

张海波, 胡熙耀, 付传明, 等. MSCT 一站式重组在腰椎病诊断中的应用价值[J]. CT 理论与应用研究, 2012, 21(1): 81-88.
Zhang HB, Hu XY, Fu CM, et al. MSCT one-stop recombination in lumbar disease diagnosis application value[J]. CT Theory and Applications, 2012, 21(1): 81-88.

MSCT 一站式重组在腰椎病诊断中的应用价值

张海波^a, 胡熙耀^b✉, 付传明^a, 徐霖^a, 王升华^a

(湖北医药学院附属太和医院 a. 放射影像中心; b. 针灸科, 湖北 十堰 442000)

摘要: 目的: 探讨多排螺旋 CT (MSCT) 一站式重组在腰椎病诊断中的临床应用价值。方法: 采用 GE 公司 16 排螺旋 CT (Light speed 16) 对 50 例临床拟诊为腰椎病患者, 分别行常规腰椎间盘扫描和 CT 容积扫描; 在 AW4.2 工作站上将 CT 容积扫描图像进行模拟常规腰椎间盘扫描重组及一站式重组 (包括 VR、MPR)。对常规腰椎间盘扫描、模拟常规腰椎间盘扫描重组及一站式重组在腰椎生理曲度、腰椎椎体骨质增生、椎间关节异常、骨性椎管狭窄、横突及横突孔异常、椎间隙变窄、侧隐窝狭窄、椎体许莫氏结节或破坏、椎间盘异常、椎旁软组织异常、神经根受压、腰椎滑脱程度或类型、前后纵韧带及黄韧带钙化等相关征象的显示情况进行对比。结果: 前后纵韧带及黄韧带钙化、神经根受压、椎间盘异常、侧隐窝狭窄、椎旁软组织异常、横突及横突孔异常在常规腰椎间盘扫描, 模拟常规腰椎间盘扫描重组, 一站式重组上三者具有较好的一致性, 无统计学差异 ($P > 0.05$); 腰椎生理曲度、椎间关节异常、腰椎椎体骨质增生、椎体许莫氏结节或破坏、腰椎滑脱程度或类型、腰椎间隙变窄、骨性椎管狭窄在常规腰椎间盘扫描和模拟常规腰椎间盘扫描重组上亦具有较好的一致性, 但和一站式重组有统计学差异 ($P < 0.05$)。结论: MSCT 容积扫描一站式重组能够准确地显示更多的腰椎疾病相关的影像征象, 为临床诊断提供了更有价值的影像信息, 并且降低了患者的检查费用及放射辐射损伤。

关键词: MSCT; 图像处理; 计算机辅助; 腰椎; 脊柱疾病

文章编号: 1004-4140 (2012) 01-0081-08 中图分类号: R 445 文献标识码: A

CT 发展经历了非螺旋 CT、单层螺旋 CT、双排、4 排、8 排、16 排、64 排等阶段, 从单层螺旋 CT 开始, CT 容积扫描可以重组二维和三维图像。二维和三维图像重组技术的基础是^[1]: 螺旋 CT 连续扫描获得的容积数据, 要得到理想的容积数据, 扫描时要求尽可能薄的层厚和小的螺距、高的电流、电压、小的图像重建间隔。由于最初单层螺旋 CT 及双排螺旋 CT 的硬件和软件不足, 扫描时间过长, 不仅增加了患者放射辐射剂量, 而且还缩短了球管使用年限, 导致二维和三维重组技术在临幊上受到限制。

随着 MSCT (特别是 16 排螺旋 CT 以后) 硬件和软件技术的不断开发和更新, 时间和空间分辨率大大提高, 使其具有扫描速度快、覆盖容积范围大等特点, 为临幊诊断及治疗提供更有价值的二维和三维影像信息。尤其是在当今特殊工作及生活环境, 引起腰椎病的患者呈上升趋势, 并且年青化、职业化, 以往腰椎病患者常规采用椎间盘轴位扫描, 但会漏掉一些有临幊价值的影像信息。

本文旨在探讨多排螺旋 CT (MSCT) 一站式重组对腰椎病相关影像征象的显示情况, 为腰椎病患者提供一个合理的、适当的检查技术, 甚至还降低了患者的检查费用及放

