等有很好的效果。开发高场强开放式设备可能也势在必行。

在低场强磁体上,已开发出具有中、高场强设备的效能,可

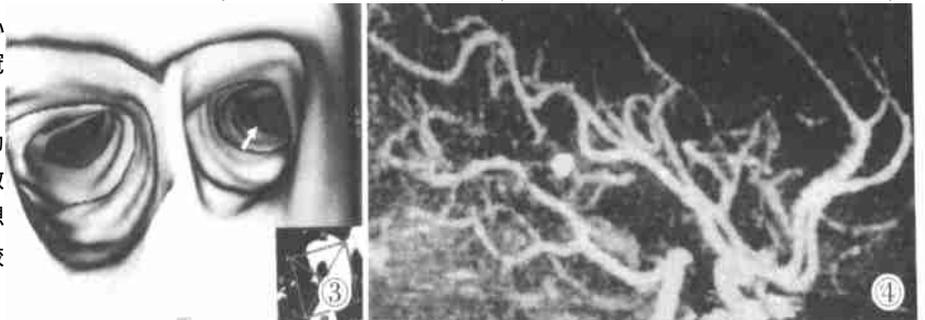


图 3 仿真气管支气管镜图像 右主支气管有一肿物突入(↑),病人为肺癌。

图 4 脑 CTA 图像 可见颈内动脉与基底动脉及其分支。

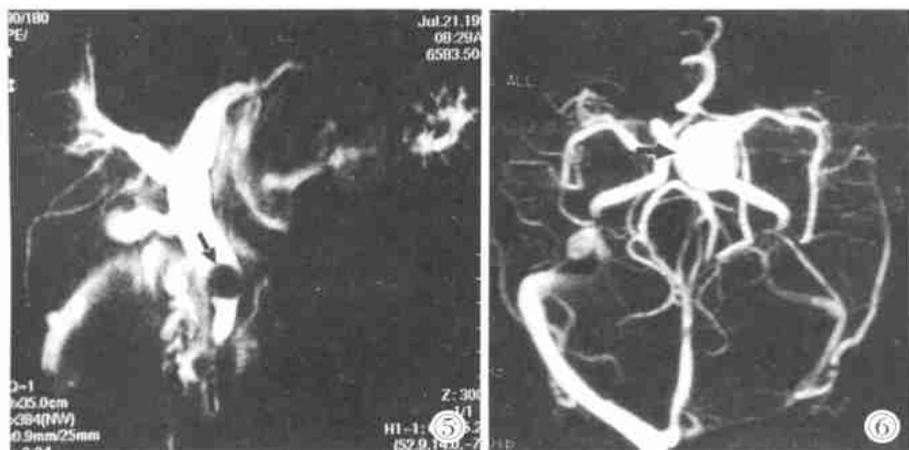


图5 MRCP MRCP显示左右肝管、肝总管、胆囊、胆总管显影,于胆总管下段可见一结石(↑)。图6 脑MRA 脑MRA(轴位像)可见脑底动脉环及一个大的动脉瘤(↑)

完成FSE、MRA和MR水成像等技术,图像清晰,成像时间也较短。但高场强,信噪比高,图像好,成像快,易行功能成像的MRI设备仍为用户所向往,也是开展科研所必需的。

②梯度系统 梯度系统关系到成像的定位、视野、矩阵、层厚与成像序列,尤其是快速成像序列等,是左右着MRI设备性能的关键。说明性能的参数是梯度场强(gradient strength)、爬升时间、切换率(slew rate)以及灵活性(flexibility)等。

梯度场强:决定切换率和得到最短的TR与TE,图像矩阵的大小和成像速度等。当今梯度场强可高达30~50mT/m。高梯度场强可得高分辨力图像,缩短成像时间,但使体内梯度噪音增高,并引起神经肌肉的刺激。因此,提高梯度场强要考虑病人的耐受性。为了病人的安全,美国FDA对梯度场强的参数有严格的限制。

为提高梯度场强,已开发出双梯度系统(twin gradient),在梯度系统内装一短的补充梯度线圈,将这个补充线圈放在扫描部位,由于场强迭加而提高了梯度场强。其切换率可达150mT/m/ms,可用以检查心脏和头部。

切换率高,为实现EPI序列提供了硬件保证。由于缩短TE与回波间隔时间(spacing time),而可提高信号强度,使图像更为清晰。但切换率过高可引起肌肉抽搐,一般限定在150mT/m/ms以下。

