

冠状动脉 CT 成像钙化斑块减影技术的临床应用

过伟锋 综述 曾蒙苏 审校

【摘要】 冠状动脉 CT 血管成像(CCTA)作为一种无创的冠状动脉成像方法,已经成为临床诊断冠心病的首选影像检查方法。由于钙化斑块往往会干扰 CCTA 对冠状动脉狭窄严重程度的评估,现临床上开发出一种新的冠状动脉成像技术方法——冠状动脉 CT 成像钙化斑块减影技术。通过去除钙化斑块对冠状动脉成像的干扰,从而对冠状动脉血管作出有效的评估。本文就这种新的影像技术方法的进展、原理及其在临床中的应用进行综述。

【关键词】 减影技术; 血管钙化; 冠心病; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R541.4; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)10-1010-03

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.10.025

随着多排螺旋 CT(multidetector computed tomography, MDCT)技术的不断发展,特别是自后 64 排 CT 问世以来,冠状动脉 CT 血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)已经成为临床常规筛选冠心病患者的重要检查方法。大量研究证实其实临床确诊冠心病、指导治疗及随访疗效等,具有重要临床指导价值,特别对于排除无明显冠状动脉狭窄的患者, CCTA 具有很高的阴性预测值(95%~100%)^[1-3]。因此,临床上冠状动脉 CCTA 逐步取代传统有创的冠状动脉造影(invasive coronary angiography, ICA)技术,已成为诊断冠状动脉有无狭窄及其判断狭窄程度的临床首选无创检查手段^[4,5]。然而, CCTA 由于对冠状动脉狭窄的阳性预测值及准确性仍有一定限度,尤其对于具有严重钙化斑块的动脉节段,在进行冠状动脉 CCTA 成像时,由于钙化的放射状及硬化束伪影放大效应,加之冠状动脉管腔本身细小等因素,极大干扰冠状动脉管腔狭窄程度的准确性评价,常造成过度狭窄的判断。为去除严重钙化斑块对冠状动脉成像狭窄度可靠性评价的影响,近几年, CT 设备厂商研发了一种新的去钙化冠状动脉减影成像的软件技术。

减影 CCTA 发展临床背景

由于头颅及周围血管所在脏器不存在运动伪影之影响,减影 CTA 已在中枢及周围的血管成像中得到了广泛运用,并取得极好成效,已成为临床应用常规技术。Tomandl 等^[6]认为减影 CTA 可以去除颅底骨对小动脉瘤成像重叠的干扰,完全可与 DSA 相媲美,已成为临床诊断颅内动脉瘤的首选影像检查技术; Poletti 等^[7]报道了减影 CTA 在下肢的应用,其去除骨、钙化及支架的影响后,图像质量更满意,明显提高了对下肢动脉狭窄判断的准确性。但针对冠状动脉成像而言,由于受到心脏周期搏动的影响,势必会产生搏动性伪影,进而影响冠状动脉的细节观察;再者,由于受探测器宽度、时间及空间分辨率等限制,常常一次扫描很难获得各向同时同性的完整冠状动脉原始数据^[8];第三,又需要更高性能的计算机软硬件技术支持,从而限制了减影技术在冠状动脉成像中的临床应用。

随着 CT 技术的不断发展,更宽覆盖面高排数的螺旋 CT

(320 排 CT)逐渐投入到临床应用。例如,日本东芝公司研发的 320 排 CT,由宽度 0.5mm 的探测器单元,构成 320 排超宽探测器阵列, X 管球旋转 1 周仅为 0.275s,而在 Z 轴的最大覆盖范围则为 16cm。这就意味着在不移动扫描床的情况下,机架旋转 1 周可以覆盖整个心脏容积,同时采集完整的心脏数据,而 64 排 CT 在获得完整的心脏扫描数据时,必须进行螺旋扫描或步进扫描,难以在冠状动脉时相上保持同步。因此, 320 排 CT 进行心脏扫描时,一次扫描就可以获得各向同时和各向同性的整个心脏扫描数据。若 320 排 CT 采用半重建技术,即采集 1 个心动周期的数据,完成整个心脏成像的重建,这完全不同于以前采用的多扇区采集技术,更加保证了采集数据的各向同时和同性。基于 320 排 CT 的优良物理特性,因此,采用减影技术降低严重钙化斑块对冠状动脉成像的影响成为可能,从而可获得更加清晰可靠的冠状动脉图像,更加提高判断冠状动脉狭窄的准确性。