收稿日期: 2011-09-26。

射辐射损伤。

1 资料与方法

1.1 临床资料

搜集湖北医药学院附属太和医院放射影像中心 2010 年 4 月至 2011 年 7 月, 经 16 排螺旋 CT 检查临床拟诊为腰椎病患者 50 例, 其中男 31 例、女 19 例, 年龄 30~85 岁, 平均 56.50 岁。临床表现均有不同程度腰部疼痛, 活动受限, 椎体附件部位压疼, 35 例患者合并单侧或双侧下肢胀痛、麻木、甚至行走呈跛行, 22 例患者出现踏棉花感觉, 14 例腰椎退变引起腰椎滑脱。

1.2 仪器与检查方法

使用 GE 公司 16 排螺旋 CT (Light speed 16), 扫描前经患者知情同意后用此种扫描方法检查。患者取仰卧位, 扫描基线: IC, 容积扫描: 范围第十二胸椎至骶椎, 扫描层厚 $16 \times 1.25 \text{ mm}$, 螺距 $1.375 : 1$, 重建间隔 50%, 矩阵 512×512 , 显视野 12 cm, 重建模式标准, X 线球管旋转一周时间 1.0 s, 管电压 120 kV, 管电流 250~300 mAs; 轴位扫描: 常规腰椎椎间盘扫描, 取 L3~4、L4~5 和 L5~S1 3 个椎间隙, 范围包括椎间盘及椎体上下终板, 采用 8 通道, 扫描层厚 $2.5 \text{ mm} \times 4 \text{ i}$, 显视野 12 cm, 管电压 120 kV, 管电流 250 mAs, X 线球管旋转一周时间 1.0 s, 每个腰椎椎间盘扫 4 层。

1.3 图像后处理方法与观察内容

由 1 位主管技师将 CT 容积扫描的原始数据重建后传到 AW4.2 工作站上, 然后模拟进行常规椎间盘扫描重组和一站式容积再现 (Volume Rendering, VR) 及多平面重组 (Multi-Plane Reformation, MPR)。模拟常规椎间盘扫描重组在 MPR 的正中矢状面图像上定位, 常规取 L3~4、L4~5 和 L5~S1 3 个椎间隙进行批处理, 批处理线与每一个椎间盘的椎间隙平行, 范围包括椎间盘及椎体上下终板, 重组层厚及间隔 2.5 mm, 重组显视野 12 cm。在骨窗上观察椎间关节面增生、平整度、变窄及真空征, 软组织窗观察前后纵韧带及黄韧带钙化、侧隐窝狭窄、椎间盘突出或膨隆、神经根受压情况。

VR 主要观察腰椎曲度、无外伤病史患者的腰椎横突情况以及椎间隙、韧带有无钙化等; MPR 在骨窗上及软组织窗上主要观察腰椎椎体骨质增生、椎间隙变窄、椎体许莫氏结节或破坏、椎间盘、腰椎滑脱程度或类型、椎旁软组织异常、横突及横突孔、椎间关节异常、骨性椎管狭窄等。

1.4 图像分析指标

① 腰椎生理曲度有无异常; ② 腰椎椎体骨质增生; ③ 椎间关节异常; ④ 骨性椎管狭窄; ⑤ 横突及横突孔异常; ⑥ 椎间隙变窄; ⑦ 椎体许莫氏结节或破坏; ⑧ 椎间盘异常; ⑨ 椎旁软组织异常; ⑩ 神经根受压情况; ⑪ 前后纵韧带及黄韧带钙化; ⑫ 腰椎滑脱程度或类型; ⑬ 侧隐窝狭窄。

以上指标由两位高资医师在常规椎间盘扫描及模拟常规椎间盘扫描重组和一站式重组图像上观察分析, 对观察分析存在不同意见时, 采取协商的办法统一后作出诊断。

1.5 统计学方法

采用统计学软件 SPSS 18.0 版本, 对常规椎间盘扫描及模拟常规椎间盘扫描重组和一站式重组下的各项指标结果进行 χ^2 检验, 设 $P < 0.05$, 有统计学差异。

2 结果

常规腰椎间盘扫描、模拟常规腰椎间盘扫描重组及一站式重组列于结果表 1。上述三者在前后纵韧带及黄韧带钙化、神经根受压、椎间盘异常（图 1）、侧隐窝狭窄、椎旁软组织

表 1 50 例腰椎病患者常规腰椎间盘扫描及模拟常规腰椎间盘扫描重组和一站式重组结果对比

Table 1 The more conventional analog conventional lumbar disc lumbar disc scan and sweep and stop re-structuring 50 patients

