

·综述 General review·

C 臂 CT 在介入诊疗中的应用

肖运平, 肖恩华

【摘要】 C 臂 CT 是平板探测器数字减影血管造影系统的一种新技术,在介入室同一工作床上能提供透视、摄影、DSA 及容积 CT 成像,已在血管性及非血管介入诊疗中开始发挥其独特作用,本文介绍 C 臂 CT 在介入诊疗应用中的潜力、限度与前景。

【关键词】 C 臂 CT; 放射摄影术, 介入性; 临床应用

中图分类号:R445.4 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2011)-03-0249-04

Application of C-arm computed tomography in interventional radiology XIAO Yun-ping, XIAO En-hua. Department of Radiology, the Fifth Affiliated Hospital of Guangxi Medical University, Liuzhou 545006, China

Corresponding author: XIAO Yun-ping

【Abstract】 Recently, C-arm computed tomography (CT), as a new technology of flat detector digital subtraction angiography (DSA) system, has been applied in both vascular and no-vascular interventional procedures. This imaging unit provides the functions of radiography, fluoroscopy, DSA and volumetric CT imaging in a single patient setup, within the interventional suite. This article aims to describe its potentiality, limitation and prospect in clinical practice. (J Intervent Radiol, 2011, 20: 249-252)

【Key words】 C-arm computed tomography; radiography, interventional; clinical application

C 臂 CT(C-arm computed tomography)是平板探测器 DSA 系统的一种特殊新功能,国内外尚无统一的命名,文献亦称之为 C 臂锥束 CT、锥束容积 CT、血管造影 CT、C 臂平板探测器 CT、平板容积 CT 等。不同的厂家对该技术也有不同的称呼,如:Innova CT、Dyna CT、Xper CT 等^[1]。这一技术成功地将三维断层图像应用到 DSA 系统上,不需转移受检者,在介入室同一工作床上能提供透视、摄影、DSA 及容积 CT 成像。在介入诊疗过程中,C 臂 CT 能帮助医师进行诊断、制订手术计划、完成介入诊疗过程,即时评估介入治疗效果,判断有无并发症发生。

1 C 臂 CT 的原理

C 臂 CT 技术是 DSA 旋转技术与计算机重建技术相结合的产物。它利用 C 臂的旋转和平板探测器的采集,通过计算机重组,在获得血管三维影像的

同时也获得 C 臂软组织 CT 影像。在 X 线利用率及重建影像的空间分辨率、各向同性等方面有着极大的优越性^[2]。C 臂 CT 和普通 CT 的采集方式有很多相同之处:①都是绕体轴旋转采集;②现在的 CT 检测器已发展到 640 排之多,而新的 C 臂系统配的平板检测器可以说是上千排的检测器;③都配有成像的计算机系统,只是算法不同。不同的是,C 臂 CT 技术是用三维锥形束 X 线扫描代替普通 CT 的二维平行束或扇形束扫描,同时采用面阵探测器来代替点状或线状探测器采集^[1]。以飞利浦 Allura Xper FD20 DSA 机为例,平板探测器大小为 30 cm × 40 cm, C 臂 CT 扫描可覆盖 225 cm × 225 cm × 185 cm 大小的空间范围。扫描时间取决于采集的图像多少和速度,可为 5 s、10 s 或 20 s;C 臂系统单次旋转 240°,以 30 或 60 帧/s 的速度可采集 310 或 620 幅图像,旋转扫描获得的容积数据传至后处理工作站进行约 90 s 的重建,直接得到 0.4 mm 各向同性的三维容积图像,新的容积重建需 3 min 左右。C 臂 CT 除了可以获得横断面、冠状面、矢状面等多平面重建(MPR)影像外,还可进行容积再现(VR)、最大密度投影(MIP)和遮蔽表面显示等后处理技术。C 臂 CT

基金项目:广西壮族自治区卫生厅科研课题(Z2008411、Z2009310);湖南省自然科学基金(06JJ20081);广西柳州市应用技术与开发计划课题(201003718)

作者单位:545006 广西柳州 广西医科大学第五附属医院放射科(肖运平);中南大学湘雅二医院放射科(肖恩华)