梯度场强的提高,磁体内噪音也增高,影响病人,为此而设计出降噪技术。

③射频线圈 射频线圈与图像质量密切相关,相控阵线圈,联合线圈,如头颈联合线圈、脊柱联合线圈联合线圈,乃至全身联合线圈均有所应用。

④专用MRI设备 当前专用MRI设备有头部专用、心脏专用、四肢专用和乳腺专用机型。前两种设备多用高场强,如3.0T或以上,后者则多用中、低场强。

2. MRI技术

由于MRI设备的改进和软件的开发,使一些成像技术日益成熟。下边讨论几个有代表性的MRI技术。

①MR水成像技术 MR水成像技术(MR hydrography, MR water imaging, MR fluid imaging)是利用重T₂效果,使用长TR、特长TE,使含水器官成像的技术。技术较为成熟,应用普遍。TE是水成像成功的关键。静态水或缓慢流动的液体呈高信号,与低信号的背景构成鲜明的对比。技术上用FSE、长的回波链和脂肪抑制技术,作薄层厚、连续、不屏气的2D采集,用MIP后处理,行3D重建,得三维立体图像。使用高梯度场强、高切换率和相控阵线圈,可进一步缩短成像时间,在几秒内获得高对比的T₂WI。

临床上MRCP、MRM、MRU、MR涎腺管成像、MR膜迷路成像、MR泪囊成像、MR输卵管成像等,已有不少经验。例如

MRCP诊断胆管狭窄,定位准确性达100%,定性诊断可达80%以上。诊断胆石敏感性为71%~95%,特异性为98%~100%,而准确性为94%~97%(图5)。但显示壶腹困难,鉴别良性与恶性狭窄仍有一定限度。

②MRA MRA应用也已普及(图6)。但进一步缩短成像时间,提高MRA图像质量,特别是改善对小血管的显示能力,仍是研究的课题。

当前,MRA成像速度已达到近于实时成像的水平。如行CE-MRA可分辨血管的期相表现。采用大矩阵,如1024²,乃至2048²,则显示小血管的能力可明显提高。用多薄层块重迭采集并用伪影消除技术可使MRA的血管影像轮廓光滑、自然,没有梯状伪影。应用高分辨力3D螺旋MRA可得高空间分辨率,高信噪比的冠状动脉图像,提高冠状动脉的显示能力。在3D显示的基础上增加透明显示技术,即4D显示,则可行仿真MR血管镜检查。仿真MR血管镜在显示小而迂曲的血管,如冠状动脉又受心脏搏动的干扰,仍有很大的困难。但在心电门控与脉搏门控辅助下,提高数据采集速度,可能有所帮助。

③功能性成像 功能性MRI(fMRI)几年前就已开始应用。广义的MRI包括弥散成像(diffusion imaging, DI)、灌注成像(perfusion imaging, PI)和脑皮质功能定位等。MRI是指病变还没有引起足以由MRI发现的形态变化以前,根据其功能改变,就使病变显像以达到诊断目的的MRI技术。例如脑缺血性疾病,在早期,CT与MRI均无所发现,但弥散成像或灌注成像就可发现变化,从而作出诊断。在弥散加权像(DWI)上,脑缺血区出现高信号病灶。这对早期和超早期诊断脑局部缺血有重要意义,及时治疗可改善预后。利用先进的MRI设备可获得分辨率更高的DWI图像。

灌注成像是快速静脉团注高浓度的顺磁性钆对比剂进行快速成像(用EPI序列)。通过描绘信号-时间曲线(signal-time, ST),从而得知对比剂的到达时间、峰值时间和通过时间,借以评价病灶的微血循环,即微血管(microvasculature)成像。EPI序列有运动伪影少,时间分辨率高,扫描层面多和时间短等优点。

临床上用以诊断早期局部脑缺血、心肌缺血以及了解肿瘤的微血管结构,借以判断其良性与恶性。在脑灌注成像,应得到局部脑血容量图(rCBV像)、局部脑血流量图(rCBF像)和平均通过时间图(MIT像)。综合分析这三个参数可了解脑微循环的血流动力学变化。

脑皮质功能定位是应用血氧依赖水平(blood oxygen level dependency, BOLD)效应的脑功能检查。脑细胞突触时,氧需要量加大,可在MRI上观察到这种变化。当视觉刺激后,MRI可见视中枢皮质信号变化,其信号因刺激的图形、彩色不同而不同。

临床上,可了解视觉通道有无病理变化。同样,听觉、痛觉、运动也有相同的效应。这种研究要求场强度高,在3.0T以上,计算处理复杂,费时间。

当前,实时fMRI、螺旋fMRI、抗血管生成因子辅助MRI以及DI与PI匹配成像,即利用计算机技术把DI与PI图像迭加,以提高病变显示的能力亦在研究之中。

fMRI还可研究心壁运动、流速、粥样斑特征和左心室功能等变化。

④磁共振波谱(MR spectroscopy, MRS)与MRI不同,是在生体利用磁共振波谱对组织代谢上的病理生理变化进行化学分析的一种技术。当前主要仍用¹H MRS,行组织代谢的生物化学分析。有望提供分子生物学与基因的信息。