	常规扫描		模拟常规扫描		一站式重组		χ^2	P
	有	无	有	无	有	无		
腰椎生理曲度	0	50	0	50	46	4	983.130	0.001
椎体许氏结节或破坏	3	47	3	47	19	31	5.110	0.039
腰椎椎体骨质增生	21	29	21	29	47	3	6.234	0.016
腰椎滑脱程度	1	49	1	49	14	36	5.956	0.035
骨性椎管狭窄	7	33	8	32	37	13	64.913	0.003
前后纵韧带及黄韧带钙化	32	18	32	18	41	9	1.027	0.345
椎间关节异常	39	11	39	11	40	10	102.432	0.000
横突及横突孔异常	15	35	15	35	16	34	0.224	0.673
腰椎间隙变窄	0	50	0	50	43		907.265	0.000
神经根受压情况	92	53	92	53	113	34	1.241	0.341
椎旁软组织异常	0	50	0	50	0	50	1.003	0.508
椎间盘异常	124	26	124	26	143	62	0.673	0.342
侧隐窝狭窄	35	15	35	15	37	13	0.680	0.446

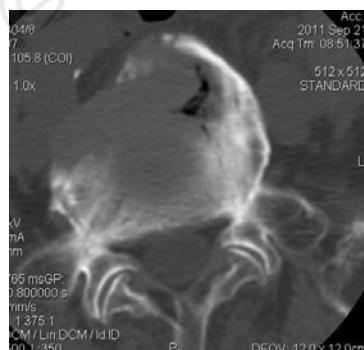


图 1 模拟常规腰椎间盘扫描重组, 示椎间盘游离气体及膨隆、关节面不平、硬化

Fig. 1 Analog conventional disc re-scan, showing free gas and bulging disc, articular surface uneven, hardened



图 2 MPR 示椎体滑脱、许莫氏结节及压缩性骨折

Fig. 2 MPR show spondylolisthesis, schmol nodules and compression fractures



图 3 MPR 示椎体前后角骨质增生、椎间隙变窄及游离气体

Fig. 3 MPR shows around the corner vertebral hyperostosis, intervertebral space narrowing and free gas



图 4 VR 特殊模板示螺钉位置、方向及螺钉是否松动

Fig. 4 Special VR template shown screw location, direction and the Screw is loose

异常、横突及横突孔异常上具有较好的一致性，无统计学差异 ($P > 0.05$)；在腰椎生理曲度、椎间关节异常、腰椎椎体骨质增生、椎体许莫氏结节或破坏、腰椎滑脱程度或类型、腰椎间隙变窄、骨性椎管狭窄上常规腰椎间盘扫描和模拟常规腰椎间盘扫描重组亦具有较好的一致性，但和一站式重组有统计学差异 ($P < 0.05$)。

一站式重组在腰椎生理曲度上的检出率提高了 92%，腰椎滑脱程度或类型上的检出率提高了 28%，椎体许莫氏结节或破坏上的检出率提高了 38% (如图 2)，腰椎椎体骨质增生上的检出率提高了 94%，腰椎间隙变窄上的检出率提高了 86% (如图 3)，椎间关节异常上的检出率提高了 80% 及骨性椎管狭窄上的检出率提高了 43.72%。

3 讨论

腰椎在日常工作及生活中活动度最大，承受来自上肢及躯干的重力，是最容易产生劳损和外伤的部位，其中腰椎椎间盘也最容易受到损伤，一般认为腰椎间盘突出症是在椎间盘退变的基础上发生的，而外伤是导致发病的重要诱因^[2]。据统计，40 岁以上的人有 45% 到 50% 患腰椎病，60 岁以上发病率达 80%，70 岁以后发病率几乎到达 100%。

