

双源 CT 单能谱成像技术在骨折金属固定术后的应用

周长圣 郑玲 张龙江 罗松 赵艳娥 陈新 卢光明

【摘要】 目的 探讨双源 CT 单能谱成像技术在骨折金属固定术后的应用价值。**方法** 29 例因骨骼病变行金属固定术的患者共有金属固定 36 处,其中金属外固定 11 处,均为胫腓骨外固定;内固定 25 处,包括颈椎内固定 10 处,腰椎内固定 4 处,胫腓骨内固定 8 处,尺桡骨内固定 3 处。对患者行双能量 CT 扫描后,用双能量软件内的单能谱技术(Monoenergetic)处理,分为 40、70、100、130、160、190 keV 的 6 组图像;由 2 名有经验的放射诊断医师分别对上述 6 组图像和平均加权 120 kV 图像按照 4 分法进行图像质量评分。评价标准:1 分为金属伪影严重,不能评价;2 分为金属伪影少许,尚可评价;3 分为无明显金属伪影,骨质结构显示良好;4 分为无金属伪影,图像优秀。采用 Kruskal-Wallis 检验分别对全部金属固定和金属内、外固定患者在不同 keV 条件以及平均加权 120 kV 的图像质量进行统计学分析。**结果** 对全部金属固定物,单能谱 CT 图像 3 分及以上者为 25 处,而 120 kV 图像 3 分及以上者为 4 处,双能量 CT 的单能谱技术改善了骨折金属固定术后 CT 的图像质量(F 值 = 116.487, $P < 0.01$)。对于金属内固定术,单能谱 70 keV 图像 3 分及以上者为 25 处,100 keV 图像为 12 处,70 keV 可提供最佳的图像质量(F 值 = 122.149, $P < 0.01$),而对于金属外固定,130 keV 可提供最佳的图像质量,3 分及以上者 9 处(F 值 = 60.902, $P < 0.01$)。**结论** 双源 CT 单能谱成像技术改善了金属固定术后 CT 检查的影像质量;金属内固定 CT 复查采用 70 keV,金属外固定 CT 复查采用 130 keV 进行图像重组可获得最佳图像质量。

【关键词】 体层摄影术, X 线计算机; 骨折; 内固定器; 外固定器

Monoenergetic imaging of dual energy CT in the evaluation of metal fixation of fractures ZHOU Chang-sheng, ZHENG Ling, ZHANG Long-jiang, LUO Song, ZHAO Yan-e CHEN Xin, LU Guang-ming. Department of Medical Imaging, Nanjing General Hospital of Nanjing Military Command, Nanjiang 210002, China

Corresponding author: LU Guang-ming, Email: cjr.luguangming@vip.163.com

【Abstract】 Objective To evaluate monoenergetic imaging of dual energy CT in the visualization of metal fixation of fractures. **Methods** In total, 29 patients with fractures underwent 36 metal fixations, including 11 external fixations implanting in tibiofibula ($n = 11$) and 25 internal fixations (cervical spine, $n = 10$; lumbar spine, $n = 4$; tibiofibula, $n = 8$; radial bone, $n = 3$). They were recruited into this study. After dual energy CT scan, monoenergetic software was used to post-process with the following 6 photon energies: 40, 70, 100, 130, 160, 190 keV. Two radiologists evaluated and rated the reformatted images with 6 different photon energies and average weighted 120 kV images according to the following 4-score scale. Score 1: nonassessable, with marked artifact; score 2: assessable, moderate artifact; score 3: good, mild artifact, good visualization of bony structures; score 4: excellent, no artifact. Kruskal-Wallis was used to perform statistical analysis of image quality for total fixations, external and internal fixations with various selective keV settings and average weighted 120 kV. **Results** For total fixations, monoenergetic imaging of dual energy CT has 25 fixations with score 3 and 4, but 120 kV has only 4 fixations with score 3 and 4. Monoenergetic imaging of dual energy CT improved image quality of fractures with metal fixation compared to average weighted 120 kV images ($F = 116.487$, $P < 0.01$). Images of 130 keV had the best image quality for external metal fixation (9 fixations with score 3 and 4, $F = 60.902$, $P < 0.01$), while 70 keV was best for internal metal fixation ($F = 122.149$, $P < 0.01$). **Conclusions** Monoenergetic imaging of dual energy CT improves image quality of fractures with metal fixation. Reformatted images at 70 keV and 130 keV have

the optimal image quality for internal and external metal fixation, respectively.