Yoshioka 等^[9]首次报道了 320 排 CT 减影技术在含有严重钙化冠状动脉斑块中的成像应用及价值。报道称可以有效去除严重钙化斑块,进而消除钙化斑块对冠状动脉成像的不良影响,更提高了对冠状动脉狭窄评价的准确性。

减影 CCTA 的现状与进展

1. CCTA 减影技术基本原理

CCTA 减影技术采用是一种称作“容积 CT 数字减影血管成像”^[10]的专门运算软件。首先通过平扫获得增强前的影像(也称为“蒙片”)数据;再通过注入高浓度碘对比剂后扫描获得增强的影像数据。减影就是用增强后的影像数据减去蒙片数据,从而获得冠状动脉减影的数字化信息。最后高性能计算机将数字信号转换成图像,这样就获得了去除钙化斑块而得到纯冠状动脉血管的影像。由于图像不再受钙化斑块的干扰,冠状动脉图像更加清晰,尤其有助于提高评价冠状动脉管腔狭窄的准确性。

2. 减影 CCTA 图像采集方法

减影 CCTA 可通过单次屏气或两次屏气的扫描方法获得原始数据,其各有裨益^[9]。单次屏气扫描法是通过一次屏气完成平扫和增强两次扫描,即同时获得蒙片和增强后的原始影像数据。该扫描方法缺点一次屏气时间较长(大概需要 20 s),对于较长时间屏气困难的患者,该方法常不适合;其优点是在一

作者单位:200032 上海,上海市影像医学研究所/复旦大学附属中山医院放射科/复旦大学上海医学院影像学系

作者简介:过伟锋(1991-),男,安徽亳州人,硕士,主要从事心肌灌注的影像学基础研究工作。

次屏气下完成两次扫描,则两次扫描心脏所处的位置相同,因此,计算机进行失配准时,其伪影将大大减低,获得减影后可得到完全不受钙化斑块干扰的冠状动脉图像,则极大提高了判断冠状动脉狭窄的准确性。两次屏气扫描法即平扫和增强扫描获得原始数据是在两次呼吸屏气下完成。由于两次呼吸屏气下的扫描可能存在心脏位置的一定移动,因此,可产生更多的失配准伪影,减影图像可有钙化斑块残留,由此影响冠状动脉管腔狭窄的准确性评估。两次屏气优点为常规的 CCTA 扫描方法一样,对呼吸屏气的要求不高,则大部分患者都能耐受完成扫描。