3.1 腰椎病影像学检查方法优势及不足

在 20 世纪 80 年代以前腰椎病一直采用 X 线正、侧位片和 45° 双斜位片的检查方法。X 线侧位片能够直接显示上位椎体与下位椎体向前或向后滑移及滑移程度、椎体前后上下角骨质增生和椎体许莫氏结节、椎间隙变窄及游离气体等，此检查方法是诊断腰椎病的主要手段。45° 双斜位片，它能够很好地显示椎弓峡部裂，被认为是判断腰椎滑脱类型的首选检查方法。但也有它的不足之处：只有当峡部断裂平面与 X 线束的中心射线相平行时，峡部断裂才能很好地显示，也就是说当峡部裂面与冠状面成 45° 夹角，且与脊椎峡部垂直时，45° 斜位片才能准确地显示椎弓峡部裂；Libson 等^[3]报道 X 线 45° 斜位片仅能发现大约 20% 椎弓峡部裂。

随着 CT 的普及和在临床上的广泛应用,逐渐取代 X 线平片检查,成为腰椎病的常规影像学检查方法。腰椎椎间盘 CT 检查常规采用轴位扫描,通常扫 L3-4、L4-5 和 L5-S1 3 个椎间隙,每个椎间盘间隙扫 3~4 层,层厚 2.5~3 mm、间距 2.5~3 mm,X 线平行于每个椎体间隙扫描。由于最初的非螺旋 CT、单层螺旋 CT、双排螺旋 CT 的硬件和软件不足,再加上球管热容量设置过小,不能进行大范围 CT 容积扫描,只能做常规扫描;常规轴位扫描只能得到椎间盘层面和邻近椎体及附件等不完整的图像,可是椎体、椎弓、椎管、椎间盘、骨性椎管狭窄等图像却不能全面地显示。此外,由于每个人的个体差异较大,扫描层面有时不能完全与椎间隙平行,导致图像不能真实地显示椎间盘情况^[4]。

尽管常规腰椎椎间盘 CT 扫描能解决部分腰椎退行性病变的诊断问题,但因其局限性,使得一些腰椎退变性疾病的征象显示不完整,从而造成误诊、漏诊^[5]的情况时有发生。

20 世纪 90 年代以后随着多层螺旋 CT 发展换代,尤其是 16 排螺旋 CT 的发展,时间和空间分辨率不断提高,使其具有扫描速度快、覆盖容积范围大等特点,实现了二维和三维影像。让患者减少了 X 线的照射并降低了检查费用,又得到了满意的诊断图像质量。

本文利用 MSCT 容积扫描后重组模拟常规腰椎椎间盘检查,得到 L3-4、L4-5 和 L5-S1 3 个椎间盘图像,与常规椎间盘扫描相比,模拟椎间盘重组在显示前后纵韧带及黄韧带钙化、神经根受压、椎间盘异常、侧隐窝狭窄、椎旁软组织异常、横突及横突孔异常上具有较好的一致性;并且模拟常规椎间盘重组不受患者个体差异影响,可以重组较好的图像质量,说明模拟常规椎间盘重组比常规椎间盘扫描图像质量好。在腰椎生理曲度、椎间关节异常、腰椎椎体骨质增生、椎体许莫氏结节或破坏、腰椎滑脱程度、骨性椎管狭窄上一站式重组显示结果优于模拟常规椎间盘显示结果,进一步说明一站式重组图像更优于常规椎间盘扫描。但 CT 检查是一种对患者有潜在危害检查,所以在检查中要充分利用它的优势,减少不必要的放射损伤带来危害。

MRI 虽然是一种无创检查,但有它的不足,检查费用高,成像速度慢,对观察椎体及附件骨质异常、前后纵韧带及黄韧带钙化、椎间关节增生、骨性椎管狭窄、横突及横突孔异常、腰椎滑脱类型显示不及 MSCT 一站式重组;但 MRI 对脊髓受压、椎旁软组织异常明显优于 MSCT 一站式重组。

3.2 MSCT 一站式重组在临床应用价值

MSCT 球管热容量大、扫描速度快、同时密度分辨率高和各向同性的特点,在 x、y、z 轴上的 MPR 和 VR 重组图像不发生变形,使其任意角度的观察与原始图像质量一样,VR 图像真实^[6],而且可以根据诊断的要求,任意方向自由旋转图像,不受机架倾斜角度、脊柱畸形的限制^[4, 7]。模拟常规椎间盘扫描重组、VR、MPR 图像的获得是在轴位扫描的原始数据基础上进行薄层重建,再将重建的薄层图像传到 AW4.2 工作站进行重组,不需要增加患者的再次扫描,这样就减少了患者的放射辐射损伤,并且节省了检查费用。