通信作者:肖运平

重组算法可分为精确重组算法、滤波反投影重组算法和迭代重组算法,临床应用工作中通常采用以 FDK(Feldkamp, Davis and Kress)算法为代表的滤波反投影重建算法。

2 C 臂 CT 在介入诊疗中的应用

2.1 C 臂 CT 在血管性病变介入诊疗中的应用

在动脉瘤的介入治疗中,普通 DSA 仅能显示病变血管的残腔,不能显示腔内血栓情况,而 C 臂 CT 能清晰地显示动脉瘤及其腔内是否有附壁血栓形成^[3]。Struffert 等^[4]通过对比评价静脉途径注入对比剂行 C 臂 CT 血管造影(C 臂 CTA)、MSCTA 及动脉内血管造影(IADSA)3 种方法对颈动脉瘤动物模型的显示,虽然 C 臂 CT 的软组织分辨率有限,但注入对比剂增强的血管结构与周围组织形成足够对比,由于有更优的空间分辨率,C 臂 CTA 对血管结构的显示优于 MSCTA。动脉瘤弹簧圈填塞后填塞程度的评估是指导治疗的关键环节之一,DSA 及透视仅能显示弹簧圈在动脉瘤内,不易观察其全貌,C 臂 CT 可以任意角度重建,清晰地观察弹簧圈在瘤内情况、弹簧圈间的空隙是否有对比剂进入、瘤腔是否被良好填塞等。Akpek 等^[5]报道颈动脉瘤动物模型栓塞后利用 C 臂 CT 检查,可清晰显示瘤内栓塞材料及栓塞材料与颈动脉腔的关系等。

在血管内支架植入术中,C 臂 CT 能显示血管内支架张开后贴壁、支架网眼张开情况及有无内痿发生,更利于即刻采取有效措施进行检查补救,以减少并发症的发生^[6];Benndorf 等^[7]利用 C 臂 CT 观察基底动脉内植入的 Neurform 支架在弯曲状的载瘤动脉内贴壁和网眼的开放情况,对颅内小支架的显示优于 DSA 和数字化 X 线摄影,以此改进颅内支架植入的疗效和安全性。Eide 等^[8]利用 C 臂 CT 对 9 例腹主动脉瘤患者行内支架植入术,所有患者能准确测量动脉瘤的直径,完全显示治疗后的主动脉及髂动脉的长度,8 例获得成功(另 1 例因过度肥胖致 C 臂无法旋转而失败),无一例发生并发症。

脑血管病介入诊疗并发症的早期诊断和治疗是关系神经介入手术成败的一个重要环节。过去往往需要将怀疑脑出血或脑血栓的患者搬运至 CT 室进行检查,这不仅在送检途中易发生危险,而且还会延迟最后确诊和抢救治疗的时间。利用 C 臂 CT 不出 DSA 室就可立观察到有无脑出血情况,既保证了手术的安全又为并发症治疗争取了时间,降低了并发症对脑组织的损害^[9]。尽管 C 臂 CT 的软组织

成像没有普通螺旋 CT 显示清楚、细致,对少量的蛛网膜下腔出血和脑室枕角出血显示欠佳,但能可靠地显示脑实质及破溃脑室内的出血^[10]。C 臂 CT 一次扫描成像就能得到脑软组织及血管成像影像,减少了放射剂量及检查次数,亦可延伸 C 臂 CT 的作用对急性脑卒中患者进行筛选,是神经介入治疗非常重要的工具^[11]。