【Key words】 Tomography, X-ray computed; Fracture; Internal fixators; External fixators

随着骨伤科金属固定材料和手术技术的日益成熟,该技术在骨伤科得到了很大的普及和应用。对金属固定术后骨折对位对线情况的观察需要利用影像学技术来完成,X线平片是术后复查的主要手段,但由于其2D成像的本质,影像前后重叠常常无法准确判断螺钉准确部位。以往CT检查时常由于明显的线束硬化伪影而影响对手术区精细解剖结构的观察,3D重组技术对内固定显示方面有了一定的进步,主要的优势在于能够显示金属固定物的形态和结构,对于术区结构的观察仍然受到很大限制。双能量CT已经用于全身不同病变的检测^[1-4],最近开发的双源CT单能谱成像技术有望改善骨折金属内固定术后的影像质量。本研究的目的是评价该技术在骨骼病变金属固定术后的应用价值。

资料与方法

1. 一般资料:2010年6月共29例行金属固定术后的患者纳入本研究,其中男17例,女12例,年龄19~65岁,平均(35±12)岁,共有金属固定36处,24例患者为单处金属固定,另5例患者有12处金属固定,其中1例为右侧胫、腓骨内固定合并左侧胫腓骨外固定(3处),3例为下肢胫、腓骨均行金属内固定共6处,1例为尺、桡骨均行金属内固定,且桡骨近段及远段2处内固定(3处)。36处金属固定中,金属外固定11处,均为胫腓骨外固定;金属内固定25处,其中颈椎内固定10处,腰椎内固定4处,胫腓骨内固定8处,尺桡骨内固定3处。

2. 双源CT检查与参数:所有患者均在双源CT机(Somatom definition)上进行。首先常规扫描定位像,扫描范围包括整个金属固定范围,双能量扫描参数:X线A管电压140 kV,参考管电流86 mA,X线B管电压80 kV,参考管电流468 mA,开启实时动态曝光剂量调节(CARE Dose 4D),准直器64×0.6 mm,螺距0.8,X线管旋转时间0.5 s/周,融合系数为0.3(即70%的信息来自140 kV数据,30%的信息来自80 kV数据),自动重建层厚为0.75 mm、重建间隔0.5 mm和层厚5 mm、重建间隔5 mm的2个系列图像,每个系列图像均得到3组数据(140、80 kV及平均加权120 kV数据)。卷积核为D30f,骨窗,窗宽400 HU,窗位1500 HU。辐射剂量:长度乘积(DLP)为36~160 mGy·cm。

3. 影像重组及分析:扫描完成后,将自动重组数据(140、80 kV及平均加权120 kV数据)传输至工作站(Syngommvvp VE36A),其中平均加权120 kV数据常规用于诊断和摄片。将平均加权120 kV(融合系数为0.3)的薄层数据联合利用3D、Inspace软件进行影像重组,包括MPR、VR等,将双能80与140 kV数据调入双能量软件内,启用应用程序内的单能谱(Monoenergetic)软件处理。双源CT单能谱成像所使用的管电压是80和140 kVp,2个X线管所采集的数据不同,通过特殊计算可以得到不同keV下的图像(图1)。通过调整图像对比度浮动条调节光子能量,软件所提供的光子能量范围为40~190 keV,分别以40、70、100、130、160、190 keV的光子能量进行图像处理,以同前述的影像重组方法对上述光子能量的图像进行重组。由2名有经验的放射诊断医师分别对上述6组不同光子能量的图像及平均加权120 kV图像,采用4分法独立进行图像质量评分,意见不一致时协商决定。评价标准^[5]:1分,金属伪影严重,周围骨质不能评价;2分,金属伪影少许,周围骨质尚可评价;3分,无明显金属伪影,骨质结构显示良好;4分,无金属伪影,周围骨小梁显示清晰,图像优秀(图2~5)。

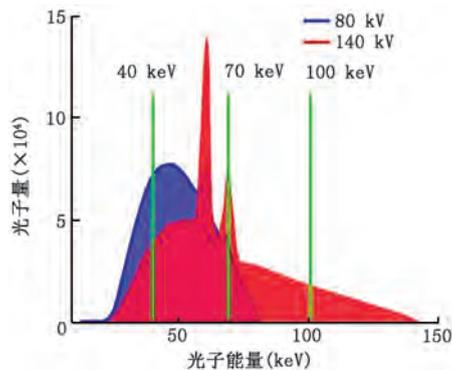


图1 不同光子能量下管电压条件为80及140 kV时X线光子能量分布图

4. 统计学分析:所有统计学处理均利用SPSS 13.0版本进行。计量资料均以 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料以率或百分比表示。利用Kruskal-Wallis检验分别对全部金属固定和金属内、外固定患者在不同keV条件以及平均加权120 kV的图像质量进行统计学分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。



图 2~5 图像质量评分标准。图 2 为 1 分,图像质量差,金属伪影严重,周围骨质不能评价;图 3 为 2 分,图像质量一般,金属伪影少许,周围骨质尚可满足评价;图 4 为 3 分,图像质量优良,无明显金属伪影,骨质结构显示良好;图 5 为 4 分,图像质量优秀,无金属伪影,周围骨小梁显示清晰

