

·综述 General review·

Angio-CT 的优势及其在介入放射学中的应用

宋子阳, 邵国良

【摘要】 Angio-CT 是将血管造影和 CT 结合到同一个装置中的成像系统,其免除了在介入术中因需要进行 CT 检查而在介入手术室和 CT 室之间搬运患者。同时,Angio-CT 在介入过程中可进行快速、连续扫描,提供更为精确的术中引导,且其提供的 CT 图像较锥形束 CT(cone beam-CT)质量更好、采集速度更快、视野更大、不易受运动伪影影响。目前随着介入治疗技术的精细化程度提升,Angio-CT 在介入术中的应用越来越受到重视。本文就 Angio-CT 的功能、优点、在介入治疗中的应用进展、目前存在的不足等情况作一介绍。

【关键词】 混合血管造影; 计算机断层扫描; 肝细胞癌; 介入; 化疗栓塞

中图分类号:R730 文献标志码:A 文章编号:1008-794X(2023)-11-1138-05

The advantages of Angio-CT scanner and its application in interventional radiology SONG Ziyang, SHAO Guoliang. Zhejiang University of Traditional Chinese Medicine; Department of Interventional Therapy, Zhejiang Provincial Cancer Hospital, Hangzhou, Zhejiang Province 310053, China

Corresponding author: SHAO Guoliang, E-mail: shaogl@zjcc.org.cn

【Abstract】 Angio-CT scanner is an imaging system that combines angiography and CT into one device. The use of Angio-CT scanner can avoid to move the patients back and forth between the interventional operating room and the CT room when CT examination is required during interventional procedures. Meanwhile, during the intervention procedures, Angio-CT scanner can complete rapid and continuous CT scanning, providing more accurate and real-time intraoperative guidance. Compared with cone-beam CT, the images provided by Angio-CT have better quality, faster acquisition speed, larger field of vision and are not easily affected by motion artifacts. At present, with the increasing improvement and refinement of interventional therapy technology, the application of Angio-CT in interventional surgery has been attracted more and more attention. This paper aims to make a comprehensive review about Angio-CT scanner, focusing on its functions, advantages, application progress in interventional therapy, current existing deficiencies, etc. (J Intervent Radiol, 2023, 32: 1138-1142)

【Key words】 hybrid angiography; computed tomography; hepatocellular carcinoma; intervention; chemoembolization

1 Angio-CT 的提出和构成

Angio-CT 是一种复合成像系统,包括 CT 装置和血管造影装置。1980 年 Dixon^[1]将移动 X 机置放在 CT 机架与床之间,利用 CT 扫描和 X 线透视结合成功实施了 1 例肝脓肿的引流术,为 X 线透视与 CT 结合提供了一个雏形。日本爱知癌症中心于 1992 年提出 Angio-CT 的概念,并由东芝医疗公司

开发出产品^[2-3]。其将血管造影和 CT 扫描结合到同一个装置中,CT 安装在治疗床的前端,并可在导轨上移动。在技术上实现了 CT 和 DSA 置于同一导管室,共用一张治疗床,当介入术中患者需要 CT 扫描时不需要在介入手术室和 CT 室之间搬运患者。该设备实现了在介入手术过程中进行快速、连续的 CT 扫描,从而提供了更为精确的术中引导作用,增加

DOI:10.3969/j.issn.1008-794X.2023.11.018

基金项目:浙江省卫生健康科技计划项目(2022KY687)

作者单位:310053 浙江杭州 浙江中医药大学(宋子阳);浙江省肿瘤医院介入治疗科(邵国良)

通信作者:邵国良 E-mail: shaogl@zjcc.org.cn

了治疗某些疾病过程的可视化,同时也避免了针头和导管脱位的风险或因搬运患者造成手术野的污染^[4-7]。经过数十年的发展,Angio-CT 已将血管造影设备、可滑动的 MDCT 扫描仪深度融合,装置的时间和空间分辨率也进一步提高^[8]。肝动脉造影(CTHA)和动脉门静脉造影(CTAP)相结合用于诊断肝细胞癌(HCC)是一种敏感度和特异度较高的方法,但由于具有侵入性和需要来回搬运患者而未被广泛使用,Angio-CT 的应用正好解决了这一问题。此外,Angio-CT 提供的图像质量更好、采集速度更快、不易受运动伪影影响,并且能提供更大的视野^[9]。由于 Angio-CT 安装在介入手术室,最大限度地提高了房间利用率,具有一定的经济优势,同时也会提高其在介入操作中的利用率^[6]。随着 CT 技术的发展,Angio-CT 系统的功能也得到了进一步的加强,具备了更多的高级成像功能,例如 CT 灌注、减影和双能 CT 等,也使得 Angio-CT 在介入肿瘤学中的应用价值越来越被重视^[2]。