模拟常规腰椎间盘扫描重组时采用“双线定位”法,确保了批处理线在 MPR 的矢状面和冠状面上都与椎间盘平行,从而使重组得到的椎间盘图像更加准确地显示椎间盘、侧隐窝、前后纵韧带、黄韧带、神经根、椎体的边缘轮廓及骨质病变的真实情况;并且从轴位、MPR 矢状面上同时可以观察椎间盘,更加直观地显示椎间盘突出方向、程度、硬脊膜受压程度及椎管狭窄情况,使“双线定位”法对腰椎椎间盘突出的诊断具有重要

的意义, 同时亦为临床提供更准确的影像信息, 使其图像直观、形象, 弥补了轴位影像的缺陷^[8]。

MPR 矢状面和冠状面重组可以任意角度旋转及切割, 能清楚显示腰椎椎体骨质增生、椎体许莫氏结节或破坏、腰椎滑脱程度及类型、上关节突与下关节突错位或骨折、椎间隙变窄, 结合 VR 定位准确。本组结果显示 MPR 矢状面和冠状面结合 VR 在腰椎生理曲度、椎间关节异常、腰椎椎体骨质增生、椎体许莫氏结节或破坏、腰椎滑脱程度、腰椎间隙变窄、骨性椎管狭窄上明显提高了检出率。MPR 矢状面可以替代腰椎侧位片, 冠状面可以替代腰椎正位片, MPR 的 45° 斜矢状面可替代双 45° 腰椎斜位片, 清楚地显示椎间孔和小关节^[9], 并且影像无重叠。值得提出的是“林氏神经根 CT 同层显示法”^[10], 可以准确追踪神经根的走形, 更加准确地判断神经根是否受压, 为临床诊断下肢疼痛、麻木原因提供了影像学依据。

VR 重组能整体观察腰椎曲度、腰椎滑脱程度、无外伤病史患者的椎体横突分离骨折、椎间隙情况。VR 特殊模板对腰椎滑脱患者手术后复查有一定价值, 不仅可以观察到手术效果, 还可以观察到螺钉位置、方向以及螺钉是否松动, 是评价手术成功与否的有效方法之一(图 4)。

综上所述, MSCT 一站式重组能够准确地显示更多的腰椎疾病相关的影像征象, 为临床诊断提供了更有价值的影像信息, 并且降低了患者的检查费用及放射辐射损伤。因此, 我们建议推广, 在临床拟诊腰椎病时采用 MSCT 容积扫描, 再进行椎间盘批处理及 VR、MPR 等一站式重组。

参考文献

- [1] 张云亭, 袁聿德. 医学影像检查技术学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 96-97.
Zhang YT, Yuan YD. Medical imaging technology[M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2008: 96-97.
- [2] 白人驹, 张学林. 医学影像诊断学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 594-595.
Bai RJ, Zhang XL. Medical imaging diagnostics[M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2008: 594-595.
- [3] Libson E, Bloom RA, Dinari G, et al. Oblique lumbar spine radiographs: Importance in young patients[J]. Radiology, 1984, 151(1): 89-90.
- [4] 王玲, 郭英辉, 朱少成, 等. 腰椎多层螺旋 CT 容积扫描的临床应用[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(1): 1137-1142.
Wang L, Ge YH, Zhu SC, et al. Clinical application of multi-slice helical CT volumetric scanning in lumbar spine[J]. Chinese Journal of Radiology, 2008, 42(11): 1137-1142.
- [5] 陈州甫, 龚静山, 冯穗青. 螺旋 CT 三维重建对颈椎病诊断的应用价值[J]. 海南医学, 2005, 12(12): 34-35.
Chen ZP, Gong JS, Fen SQ. Three-dimensional reconstruction of spiral CT diagnosis of cervical application value[J]. Hainan Medical Journal, 2005, 12(12): 42-43.
- [6] 郑雷, 刘禄明, 都基权, 等. 64 层螺旋 CT 多平面重组和容积再现对肘关节损伤的临床应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2010, 29(1): 80-85.
Zheng L, Liu LM, Du JQ, et al. Clinical application of multiplanar reconstruction and volume

rendering with 64-row helical CT in the injury of elbow-joint[J]. Journal of Clinical Radiology, 2010, 29(1): 80-85.