结 果

表 1 列举了 36 处骨折金属固定术后不同光子能量下重组图像不同图像质量的比率、平均加权 120 kV 图像评分以及应用秩和检验后对应的秩次和统计值。从表 1 可以看出,双能量 CT 的单能谱技术改善了骨折金属固定术后 CT 的图像质量(最佳图像评分在 70 keV, 3 分及以上者 25 例,而平均加权 120 kV 图像 3 分及以上者仅 4 例),对于金属内固定术而言,70 keV 可提供最佳的图像质量,所有 25 例金属内固定处的图像评分均在 3 分及以上;而对于金属外固定而言,130 keV 可提供最佳的图像质量,9 处图像评分在 3 分及以上。

讨 论

1. 单能谱技术的原理:双能量 CT 技术近年来成为 CT 研究的热点,在诸多领域,如肺栓塞、颅内动脉瘤检测方面体现出其优势^[1-7]。目前主要有 3 种能谱成像技术,分别是双源 CT、单源 CT 的快速千伏切换技术及“三明治”式探测器技术^[5-8]。双源 CT 双能量成像所使用的管电压条件是 80 和 140 kV 2 种不同能量的 X 线进行数据采集,由于 X 线的衰

减决定于 X 线的能量,当用 80 和 140 kV 的 X 线对同一组织进行扫描时的 X 线衰减不同,被扫描组织的 X 线衰减也会不同。金属固定物对低能量 X 线的衰减系数最大,在高能量 X 线条件下,其衰减系数就减少了 50% 以上^[2,5-9]。双源 CT 单能谱技术即利用了 X 线的此种特性,利用 2 个 X 线管及探测器所产生的数据通过特殊计算后得到不同 keV 下的图像。

2. 在骨折金属固定术后的价值:X 线通过高密度的金属时会被大量吸收,发生了严重的衰减现象,金属固定术后 CT 扫描成像后会产生金属放射状伪影。尽管低窗位、高窗宽原则有助于降低金属伪影,但这远远不足以去除线束硬化伪影,严重影响了 CT 在骨折金属固定术的价值,常常需要求助于特殊的三维重组技术,但这些技术常对骨折部位的解剖细节显示不够。双能量 CT 减少线束硬化伪影灶在 20 多年前就有报道^[10],但鉴于当时 CT 设备软硬件的不足,该技术并没有获得广泛的应用。笔者评价了双能量 CT 单能谱技术在 29 例患者 36 处金属固定术后的应用价值,结果显示双能量 CT 的单能谱技术能够改善骨折金属固定术后 CT 的图像质量,其提供的解剖细节足以满足骨科医师对患者治疗效

表 1 不同光子能量条件对 36 处骨折金属固定术后图像质量的比较(处)

能量(keV)	全部金属固定					金属外固定					金属内固定				
	1分	2分	3分	4分	秩次	1分	2分	3分	4分	秩次	1分	2分	3分	4分	秩次
40	33	3	0	0	31.8	11	0	0	0	10.0	22	3	0	0	21.5
70	9	2	20	5	167.7	9	2	0	0	12.9	0	0	20	5	153.0
100	0	21	15	0	159.3	0	8	3	0	46.5	0	13	12	0	110.8
130	0	18	17	1	168.4	0	2	8	1	62.1	0	16	9	0	102.2
160	0	35	0	1	121.6	0	10	0	1	39.0	0	25	0	0	76.5
190	5	30	1	0	107.7	0	10	1	0	39.0	5	20	0	0	64.0
120 ^a	0	32	4	0	129.0	0	11	0	0	39.0	0	21	4	0	87.9
χ^2 值	116.487					60.902					122.149				
P 值	<0.010					<0.010					<0.010				

注:^a 为平均加权 120 kV 数据

果、并发症及预后的评价。笔者还优化了不同光子能量对单能谱技术重组后图像质量的影响,结果显示对于金属内固定术而言,70 keV 可提供最佳的图像质量,而对于金属外固定而言,130 keV 可提供最佳的图像质量。然而本组患者数量相对较少,还需要进一步搜集大组资料对本研究的结论进行验证。

双能量 CT 扫描相对于常规单能量 CT 扫描并没有明显增加患者的辐射剂量。张龙江等^[11]比较了双能量 CT 和单能量 CT 扫描的辐射剂量,他们在肺动脉期采用了双能量模式扫描,而将静脉期设置为对照组进行单能量 CT 扫描,之后对 2 组的辐射剂量进行了比较,结果显示,双能量模式扫描较常规 CT 扫描的辐射剂量明显降低,DLP 大约降低了 12.4%。本研究基于尽可能低的辐射剂量原则,在所有研究对象中只采用了双能量 CT 扫描,显示的 DLP 为 36 ~ 160 mGy · cm。

总之,双源 CT 单能谱成像技术能够显著提高金属固定术后 CT 复查的影像质量,金属内固定 CT 复查采用 70 keV,金属外固定 CT 复查采用 130 keV 进行重组可获得最佳的图像质量,推荐在临床实际中应用。

参 考 文 献

[1] 卢光明. 积极开拓双源 CT 的临床应用范围. 中华放射学杂

志, 2008, 42:117-118.