2 Angio-CT 对比 C 臂锥形束 CT 技术(CBCT)的优势

10 年前,CBCT 得到发展。其通过在患者周围旋转传统的血管造影装置,生成多个不同投影角度的 DSA 图像,使用锥形束反投影重建算法,获取目标区域的三维图像^[10]。因其可以在 DSA 装置中实现实时透视、血管造影和多断层 CT 扫描,加上体积小、价格相对低等优势在世界范围内得到了迅速和广泛的应用^[7]。将 Angio-CT 与 CBCT 比较,Angio-CT 仍有其独有的优势。首先 Angio-CT 有着较低的散射辐射、较快的扫描速度,而 CBCT 在锥体束采集中 X 线的散射比 Angio-CT 明显增加,因而 Angio-CT 有更高的对比度和分辨率。其次 CBCT 的最大视野(FOV)为 20~25 cm,而传统 CT 的 FOV 可达到 50 cm。这使得 Angio-CT 在应用于治疗体型较大或多发性肿瘤患者时体现出明显的优势。此外,CBCT 的扫描图像常存在运动伪影、金属伪影和截断伪影,而 Angio-CT 则没有这些问题,一般情况下图像显示非常清晰。例如在肝肿瘤的 CT 血管成像上,CTHA 的图像质量明显优于 CBCTHA 的图像质量^[2,7,11]。Yuan 等^[5]评估了两者在 TACE 治疗肝细胞癌后进行即刻射频消融(RFA)的治疗效果,其中 66 例 HCC 患者在 Angio-CT 引导下进行即刻 RFA,21 例 HCC 患者在 CBCT 引导下进行即刻 RFA,结果 Angio-CT 组和 CBCT 组平均手术时间分别为 89.4 min 和 107.6 min。手术

时间的缩短不仅可以缩短患者的疼痛耐受时间,而且可以提高导管室的利用效率。同时该研究还指出,Angio-CT 组由于需要重复确定穿刺点和进针位置,患者接受的有效辐射剂量高于 CBCT 组,分别为 35.3 mSv 和 28.7 mSv。但是 CBCT 组的介入医师需要在透视下进行实时 RFA,与 Angio-CT 组相比,会受到更多的有效辐射剂量。当然在设备价格、操作方便程度上 Angio-CT 不及 CBCT。

3 Angio-CT 的辐射剂量

Angio-CT 的辐射剂量一直是学者们关注的问题。Piron 等^[12]对行动脉化疗栓塞的患者分别使用了 CBCT 与 Angio-CT,比较两者的有效剂量(effective dose,ED)。该研究总共纳入了 114 例 TACE 手术患者,每组 57 例,结果显示 Angio-CT 组的总 ED 为 154 mSv, CBCT 组的总 ED 为 39.2 mSv。Angio-CT 组的 2D 成像模式 ED(5.1 mSv)是 CBCT 组(20 mSv)的 1/4; Angio-CT 组的 3D 成像模式 ED(7.4 mSv)是 CBCT 组(17.9 mSv)的 41.3%。而透视时间两组之间无差异,与 CBCT 组相比,Angio-CT 组进行的 DSA 次数更少。可能是由于 DSA 运行次数的减少,使得 Angio-CT 组的辐射暴露减少。Marshall 等^[13]回顾了 23 例患者在 CBCT 或 Angio-CT 室中进行成像的经动脉放射栓塞术(transarterial radioembolization,TARE)的资料,CBCT 和 Angio-CT 的单次 CT 扫描平均有效剂量分别为 6.42 mSv 和 5.99 mSv,该结果表明当直接比较单个患者时,CBCT 和 Angio-CT 的每次 CT 扫描平均有效剂量相当。另有学者报道,与单独采用常规血管造影相比,介入术中使用 Angio-CT 可以使操作者受到的 X 线辐射剂量减少^[5,14]。