2.2 C 臂 CT 在肿瘤血管内介入诊疗中的应用

增强 C 臂 CT 可清晰显示肿瘤的供血血管、肿瘤血管及侧支循环,提高微小肿瘤病灶及异常病变的检出率,有利于介入手术方案的制订及术中定位,指导医师在 TACE 中超选择性插管,提高复杂肿瘤介入操作的安全性和疗效。Meyer 等^[12]对 15 例富血供肝脏恶性肿瘤在 TACE 前行插管下肝动脉、门静脉双相 C 臂 CT,与术前 MSCT 比较,对肝脏病灶的检测有很高的灵敏度。Meyer 等^[13]前瞻性研究表明在肝肿瘤 TACE 中 C 臂 CT 能更准确地确定导管的理想位置,联合 C 臂 CT 及 DSA 影像信息比单纯评价 DSA 影像后确定介入治疗方案,50%TACE 病例导管位置更为精确,从而建议肝脏肿瘤患者在首次 TACE 中常规使用 C 臂 CT 协助定位导管位置。Vogl 等^[14]对 31 例(53 个病灶)胸部恶性肿瘤在经动脉化疗栓塞前行增强 C 臂 CT 检查,能显示病灶的血流灌注及增强范围,以预测碘油沉积情况判定介入治疗效果;在肿瘤的经动脉灌注化疗中能显示肋间动脉,30%病例导管位置重新调整,认为 C 臂 CT 能更精细提供肿瘤血管特征及灌注情况,从而导致介入治疗策略的改变。Wallace 等^[15]回顾性分析 135 例肝脏恶性肿瘤行血管内介入治疗中辅助使用 C 臂 CT 的情况,显示 C 臂 CT 检查能在常规 DSA 基础上提供更多(约 60%)影像信息,这些更多的信息影响介入操作占有所有病例的 19%,特别是在行 TACE 时更有价值。

2.3 C 臂 CT 在非血管介入诊疗中的应用

在非血管性介入诊疗中,术前穿刺路径的良好设计和术中穿刺针的准确判断是完成非血管介入治疗的关键。CT 监测虽可以准确地判断穿刺针的位置和注射药物的分布,但由于扫描架的干扰,操作不便或不能适应介入治疗全程监测的需要,不能作为常规监测手段,术中在介入室与 CT 室之间搬移患者会增加手术风险或加重患者的痛苦,单纯透视引导则有时不能准确判断针尖和周围组织器官的关系。通过透视观察和 C 臂 CT 检查,可获得更多的信息,有利于多层次、多角度的穿刺路径设计,实时监

控下穿刺和注药,避免穿刺导致的损伤和药物泄漏。Tam 等^[16]用 C 臂 CT 三维导航技术对 10 例(13 个椎体)肿瘤患者行单侧非椎弓根入路胸腰椎椎体成形术,通过准确测量穿刺三维路径距离,安全、准确地到达穿刺目标注入骨水泥,在椎体成形术后立即行 C 臂 CT 检查可从不同的角度详细了解骨水泥的分布和弥散状态。刘碧玉等^[17]在 C 臂 CT 引导下对 127 例患者行非血管介入诊疗,在骨关节系统成功率较高,C 臂 CT 图像质量能满足介入诊疗的需要,均能成功引导完成介入手术。国内有学者应用 DSA 结合 C 臂 CT 重建对 21 例肺占位性病变制定准确穿刺方案,引导体表区域定位经皮肺穿刺活检术定位准确,操作简便,安全性高^[18]。Nanashima 等^[19]在 PTCD 及胆道支架植入术中应用 C 臂 CT 行三维胆道造影能提供胆道准确的三维影像及肿瘤侵犯范围,有利于胆道支架的顺利、准确放置。曾庆乐等^[20]应用 C 臂 CT 术中实时和术后即时监视下对 10 例明显呼吸困难的气管严重狭窄患者行气管支架植入术,认为 C 臂 CT 可作为术中实时和术后即时评估支架植入情况的依据。

3 C 臂 CT 在介入诊疗中的限度与挑战

3.1 目前 C 臂 CT 的应用限度

C 臂 CT 检查应用于临床时间短,尚存在一定的缺点:①手术时间延长。术中使用 C 臂 CT 检查,延长了操作时间和患者的 X 线照射量。而 Orth 等^[21]认为谨慎地使用 C 臂 CT 可能因为关键的诊断影像信息避免了过度的透视,从而导致实际患者所受的剂量降低。②伪影干扰。C 臂旋转采集速度慢,胸腹部旋转采集时,对患者屏气配合的要求高,否则易形成呼吸伪影。由于 C 臂 CT 单次旋转 Z 轴方向厚度达 18 cm,明显增加的容积影像导致了散射剂量明显增大,从而导致条纹和瓦形弯伪影,直接影响图像质量^[22]。另外,高密度的对比剂、碘油、导管或金属支架等可产生较多的放射状伪影。③受密度的对比度影响较大。组织间密度相差越大,对比度越好则图像越好。目前 C 臂 CT 能显示背景密度相差 5 Hu 的影像,稍微低于 MSCT 鉴别背景密度差别 3 Hu 的能力,主要是由于平板探测器增多的散射线和较少的动态显示范围所致^[23]。④采样范围和数据量受限。由于数字平板的动态特性较 CT 探测器还有不少差距,所以其取样频率较低,限制了 C 臂 CT 的时间分辨率、采样范围和采集的原始数据量,因此图像质量也与 MSCT 有相当的差距,只能作为位