3. 辐射剂量降低技术

常规回顾性心电门控扫描技术的 CCTA 检查尽管成功率高,但辐射剂量尚较高(>10 mSv),因此,如何降低扫描剂量为目前业界热点研究领域之一,实现低辐射剂量(<3 mSv)扫描更易被临床接受和推广采用,目前临床应用中开展的低辐射剂量扫描技术为:①前瞻性的心电门控扫描技术,与传统的回顾性心电门控扫描技术相比,在保证成像质量的同时,可以极大降低扫描时的辐射剂量。Earls 等^[11]报道通过此技术可以将有效辐射剂量降低 70%~80%,同时图像质量并未受损。②迭代重建(IR)算法是一种新的图像后处理重建方法,目前各家厂商均已发展到第三代,甚至第四代迭代重建算法,在保证图像质量前提下,通过降低扫描时的曝光参数可以更显著降低扫描有效辐射剂量。若与传统的滤波反投影(FBP)重建算法相比,IR 算法不仅极大降低扫描辐射剂量,并且还可提高图像质量。Williams 等^[12]通过研究认为与传统的 FBP 重建算法相比,采用 3D 自适应迭代剂量减低(AIDR3D)技术,有效辐射剂量由原来 3.84 mSv 降低为 2.35 mSv(约降低了 39%),同时,图像质量也大为改善。Chen 等^[13]研究报道同样保证相同成像质量前提下,有效辐射剂量降低 50%左右。随着 IR 技术不断优化以及计算机软硬件更新,扫描有效辐射剂量将不断减低。③随着 CT 技术不断革新,扫描速度也更快,从而进一步减少扫描时间。相较于第一代东芝 320 排 CT(Aquilion ONETM, Toshiba Medical Systems)的管球旋转周期为 350 ms,第二代东芝 320 排 CT(Aquilion VisionTM, Toshiba Medical Systems)的管球旋转周期为 275 ms,加快了扫描速度,即提高了时间分辨率。Tanaka 等^[13]临床研究结果揭示第一代东芝 320 排 CT(旋转周期为 350 ms)进行减影 CCTA 成像时,有效辐射剂量平均为 (11.97 ± 4.72) mSv; Amanuma^[14]及 Yoshioka 等^[15]使用第二代东芝 320 排 CT 扫描,并结合最新后处理重建迭代算法(AIDR3D),其有效辐射剂量平均分别为 (5.1 ± 2.9) 和 (3.2 ± 1.8) mSv。因此,通过提高 CT 扫描速度结合最新迭代重建算法则可进一步降低扫描辐射剂量。双源 CT(dual-source CT, DSCT)由于采用两套相互垂直的 X 线管球和探测器采集系统,故只需旋转球管约 1/4 周期,通过 180°内插重建技术,即可获得成像所需原始数据,其时间分辨率又可明显提高。西门子最新 DSCT (Somatom Definition Flash/Force)时间分辨率可高达 75 ms。Wang 等^[16]通过研究发现心脏 CCTA 成像时,常规 64 排 CT 回顾性心电门控技术扫描时,其平均有效辐射剂量为 (9.3 ± 0.5) mSv;而行最新 DSCT 扫描时,则根据不同心率,其有效辐射剂量随着心率提高而逐步降低。心率 50~59 bpm、60~69 bpm、70~90 bpm、80~89 bpm 和 90~100 bpm 时,其有

效辐射剂量分别为 (9.1 ± 1.3) 、 (8.3 ± 1.1) 、 (7.9 ± 1.1) 、 (6.9 ± 0.7) 和 (5.9 ± 1.3) mSv。④由于 320 排 CT 在 Z 轴的覆盖范围可达 16 cm,因此,若患者心脏为横位者,则可通过采用减少探测器排数^[17],也可减少扫描范围,而降低有效辐射剂量。研究结果为选择探测器排数为 280 排(14 cm)、256 排(12.5 cm)、240 排(12 cm)和 200 排(10 cm)的覆盖范围进行心脏容积扫描时,与选择 320 排(16 cm)相比,其有效辐射剂量分别降低 12.5%、20%、25%和 37.5%。⑤通过合理地降低管电压技术也可减低扫描有效辐射剂量^[18]。Hausleiter 等^[19]研究报道若选用 100 和 120 kV 的管电压进行扫描相比,前者可使有效辐射剂量降低约 31%,并图像质量两者没有明显差异。但降低扫描管电压技术,尚未见应用于减影 CCTA 的临床报道,其在减影 CCTA 中的有效性和图像稳定性等,尚需进一步的临床实践验证^[15]。