4 Angio-CT 在介入治疗中的应用

4.1 在小肝癌的诊断与介入治疗中的应用

小肝癌又称为早期肝癌,是指单个癌结节的最大直径 ≤ 3 cm 或者 2 个癌结节的直径和 ≤ 3 cm^[15-16]。在小肝癌的治疗中,消融治疗是一种与手术切除疗效相当的根治性手段。消融治疗常规采用超声或 CT 引导下经皮穿刺的方式实施。在 CT 引导下实施消融治疗,如果小肝癌病灶较为隐匿,其与肝实质具有相似的衰减密度时,在没有对比的常规 CT 上便很难看到。要处理这些小病灶,操作者可能会依赖相邻的解剖标志或确立一个更大的消融区域来确保足够的消融范围,但对正常组织的损伤也会相应增加。消融手术期间进行经导管肝动脉造影可提高

肿瘤的可见性,有助于正确定位。Angio-CT 为选择性动脉插管造影同步实施经皮消融术创造了便利条件。Yu^[4]等在 Angio-CT 引导下,对 15 例 CT 上显示较小或不明显的肝肿瘤患者进行了实时动脉造影同步经皮消融术,结果病灶消融率为 100%,未出现相关并发症。有报道指出,经皮 RFA 是治疗超声或 CT 平扫不可见小肝癌的可行且有效的方法^[17]。Liu 等^[18]研究了 Angio-CT 引导的 TACE 后即刻碘油 CT (经动脉化疗栓塞后立即进行的 CT 扫描)在诊断潜在肝肿瘤中的作用。该研究回顾性分析了 31 例临床确诊为 HCC 的患者,31 例患者术前常规影像学检查发现病灶 58 个,其中直径 ≤ 1 cm 的病灶 15 个;而即刻碘油 CT 却发现了 91 个病灶,其中直径 ≤ 1 cm 的病灶 48 个;该结果显示即刻碘油 CT 比常规术前影像学检查或 DSA 能发现更多的病灶。

4.2 在 TACE 治疗中的应用

肝癌 TACE 治疗效果常有赖于正确识别肿瘤的供血动脉。Angio-CT 的应用可提高 TACE 的成功率,进而提高疗效^[18-19]。Toyoda 等^[14]探讨了 Angio-CT 在 TACE 治疗 HCC 中的作用,结果显示采用 Angio-CT 进行 TACE 治疗的患者生存率高于未采用 Angio-CT 进行 TACE 治疗的患者。考虑原因为传统 TACE 治疗能将导管非常精准地插入到肿瘤靶动脉、并使整个 HCC 病灶完全坏死的比例很小,且经常会误栓正常的肝动脉而增加了并发症的发生率。而在 Angio-CT 引导下,改善了 TACE 治疗中微小血管的可视化,使插管的精准率大大提高,尤其是组合了多排 CT(MD-CT)的 Angio-MDCT 作用似乎更好。Takada 等^[8]比较了 73 例在 Angio-MDCT 引导下实施的 TACE 与 57 例在 Angio-CT 引导下实施的 TACE,其完成 TACE 治疗所需的影像学检查次数,结果 Angio-CT 引导下所需 DSA 和 CT 检查次数分别为 3.53 次和 5.16 次,而 Angio-MDCT 引导下则分别为 1.67 次和 2.90 次。在 Angio-MDCT 的引导下可以快速准确地识别 TACE 患者的供血动脉。

4.3 在 TACE 同步消融治疗大肝癌中的应用

大于 5 cm 的肝癌被认为是大肝癌^[20-21]。肿瘤大小是影响 TACE 疗效和预后的重要因素之一。临床研究显示,单次 TACE 术后肿瘤局部坏死率较低,这也是导致肿瘤复发转移、影响远期疗效的重要因素。RFA 治疗导致的凝固性坏死体积有限,对大于 3 cm 的肝癌其局部完全消融率有所下降。与单纯