置参考图像而不是常规诊断图像^[21]。目前 C 臂 CT 还不能达到标准诊断 CT 相同的图像质量。这些不足使 C 臂 CT 目前从本质上不可能挑战 MSCT 在常规影像诊断中的地位。但是,C 臂 CT 的目的不是取代 MSCT,而是在介入室得到有利于介入诊疗有用的、适当对比度的三维 CT 影像。

3.2 C 臂 CT 的辐射剂量。

相对 MSCT,CT 剂量指数(CTDI)和剂量-时间长度乘积(DLP)不适合 C 臂 CT 的剂量几何算法。C 臂 CT 缺乏普遍认同的剂量测定方法,文献中由于缺乏同等影像质量前提下的剂量对比是有限的。虽然 C 臂 CT 单次旋转的放射剂量明显少于同部位单次 MSCT^[24],然而,我们注意到文献中 C 臂 CT 的时间、图像分辨率差于 MSCT。Suzuk 等^[25]认为剂量-面积乘积有助于评估 C 臂 CT 的有效剂量。C 臂 CT 成像容积是可以由操作医师控制的,这也是决定散射量的最大单一因素,影像视野应尽可能小,操作者可以通过根据感兴趣区的解剖范围调节影像视野从而减少总的旋转角度及散射线,降低患者剂量、提高分辨率^[21]。通常,患者总的剂量是可见的,一方面,慎重地使用 C 臂 CT 可能因为关键的诊断影像信息避免了过度的透视,从而导致实际患者的剂量降低;另一方面,选择性简单使用该技术可能导致过度使用和增加患者射线量;这需要医师在实践中注意患者所受放射剂量的问题。

C 臂 CT 虽然具有较小的视野、较低的密度分辨率和时间分辨率,但其目标不是在影像诊断方面,它能提供许多专业 CT 的信息,在临床实践中发挥独特的作用,特别是在介入室即时提供三维 CT 影像,将直接提高了介入诊疗的效率。作为一项新技术,从 C 臂 CT 的临床应用到放射剂量仍然需要不断探索、总结。随着平板探测器技术、容积数据重建算法的发展以及时间分辨率的提高,将进一步提高其临床应用的范围及价值,如复杂心脏病的介入治疗等^[26]。

[参考文献]

- [1] 戚春厚,卢川,刘作勤. C 臂 CT 在介入治疗中的临床应用[J]. 国际放射学杂志, 2008, 31: 359 - 361.
- [2] Huang KM, Huang TC, Tsai CJ, et al. High-resolution gel dosimetry using flat-panel detector cone-beam computed tomography: preliminary study[J]. Appl Radiat Isot, 2010, 68: 607 - 609.
- [3] Jou LD, Mohamed A, Lee DH, et al. 3D rotational digital