[7] 邵国富, 龚建平, 包仕尧, 等. 颈椎病的三维CT表现(英文) [J]. 神经疾病与精神卫生, 2004, 4(3): 182-184, 187.
Shao GF, Gong JP, Bao SY, et al. The 3D CT manifestation of cervical spondylopathy[J]. Nervous Diseases and Mental Health, 2004, 4(3): 182-184, 187.

[8] 胡少平, 宋淮, 周立强. 螺旋CT MPR重建对退行性腰椎管狭窄的诊断价值及临床意义[J]. CT理论与应用研究, 2009, 18(3): 85-90.
Hu SP, Song H, Zhou LQ. Application of the spiral CT scan with MPR reconstruction in the degenerative lumbar spinal stenosis clinical diagnosis[J]. CT Theory and Applications, 2009, 18(3): 85-90.

[9] 李支红, 郭建国. 螺旋CT三维重建在腰椎创伤性骨折中的应用价值[J]. CT理论与应用研究, 2007, 16(2): 71-74.
Li ZH, Guo JG. Application value of 3-D reconstruction with spiral CT in lumbar trauma[J]. CT Theory and Applications, 2007, 16(2): 71-74.

[10] 林井副, 李燕英, 王占宇, 等. 腰神经根CT多平面重组同层显示的解剖学特征及临床价值探[J]. 中华放射学杂志, 2007, 41(6): 645-649.
Lin JF, Li YY, Wang ZY, et al. Features and clinical values of normal lumbar nerve root anatomy with CT on multiple plane reconstruction techniques at the same slice[J]. Chinese Journal of Radiology, 2007, 41(6): 645-649.

MSCT One-stop Recombination in Lumbar Disease Diagnosis Application Value

ZHANG Hai-bo, HU Xi-yao[✉], FU Chuan-ming, XU Lin, WANG Kai-hua

Department of Radiology, Affiliated Taihe Hospital,
Hubei Medical Colledge, Shiyan 442000, China

Abstract: Objective: To evaluate multi-slice spiral CT (MSCT) in lumbar-stop re-diagnosis of clinical value. Methods: GE's 16-slice spiral CT (Light speed 16) of 50 patients with clinical diagnosis of lumbar disc patients were routine lumbar CT scan and volume scan; in AW4.2 workstation will simulate the CT volume scans regular waist restructuring and one-stop re-scan the disc (including VR, MPR, CPR). The more conventional analog conventional lumbar disc lumbar disc scan and sweep and stop re-structuring of the lumbar lordosis, lumbar vertebral hyperostosis, intervertebral joint abnormalities, bony spinal stenosis, abnormal transverse and transverse foramen, the vertebral space narrowing, lateral recess stenosis, vertebral Hsu nodules or damage, disc abnormalities, paraspinal soft tissue abnormalities, nerve root compression, the degree of spondylolisthesis, posterior longitudinal ligament and yellow ligament show signs of calcification and other related capabilities. Results: The posterior longitudinal ligament and yellow ligament calcification, nerve root compression, disc abnormalities, intervertebral joint abnormalities, lateral recess stenosis, paraspinal soft tissue abnormalities, abnormal transverse and transverse holes in the conventional analog conventional scan and lumbar disc lumbar disc restructuring and one-stop re-scan on the three good agreement, no significant difference ($P > 0.05$); lumbar lordosis, lumbar vertebral bone hyperplasia, nodules or vertebral destruction Hsu, spondylolisthesis the degree of spinal stenosis in a routine bone scan and simulation of conventional lumbar disc lumbar disc scanning is also on

the restructuring has good consistency, but there are significant differences and one-stop restructuring ($P < 0.05$). Conclusion: MSCT volume scan can accurately show the reorganization of one-stop for more images of lumbar spine disease-related signs, for clinical diagnosis of more valuable image information, and reducing the inspection cost and radiation in patients with radiation damage.

Key words: MSCT; image processing; computer-assisted; lumbar vertebra; spinal diseases



作者简介: 张海波 (1976—), 男, 湖北医药学院附属太和医院放射影像中心主管技师, 从事影像技术工作, Tel: 13508673184, E-mail: cmhqxy@126.com; 胡熙耀[✉] (1978—), 男, 湖北医药学院附属太和医院针灸科主管技师, 从事理疗按摩, Tel: E-mail: huyaoxi@126.com。

CT 理论与应用研究