TACE 或单纯 RFA 相比,TACE 联合 RFA 可以明显提高大肝癌的疗效和患者的长期生存率^[5]。Yuan 等^[22]回顾性研究了 117 例大肝癌患者,评估 TACE 后 Angio-CT 或 CBCT 引导射频消融的治疗效果;Angio-CT 组 66 例患者在 TACE 后接受 Angio-CT 引导的 RFA 治疗,CBCT 组 21 例患者在 TACE 后接受 CBCT 引导的 RFA 治疗,TACE 组 30 例患者只接受 TACE 治疗。治疗后,Angio-CT 组的中位无进展生存期(PFS)为(14.7 \pm 1.43)个月,CBCT 组为(13.9 \pm 1.53)个月,TACE 组为(10.4 \pm 1.21)个月。该研究中 Angio-CT 组和 CBCT 组的 CR+PR 和 OS 率明显高于 TACE 组。另一个有关 Angio-CT 引导的 TACE 同步 RFA 治疗的研究报道提出,缩短两种联合治疗的时间间隔,可显著降低由于碘油和化疗药的消散而导致肿瘤复发的可能性,以及形成新的侧支血管和栓塞后的血管再通。

4.4 在肝恶性肿瘤钇 90(⁹⁰Y)治疗中的应用

随着临床治疗研究的深入,⁹⁰Y 已成为局部晚期 HCC 的一种可行而有效的治疗方式,其通过肝动脉插管直接注入 ⁹⁰Y 微球,可以将高剂量放射性元素直接靶向递送至目标肿瘤^[23-25]。不但可以缩小肿瘤,同时对门静脉癌栓具有较好的治疗作用,还可以促进正常肝组织的增生肥大。通过血管造影清晰显示肝血管解剖结构对于该治疗的安全性至关重要,因为 ⁹⁰Y 微球注射到肝内靶病灶外的血管会导致正常组织的辐射损伤,甚至造成严重不良事件,例如诱发胃肠道穿孔,肺部的辐射损伤等。在 ⁹⁰Y 的治疗术中常常需要对不能避开的非靶血管进行常规预防性栓塞。然而,预防性栓塞除了增加手术时间外,也会带来新的风险,例如弹簧圈移位、动脉夹层和形成新的侧支循环。因此,⁹⁰Y 注射术前在 Angio-CT 引导下通过导管行 CTHA,可清晰显示肿瘤的动脉供应,从而帮助确认 ⁹⁰Y 微球注射的靶动脉。Goh 等^[23]回顾研究了 2010 年 5 月至 2015 年 6 月接受 ⁹⁰Y 治疗的 186 例 HCC 患者,所有患者均在 Angio-CT 引导下进行,其中有 35 例患者需要选择性栓塞肝外血管;⁹⁰Y 治疗的成功率为 99.5%,2 例患者出现放射性胃肠道溃疡,1 例出现放射性肺炎。该结果表明 Angio-CT 用于 ⁹⁰Y 治疗,降低了肝外血管预防性栓塞率和并发症发生率,而成功率提高。更重要的是,横断面图像有助于确认或排除肝外动脉的存在,因此可以保护 CTHA 上未显示的肝外动脉。CTHA 对动脉供血区域的显示优于 DSA,可以更准确地计算动脉特异性灌注的肝体积。与术前预防性栓塞

相比,精准确认靶动脉进行⁹⁰Y注射,还可以降低非靶动脉预防性栓塞术后侧支循环形成和再通的可能性。

4.5 在胰岛素瘤诊断与定位中的应用

胰岛素瘤是最常见的功能性胰腺神经内分泌肿瘤^[26]。胰岛素瘤的治疗主要是手术切除,但其成功与否很大程度上取决于术前精确定位。Fu等^[27-28]回顾性分析了54例患者术前TAUS、CEUS、EUS、ECT、EMRI和DSA图像,其总体检测灵敏度分别为21.4%、78.4%、79.2%、70.0%、79.2%和72.2%,整体定位准确率分别为14.3%、58.8%、68.8%、60.0%、75.0%和44.4%,而Angio-CT的总体检测灵敏度和定位准确率分别为94.4%和90.7%,显著高于其他术前定位成像方法。Angio-CT用于胰岛素瘤检测和定位,提高了肿瘤与胰腺组织的对比度,使肿瘤显示更好。因此Angio-CT在胰岛素瘤的术前检测和定位中可作为首选方法。