事实上,在临床实践中,往往是多种技术联合采用,针对不同患者,进行个性化扫描方案的设计,方能在保证图像质量前提下,合理有效地降低扫描时的有效辐射剂量。

减影 CCTA 的临床应用

严重的钙化斑块在 CT 冠状动脉血管成像时,可产生放射状及射线硬化束伪影,影响冠状动脉管腔的真实显示。研究发现大部分情况下,常会高估冠状动脉节段的狭窄严重程度,偶尔产生低估情况。Zhang 等^[20]研究认为对于中等程度以下的钙化斑块,与 ICA 金标准相比,CCTA 诊断冠状动脉狭窄节段程度的准确性,其一致性可达 90%以上;而对于含有严重钙化斑块的冠状动脉节段,其诊断狭窄程度的一致性与 ICA 相比只有 67%。同样,Vavere 等^[21]研究报道揭示与无钙化冠状动脉节段相比,CCTA 在诊断具有严重钙化斑块的冠状动脉狭窄节段时,其狭窄程度判断的准确性由 86%下降到 81%;并且,提示随着弧形钙化围绕管周的范围不断增加,出现假阳性的结果可能性也不断增大。而 CCTA 减影技术应用,可以消除严重钙化斑块对冠状动脉管腔狭窄程度显示的干扰,从而提高 CCTA 对冠状动脉狭窄程度评价的准确性。Tanaka 等^[22]报道与未采用减影的 CCTA 图像质量相比,不光 CCTA 减影技术可以明显提高冠状动脉成像质量;同时,把 ICA 作为诊断金标准,研究对象为钙化积分超过 400 的患者,在诊断狭窄 $>50\%$ 的冠状动脉节段时,与常规 CCTA 技术相比,减影 CCTA 技术将判断冠状动脉狭窄程度的准确性由 74.1%提高到 90.5%。类似研究结果同样见于 Amanuma 等^[14]报道,即当冠状动脉节段发生严重钙化斑块时,临床常视为不可评价时,减影 CCTA 技术判断狭窄准确性由 67.8%上升到 82.8%;当把严重钙化斑块的冠状动脉节段视作明显狭窄时,准确性从 70.1%提高到 82.1%。Yoshioka 等^[15]研究结果认为对于冠状动脉钙化积分 >400 的患者,减影 CCTA 技术对冠状动脉节段的狭窄($>50\%$)评价,其敏感度达 94.1%,特异度达 85.4%;而常规 CCTA 技术,其敏感度为 88.2%,而特异度仅为 62.5%。

植入冠状动脉支架者,无论裸支架,还是药物涂层支架,尤其前者更易发生支架内新的血栓形成或内膜增生等,因此,术后随访常规 CCTA 判断有无细小血栓形成和/或内膜增生及其鉴别等,常常有难度。以往一般认为,常规 CCTA 技术对于直径 >3 mm 的冠状动脉支架,则可以良好的显示其管腔;而直径

<3 mm 的支架,常规 CCTA 常难于对其管腔进行评价。Yoshioka 等^[9]实验研究发现通过减影 CCTA 技术,可将冠状动脉远端(直径<3 mm 支架)以及附着管壁上的钙化斑块消除,从而可清晰显示支架内管腔的通畅情况。但相关研究报道鲜见,有待深入研究,方能得出更客观科学结论。

减影 CCTA 的不足与展望

减影 CCTA 技术目前尚存在一定不足,如失配准伪影后处理时间较长,要求计算机配置性能高,尚未广泛应用于所有厂商生产的 CT 设备,目前仅见于东芝 320 排 CT 临床应用的研究报道。对于减影 CCTA 技术的临床应用,尚处于临床探索和研究阶段,虽已取得一定成效,但若获得临床广泛认可,尚需要进行大规模临床随机和双盲的对照研究。另外,双能 CT 扫描技术的发展及不断完善,对冠状动脉节段严重钙化的狭窄程度准确性判断,也将有极大的提高。随着影像设备和计算机技术的不断发展,相信减影 CCTA 技术将克服上述缺点,实现更加高效、快捷、更高的图像质量以及更低辐射剂量的冠状动脉成像扫描。因此,减影 CCTA 技术将在诊断冠状动脉狭窄,尤其严重钙化节段狭窄程度及支架置入术后的通畅度评价等方面,将极大提高判断的准确性。

参考文献:

- [1] de Graaf FR, Schuijff JD, van Velzen JE, et al. Diagnostic accuracy of 320-row multidetector computed tomography coronary angiography in the non-invasive evaluation of significant coronary artery disease[J]. Eur Heart J, 2010, 31(15):1908-1915.
- [2] Paech DC, Weston AR. A systematic review of the clinical effectiveness of 64-slice or higher computed tomography angiography as an alternative to invasive coronary angiography in the investigation of suspected coronary artery disease[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2011, 11(16):32.
- [3] Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease[J]. J Am College of Cardiology, 2008, 52(21):1724-1732.
- [4] Dewey M. Coronary CT versus MR angiography: pro CT—the role of CT angiography[J]. Radiology, 2011, 258(2):329-339.
- [5] Mark DB, Berman DS, Budoff MJ, et al. ACCF/ACR/AHA/NA-SCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography[J]. J Am College of Cardiology, 2010, 55(23):2663-2699.
- [6] Tomandl BF, Hammen T, Klotz E, et al. Bone-subtraction CT angiography for the evaluation of intracranial aneurysms[J]. AJNR, 2006, 27(1):55-59.
- [7] Poletti PA, Rosset A, Didier D, et al. Subtraction CT angiography of the lower limbs: a new technique for the evaluation of acute arterial occlusion[J]. AJR, 2004, 183(5):1445-1448.
- [8] Hamon M, Morello R, Riddell JW, et al. Coronary arteries: diagnostic performance of 16-versus 64-section spiral CT compared with invasive coronary angiography—meta-analysis[J]. Radiology, 2007, 245(3):720-731.
- [9] Yoshioka K, Tanaka R, Muranaka K. Subtraction coronary CT angiography for calcified lesions[J]. Cardiology Clinics, 2012, 30(1):93-102.
- [10] Razeto M, Matthews J, Masood S, et al. Accurate registration of coronary arteries for volumetric CT digital subtraction angiography[M]. Proceedings of SPIE, 2013.
- [11] Earls JP, Berman EL, Urban BA, et al. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose[J]. Radiology, 2008, 246(3):742-753.
- [12] Williams MC, Weir NW, Mirsadraee S, et al. Iterative reconstruction and individualized automatic tube current selection reduce radiation dose while maintaining image quality in 320-multidetector computed tomography coronary angiography[J]. Clinical Radiology, 2013, 68(11):e570-e577.
- [13] Chen MY, Steigner ML, Leung SW, et al. Simulated 50% radiation dose reduction in coronary CT angiography using adaptive iterative dose reduction in three-dimensions (AIDR3D)[J]. International J Cardiovascular Imaging, 2013, 29(5):1167-1175.
- [14] Amanuma M, Kondo T, Sano T, et al. Subtraction coronary computed tomography in patients with severe calcification[J]. International J Cardiovascular Imaging, 2015, 31(8):1635-1642.
- [15] Yoshioka K, Tanaka R, Muranaka K, et al. Subtraction coronary CT angiography using second-generation 320-detector row CT[J]. International J Cardiovascular Imaging, 2015, 31(S1):51-58.
- [16] Wang M, Qi H, Wang X, et al. Dose performance and image quality: dual source CT versus single source CT in cardiac CT angiography[J]. Eur J Radiology, 2009, 72(3):396-400.
- [17] Khan A, Nasir K, Khosa F, et al. Prospective gating with 320-MDCT angiography: effect of volume scan length on radiation dose[J]. Am J Roentgenology, 2011, 196(2):407-411.
- [18] Chen MY, Shanbhag SM, Arai AE. Submillisievert median radiation dose for coronary angiography with a second-generation 320-detector row CT scanner in 107 consecutive patients[J]. Radiology, 2013, 267(1):76-85.
- [19] Hausleiter J, Martinoff S, Hadamitzky M, et al. Image quality and radiation exposure with a low tube voltage protocol for coronary CT angiography[J]. JACC: Cardiovascular Imaging, 2010, 3(11):1113-1123.
- [20] Zhang S, Levin DC, Halpern EJ, et al. Accuracy of MDCT in assessing the degree of stenosis caused by calcified coronary artery plaques[J]. AJR, 2008, 191(6):1676-1683.
- [21] Vavere AL, Arbab-Zadeh A, Rochitte CE, et al. Coronary artery stenoses: accuracy of 64-detector row CT angiography in segments with mild, moderate, or severe calcification—a subanalysis of the CORE-64 trial[J]. Radiology, 2011, 261(1):100-108.
- [22] Tanaka R, Yoshioka K, Muranaka K, et al. Improved evaluation of calcified segments on coronary CT angiography: a feasibility study of coronary calcium subtraction[J]. International J Cardiovascular Imaging, 2013, 29(S2):75-81.

(收稿日期:2015-12-01 修回日期:2016-03-07)