在代谢检测中主要是检测脂肪代谢、氨基酸代谢和神经递质代谢。在行脑MRS时,先选定兴趣区,同时选定对侧对称的相等容积区域行MRS检测。通过胆碱(CHO)、肌酸(Cr)、肌醇(MI)、谷氨酸、乳酸(Lac)等化学物质的定量分析以帮助研究疾病。例如在脑瘤时其乳酸及胆碱均增高。MRS技术有不少改进,但仍处于临床应用的起始阶段,已用于脑瘤、脑梗死、颞叶癫痫,新生儿缺血缺氧脑病等的研究。MRS的实施要有很高的场强,快的扫描速度和高的MRS灵敏度。

⑤其它MRI专用软件包有很快发展。如心脏软件包可获得心脏形态学与功能的信息。卒中软件包可很快获得脑卒中早期诊断的有关信息。图像融合技术软件包可实现不同成像技术,包括CT、MR、ECT等图像融合,有利于诊断。

三、介入技术的影像设备与新技术

这里只简介导向技术和应用影像指导手术的某些发展。

在中档CT与MRI机上,均考虑不同方式的导向技术,以利CT和MRI介入技术的操作。在高档设备上,可利用三维重建功能,行介入操作的导向。

在中、高档CT机上可实现矩阵为512×512实时三维重建,用于CT导向。CT透视系统,可以每秒6~8帧的显示速度成像,达到实用的水平。血管造影机配置在CT扫描架旁,CT扫描后,只移动床,即可行血管造影与介入操作。

开放式MR机扩大了操作空间。以每秒20帧的速度连续成像行实时MR透视,有利于MR介入技术的操作。

微创与无创手术,γ刀与X刀的开展需要对病灶精确定位。对此影像学可发挥作用。影像学信息直接与TPS匹配有利于肿瘤治疗计划的实施。

近年来已用影像引导系统指导神经外科手术的进行。应用精确的定位技术和影像处理与显示技术,脑外科医生可在手术中直接看到手术部位及器械前进路径上脑解剖结构图像,得以避开重要结构而切除肿瘤,亦可及时处理手术并发症,如控制出血等,从而减少手术的盲目性与危险,提高了疗效。例如,脑胶质瘤在手术时难于区分正常脑组织与脑瘤组织,而在MRI上,肿瘤显示信号异常。这样在MRI引导下可安全准确地切除肿瘤,即便肿瘤靠近运动功能区的边缘。这就有可能避免肿瘤未切除完全或过多切除正常脑组织而损害脑功能。针刺活检和囊肿引流等也可在MRI引导下进行。

综观CT与MRI的发展,可以看出,不论在设备上,技术上,乃至临床应用上都有很大的进步,促进了临床医学的发展。但临床医学的进步又对医学影像学提出了更高更多的希望。例如肿瘤,不仅希望能做出肿瘤的定位、定量和定性诊断,还希望了解肿瘤局部侵犯的范围、区分肿瘤的良恶性,以及分级与分期等,更希望能早期作出诊断。CT与MRI对此能发挥不小的作用,但也还不能满足临床的要求。尽管CT与MRI有很好的病变显示能力(敏感性),但其特异性与准确性还有待提高。进一步提高CT、MRI的性能是必要的。此外,综合运用CT与MRI和其他影像学手段,密切结合临床与实验室检查,借以提高诊断水平仍是我们必须遵循的诊断原则。

(2000-03-03 收稿)

书 讯

由同济医科大学附属同济医院周燕发教授主编的《胸部X线、CT、MRI诊断学》一书已由科学出版社出版。全书共37章,第1~9章为总论,全面介绍了胸部X线、CT、MRI检查技术及胸部正常组织器官的密度和信号强度,并强高了如何正确认识和分析胸部影像特征对心肺疾病的诊断价值与限度。第10~37章为各论,系统地分别阐述了肺脏、纵隔、胸膜、横膈、心血管、乳腺等各种疾病的临床基本知识和X线、CT、MRI影像学表现,尤其对肺肿瘤、纵隔肿瘤、心血管疾病等均作了详尽的叙述。

全书采用进口铜版纸(精装)印刷,127万余字,线图120余幅,照片图1100余幅,与文字相辅相成,利于读者阅读理解,系从事影像学专业及胸内、外科工作者参与使用的专著。

本书每册180元(含邮费12元)。汇款请寄武汉:同济医科大学附属同济医院放射科甘新莲副教授收 邮编 430030