- [2] 张宗军, 卢光明. 双源 CT 及其临床应用. 医学研究生学报, 2007, 20:416-418.
- [3] 傅强, 赵宇冷, 仁利, 等. 矫形金属植入物 CT 扫描技术的初步经验. 放射学实践, 2007, 22:531-533.
- [4] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience. Eur Radiol, 2007, 17: 1510-1517.
- [5] 张龙江, 卢光明, 黄伟, 等. 双源 CT 双能量肺灌注成像的初步观察. 中华放射学杂志, 2008, 42: 1183-1186.
- [6] Zhang LJ, Zhao YE, Wu SY, et al. Pulmonary embolism detection with dual-energy CT: experimental study of dual-source CT in rabbits. Radiology, 2009, 252:61-70.
- [7] Zhang LJ, Wu SY, Niu JB, et al. Dual energy CT angiography for the evaluation of intracranial aneurysms; image quality, radiation dose, and comparison with 3D rotational digital subtraction angiography. AJR, 2010, 194: 23-30.
- [8] Schoellnast H, Deutschmann HA, Berghold A, et al. MDCT angiography of the pulmonary arteries; influence of body weight, body mass index, and scan length on arterial enhancement at different iodine flow rates. AJR, 2006, 187:1074-1078.
- [9] Fletcher JG, Takahashi N, Hartman R, et al. Dual-energy and dual-source CT: is there a role in the abdomen and pelvis. Radiol Clin N Am, 2009, 47:41-57.
- [10] Hemmingsson A, Jung B, Ytterbergh C. Dual energy computed tomography: simulated monoenergetic and material-selective imaging. J Comput Assist Tomogr, 1986, 10:490-499.
- [11] 张龙江, 赵艳娥, 周长圣, 等. 双源 CT 双能量肺灌注参数优化的研究. 中国临床医学影像学杂志, 2009, 20: 693-696, 704.

(收稿日期:2010-08-17)

(本文编辑:隋行芳)

第六届全国乳腺影像诊断与新技术研讨会征文通知

由《中华放射学杂志》编辑部主办,上海交通大学附属第一人民医院(上海市第一人民医院)承办的第六届全国乳腺影像诊断与新技术研讨会将于 2011 年 8 月 19 至 22 日在上海举行。会议将安排国内著名影像学专家、学者进行乳腺影像诊断新进展专题学术讲座和大会交流,并将举行乳腺 X 线摄影读片测试及讲评会(Workshop)。本次研讨会为国家级继续教育项目,授予国家级 I 类继续教育学分。现开始征文,具体要求如下:

1. 征文范围:本次研讨会的主题是乳腺影像诊断技术基础知识、基本理论和基本技能,包括乳腺的解剖组织学、乳腺疾病的临床病理学、乳腺 X 线常规摄影及图像质量控制、乳腺 X 线摄影正常表现及实质背景分型、乳腺 X 线摄影基本征象、乳腺 MR 的常规成像技术、乳腺 MRI 基本征象、乳腺彩色超声成像基本理论和检查适应证、乳腺影像报告和数据系统(BI-RADS)简介等。凡未在正式出版物上公开发表的有

关乳腺影像表现内容的各类论文和病例报告均可投稿。

2. 征文要求:来稿论文不超过 4000 字,务必含 1000 字左右的结构式摘要(包括:目的、方法、结果和结论四要素)。入选论文将编入会议《论文汇编》,优秀论文将推荐在《中华放射学杂志》上发表。欢迎广大同仁踊跃投稿和参加会议。请用 Email 投稿,主题请注明“乳腺研讨会”,凡收到 Email 投稿后均会予以回复,Email 投稿地址:renxl@cma.org.cn 或 cjr.renxiaoli@vip.163.com。来稿请务必注明作者单位、邮编、姓名、电话及其他确切联系方式。请自留底稿,恕不退稿。截稿日期:2011 年 6 月 30 日。

具体事宜联系人:张晓冬,电话:010-85158292, Email: cjr.zhangxd@vip.163.com。任晓黎,电话:010-85158290, Email:cjr.renxiaoli@vip.163.com。

(大会组委会)