4.6 其他应用

Yevich等^[29]将Angio-CT应用于转移性骨肿瘤的疼痛治疗,在Angio-CT引导下采用栓塞术和冷冻消融术相结合的方法对肋骨转移灶实施治疗,明显减轻了患者的疼痛症状。内脏神经松解术(SNN)已被确定为上腹部顽固性癌痛的有效姑息治疗。因内脏神经所处的位置比较窄小,使用传统方法器械很难进入。Wada等^[30]对30例严重上腹癌疼痛的患者进行33次Angio-CT引导下的SNN手术,手术成功率达到96.97%,仅出现一次腹膜后出血和一次气胸。该结果表明Angio-CT引导下的SNN手术安全有效。此外,也有报道将Angio-CT用于肾造口术,胰腺癌术后膈下脓肿引流术^[7],均起到了重要的作用。

5 Angio-CT存在的不足

临床操作中,Angio-CT的倾斜角度最大被限制在30°,相较于CBCT允许高达50°的角度范围,Angio-CT的操作工作空间相对较为狭窄。同时,Angio-CT的价格较贵,通常是CBCT的1.5~2倍,这也限制了它的大规模应用^[7]。此外,Angio-CT技术较为复杂,操作相对比CBCT繁琐^[27]。

[参考文献]

- [1] Dixon GD. Combined CT and fluoroscopic guidance for liver abscess drainage[J]. AJR Am J Roentgenol, 1980, 135: 397-399.
- [2] Taiji R, Lin EY, Lin YM, et al. Combined angio-ct systems; a

- roadmap tool for precision therapy in interventional oncology[J]. Radiol Imaging Cancer, 2021, 3: e210039.
- [3] Inaba Y, Arai Y, Kanematsu M, et al. Revealing hepatic metastases from colorectal cancer: value of combined helical CT during arterial portography and CT hepatic arteriography with a unified CT and angiography system[J]. AJR Am J Roentgenol, 2000, 174: 955-961.
- [4] Yu Q, Knight G, Karani K, et al. Real-time arteriography-directed percutaneous microwave ablation for small or poorly characterized hepatic lesions using hybrid Angio-CT[J]. Abdom Radiol (NY), 2022, 47: 1457-1463.
- [5] Yuan H, Li X, Tian X, et al. Comparison of Angio-CT and cone-beam CT-guided immediate radiofrequency ablation after transcatheter arterial chemoembolization for large hepatocellular carcinoma[J]. Abdom Radiol (NY), 2020, 45: 2585-2592.
- [6] Feinberg N, Funaki B, Hieromnimon M, et al. Improved utilization following conversion of a fluoroscopy suite to hybrid CT/angiography system[J]. J Vasc Interv Radiol, 2020, 31: 1857-1863.
- [7] Tanaka T, Arai Y, Inaba Y, et al. Current role of hybrid CT/angiography system compared with C-arm cone beam CT for interventional oncology[J]. Br J Radiol, 2014, 87: 20140126.
- [8] Takada K, Toyoda H, Tada T, et al. Accurate and rapid identification of feeding arteries with multidetector-row angiography-assisted computed tomography for transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma[J]. J Gastroenterol, 2015, 50: 1190-1196.
- [9] Lionberg A, Nijhawan K, Navuluri R, et al. Hybrid angiography-CT for transarterial radioembolization: a pictorial essay [J]. Abdom Radiol (NY), 2021, 46: 2850-2854.
- [10] Orth RC, Wallace MJ, Kuo MD, et al. C-arm cone-beam CT: general principles and technical considerations for use in interventional radiology[J]. J Vasc Interv Radiol, 2008, 19: 814-820.
- [11] de Oliveira Pinto MG, Melo SLS, Suassuna FCM, et al. Influence of size of field of view (FOV), position within the FOV, and scanning mode on the detection of root fracture and observer's perception of artifacts in CBCT images[J]. Dentomaxillofac Radiol, 2021, 50: 20200563.
- [12] Piron L, Le Roy J, Cassinotto C, et al. Radiation exposure during transarterial chemoembolization: angio-CT versus cone-beam CT [J]. Cardiovasc Interv Radiol, 2019, 42: 1609-1618.
- [13] Marshall EL, Guajardo S, Sellers E, et al. Radiation dose during transarterial radioembolization: a dosimetric comparison of cone-beam CT and angio-CT technologies[J]. J Vasc Interv Radiol, 2021, 32: 429-438.
- [14] Toyoda H, Kumada T, Sone Y. Impact of a unified CT angiography system on outcome of patients with hepatocellular carcinoma[J]. AJR Am J Roentgenol, 2009, 192: 766-774.
- [15] Chen Z, Xie H, Hu M, et al. Recent progress in treatment of hepatocellular carcinoma[J]. Am J Cancer Res, 2020, 10: 2993-3036.
- [16] 刘若冰,李开艳,罗鸿昌,等.大血管旁部位小肝癌的精准消融治疗[J].介入放射学杂志,2019,28:440-443.