- subtraction angiography may underestimate intracranial aneurysms: findings from two basilar aneurysms [J]. *AJNR*, 2007, 28: 1690 - 1692.
- [4] Struffert T, Doelken M, Adamek E, et al. Flat-detector computed tomography with intravenous contrast material application in experimental aneurysms: comparison with multislice CT and conventional angiography [J]. *Acta Radiol*, 2010, 51: 431 - 437.
- [5] Akpek S, Brunner T, Benndorf G, et al. Three-dimensional imaging and cone beam volume CT in C-arm angiography with flat panel detector [J]. *Diagn Interv Radiol*, 2005, 11: 10 - 13.
- [6] Biasi L, Ali T, Hinchliffe R, et al. Intraoperative Dyna CT detection and immediate correction of a type Ia endoleak following endovascular repair of abdominal aortic aneurysm [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2009, 32: 535 - 538.
- [7] Benndorf G, Claus B, Strother CM, et al. Increased cell opening and prolapse of struts of a neuroform stent in curved vasculature: value of angiographic computed tomography: technical case report [J]. *Neurosurgery*, 2006, 58 (4 Suppl 2): ONS - E380.
- [8] Eide KR, Odegard A, Myhre HO, et al. Initial observations of endovascular aneurysm repair using Dyna-CT [J]. *J Endovasc Ther*, 2007, 14: 50 - 53.
- [9] Struffert T, Doerfler A. Flat-detector computed tomography in diagnostic and interventional neuroradiology [J]. *Radiology*, 2009, 49: 820 - 829.
- [10] Struffert T, Eyupoglu IY, Huttner HB, et al. Clinical evaluation of flat-panel detector compared with multislice computed tomography in 65 patients with acute intracranial hemorrhage: initial results. Clinical article [J]. *J Neurosurg*, 2010, 113: 901 - 907.
- [11] Kamran M, Nagaraja S, Byrne JV. C-arm flat detector computed tomography: the technique and its applications in interventional neuro-radiology [J]. *Neuroradiology*, 2010, 52: 319 - 327.
- [12] Meyer BC, Frericks BB, Voges M, et al. Visualization of hypervascular liver lesions during TACE: comparison of angiographic C-arm CT and MDCT [J]. *AJR*, 2008, 190: w263 - 269.
- [13] Meyer BC, Witschel M, Frericks BB, et al. The value of combined soft-tissue and vessel visualisation before transarterial chemoembolisation of the liver using C-arm computed tomography [J]. *Eur Radiol*, 2009, 19: 2302 - 2309.
- [14] Vogl TJ, Naguib NN, Nour-Eldin NE, et al. C-arm computed tomography for transarterial chemoperfusion and chemoembolization of thoracic lesions [J]. *Radiologe*, 2009, 49: 837 - 841.
- [15] Wallace MJ, Murthy R, Kamat PP, et al. Impact of C-arm CT on hepatic arterial interventions for hepatic malignancies [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2007, 18: 1500 - 1507.
- [16] Tam AL, Mohamed A, Pfister M, et al. C-arm cone beam computed tomography needle path overlay for fluoroscopic guided vertebroplasty [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2010, 35: 1095 - 1099.
- [17] 刘碧玉, 刘战胜, 黄得校, 等. Dyna-CT 引导非血管介入诊疗的价值 [J]. *中国临床医学影像杂志*, 2008, 19: 498 - 501.
- [18] 王 嵋, 朱 炯, 池嘉昌, 等. DSA Innova CT 重建在体表区域定位经皮肺穿刺活检术的应用价值 [J]. *介入放射学杂志*, 2009, 18: 862 - 864.
- [19] Nanashima A, Abo T, Sakamoto I, et al. Three-dimensional cholangiography applying C-arm computed tomography in bile duct carcinoma: a new radiological technique [J]. *Hepatogastroenterology*, 2009, 56: 615 - 618.
- [20] 曾庆乐, 李彦豪, 陈 勇, 等. Dyna-CT 在气管支架置入中的应用价值 [J]. *临床放射学杂志*, 2008, 27: 507 - 509.
- [21] Orth RC, Wallace MJ, Kuo MD. C-arm cone-beam CT: general principles and technical considerations for use in interventional radiology [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2008, 19: 814 - 820.
- [22] Siewerdsen JH, Jaffray DA. Cone-beam computed tomography with a flat-panel imager: magnitude and effects of x-ray scatter [J]. *Med Phys*, 2010, 28: 220 - 231.
- [23] Gupta R, Grasruck M, Suess C, et al. Ultra-high resolution flat-panel volume CT: fundamental principles, design architecture, and system characterization [J]. *Eur Radiol*, 2006, 16: 1191 - 1205.
- [24] Hirota S, Nakao N, Yamamoto S, et al. Cone-beam CT with flat-panel-detector digital angiography system: early experience in abdominal interventional procedures [J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2006, 29: 1034 - 1038.
- [25] Suzuki S, Furui S, Yamaguchi I, et al. Effective dose during abdominal three-dimensional imaging with a flat-panel detector angiography system [J]. *Radiology*, 2009, 250: 545 - 550.
- [26] Rieber J, Rohkohl C, Lauritsch G, et al. Application of C-arm computed tomography in cardiology [J]. *Radiology*, 2009, 49: 862 - 867.

(收稿日期:2010-07-07)