- [17] Pan F, Do TD, Vollherbst DF, et al. Percutaneous irreversible electroporation for treatment of small hepatocellular carcinoma invisible on unenhanced CT: a novel combined strategy with prior transarterial tumor marking[J]. *Cancers (Basel)*, 2021, 13: 2021.
- [18] Liu FY, Li X, Yuan HJ, et al. Angio-computed tomograph-guided immediate lipiodol computed tomograph for diagnosis of small hepatocellular carcinoma lesions during transarterial chemoembolization[J]. *Chin Med J*, 2018, 131: 2410-2416.
- [19] Lencioni R, de Baere T, Soulen MC, et al. Lipiodol transarterial chemoembolization for hepatocellular carcinoma: a systematic review of efficacy and safety data[J]. *Hepatology*, 2016, 64: 106-116.
- [20] Abdelaziz AO, Nabeel MM, Elbaz TM, et al. Microwave ablation versus transarterial chemoembolization in large hepatocellular carcinoma: prospective analysis[J]. *Scand J Gastroenterol*, 2015, 50: 479-484.
- [21] 张源, 翟博. 大肝癌的微创介入治疗[J]. *介入放射学杂志*, 2019, 28: 394-399.
- [22] Yuan H, Liu F, Li X, et al. Angio-CT-guided transarterial chemoembolization immediately in combination with radiofrequency ablation for large hepatocellular carcinoma[J]. *Acad Radiol*, 2019, 26: 224-231.
- [23] Goh WXT, Leong S, Too CW, et al. Catheter-directed computed tomography hepatic angiography for yttrium-90 selective internal radiotherapy of hepatocellular carcinoma reduces prophylactic embolization of extrahepatic vessels[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2020, 43: 478-487.
- [24] 郑致远. 钇 90 放射性微球治疗肝脏恶性肿瘤的应用进展[J]. *复旦学报(医学版)*, 2020, 47: 622-627.
- [25] Marqueen KE, Kim E, Ang C, et al. Cost-effectiveness analysis of selective internal radiotherapy with yttrium-90 versus sorafenib in locally advanced hepatocellular carcinoma[J]. *JCO Oncol Pract*, 2021, 17: e266-e277.
- [26] 吴文铭, 陈洁, 白春梅, 等. 中国胰腺神经内分泌肿瘤诊疗指南(2020)[J]. *中华消化外科杂志*, 2021, 20: 579-599.
- [27] Fu J, Liu F, Yuan K, et al. The value of hybrid angio-CT in preoperative detection and localization of insulinomas: a single-center retrospective study[J]. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 2018, 41: 633-638.
- [28] Fu J, Zhang J, Wang Y, et al. Comparison of angio-CT versus multidetector ct in the detection and location for insulinomas[J]. *Clin Radiol*, 2020, 75: 796.e11-796.e16.
- [29] Yevich S, Odisio B, Sheth R, et al. Integrated CT-fluoroscopy equipment: improving the interventional radiology approach and patient experience for treatment of musculoskeletal malignancies[J]. *Semin Intervent Radiol*, 2018, 35: 229-237.
- [30] Wada S, Arai Y, Sone M, et al. The value of angio-CT system on splanchnic nerve neurolysis[J]. *Diagn Interv Radiol*, 2021, 27: 408-412.

(收稿日期:2022-05-10)

(本文编辑:新 宇)