

• 双能 CT 技术影像学专题 •

双源 CT 双能量去骨技术在颈动脉狭窄病变中的应用价值

向舰, 袁元, 李真林

【摘要】 目的:探讨双源 CT 双能量去骨技术在颈动脉钙化性狭窄病变中的应用价值。**方法:**回顾性分析 18 例颈动脉钙化性狭窄患者的病例资料,根据北美症状性颈动脉内膜切除试验(NASCET)标准评价血管的狭窄程度,分析颈动脉双能量去骨技术去除钙化斑块后的图像与 DSA 图像在量化分析颈动脉狭窄程度上的相关性。以 DSA 图像为对照,评价双能量去骨技术诊断钙化性颈动脉狭窄的敏感性、特异性、准确性、阳性和阴性预测值。**结果:**64 段有明显致密钙化斑块的颈动脉血管,双能量去骨技术检出 54 个血管节段狭窄,DSA 检出 50 个血管节段狭窄,两者对于颈动脉钙化性狭窄病变的检出差异无统计学意义($P>0.05$),两者对于狭窄程度的分级相关性好($R^2=0.913$)。以 DSA 为对照,双能量去骨技术检出颈动脉狭窄的敏感度为 98.0%,特异度为 100.0%,符合率为 90.6%,阳性预测值为 90.7%,阴性预测值为 90.0%。**结论:**采用双能量去骨技术去除钙化斑块可以很好地评价颈动脉钙化性狭窄病变。

【关键词】 体层摄影术;X 线计算机;双源 CT;双能量减影;血管造影术;颈动脉狭窄;钙化

【中图分类号】 R814.42; R543.4 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2013)12-1208-04

Application of dual-energy bone-removal technique in carotid artery stenosis with dual-source computed tomography XIANG Jian, YUAN Yuan, LI Zhen-lin. Department of Radiology, the West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, P. R. China

【Abstract】 Objective: To evaluate the application of dual-energy (DE) bone-removal technique in the diagnosis of calcified carotid artery stenosis with dual-source computed tomography. **Methods:** 18 cases of calcified carotid artery stenosis were analyzed retrospectively. According to the North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial (NASCET) criteria, the degree of carotid stenosis was assessed, and the correlation of carotid artery images after the calcified plaque was removed with DE bone removal technique and the DSA images were analyzed in respect of the quantified analysis of the degree of carotid stenosis. The sensitivity, specificity, accuracy, positive predictive value (PPV) and negative predictive value (NPV) of CT images with DE bone-removal technique were compared with DSA images in the diagnosis of carotid artery stenosis. **Results:** It was demonstrated that 54 segments of vessel were narrow on the CT images with DE bone-removal technique in the total 64 segments of vessels with obvious calcification, while 50 segments on the DSA images. The detection rate of calcified carotid artery stenosis was not significantly different in the two groups ($P>0.5$), while the degrees of stenosis were in good correlation with each other ($R^2=0.913$). Compared with the DSA images, the sensitivity, specificity, accuracy, PPV and NPV of CT images with DE bone-removal technique were 98.0%, 100.0%, 90.6%, 90.7% and 90.0% in the detection of calcified carotid artery stenosis respectively. **Conclusion:** CT images with removal of the plaque by DE bone-removal technique are beneficial to the assessment of calcified carotid artery stenosis.

【Key words】 Tomography; X-ray computed; Dual-source CT; Dual-energy subtraction; Angiography; Carotid artery stenosis; Calcification

颈动脉狭窄是缺血性脑血管疾病发病的重要原因之一,数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)是目前诊断该病的金标准^[1]。DSA 将造影前、后获得的数字图像进行数字减影,在减影图像中消除骨骼和软组织结构,使得碘对比剂所填充的血管在减影中显示出来,且具有较高的图像对比度。但其具有较高的费用、有创性的检查和一定的风险性等缺点,使其应用受到限制。CT 血管成像作为一种非创伤性血管疾病的检查方法,越来越受到临床医师及患者的认可。然而,在骨骼和钙化斑块的影响下,CTA 很难

准确的定量分析钙化性血管狭窄程度。双源 CT 问世以来,已经在世界各地得到广泛应用,双能量后处理去骨技术是它的一项重要功能。通过双能量去骨技术将骨骼和钙化斑块从图像中移除,可以将被钙化遮盖的血管显示出来。国内外已有不少通过双能量评价颈动脉狭窄程度的相关文献报道,但采用双源 CT 双能量去骨技术评价颈动脉钙化性狭窄程度的文献尚不多见。本研究通过双能量去骨技术与 DSA 的对比,探讨颈部 CTA 双能量去骨技术对颈动脉钙化性狭窄的诊断价值。

材料与方法

1. 一般资料

作者单位:610041 成都,四川大学华西医院放射科

作者简介:向舰(1989—),女,重庆人,技师,主要从事影像技术工作。

通讯作者:李真林, E-mail: lzld01@126.com

搜集 2013 年 3 月—8 月在本院就诊的 18 例脑缺血患者的病例资料,其中男 14 例,女 4 例。年龄 49~84 岁,平均 (67.8 ± 9.4) 岁。所有患者均有前循环脑缺血症状,并在颈动脉双能量 CTA 检查后两周内行 DSA 检查,且 CTA 均显示有致密钙化斑块。

2. CTA 检查

扫描前准备:扫描前要求所有患者签署同意使用碘对比剂的知情同意书,向患者告知检查时的注意事项,去掉检查部位的金属物品和假牙。并嘱咐患者在扫描过程中均匀呼吸,不做吞咽动作,以免造成运动伪影,影响图像质量。

扫描技术和检查参数:采用 Siemens Somatom Definition Flash 第二代双源 CT 机进行扫描,扫描方案包括平扫和血管增强序列。患者采取仰卧位,头部尽可能向后倾斜以避免假牙造成的伪影。扫描范围自主动脉弓至颅底上方 3~4 cm。扫描方向从足侧到头侧,扫描时间 4~6 s。血管增强扫描采用双筒高压注射器,经右侧肘前静脉以 5 mL/s 流率注射浓度为 370 mg I/mL 的非离子型碘对比剂 60 mL,再以相同的流率注射生理盐水 40 mL。双能量血管增强序列采用阈值自动触发技术,触发点置于升主动脉根部的中心,当阈值达到 100 HU 时,延迟 4 s 触发扫描。双能量扫描参数:A 球管电压 100 kV、参考管电流量 104 mAs,B 球管电压 Sn 140 kV、参考管电流量 104 mAs,开启实时动态曝光剂量调节 CARE Dose4D,准直器宽 128 i $\times$ 0.6 mm,视野 20 cm $\times$ 20 cm,螺距 0.7,球管旋转时间 0.28 s/r,重建层厚 1.0 mm,重建间隔 0.7 mm,卷积核 D26f。扫描获得 3 组数据,即 Sn 140 kV、100 kV 和加权融合 120 kV 数据,融合比例为 0.6。

图像后处理:将扫描获得的数据传输至 Siemens Syngo MMWP VE36A 工作站,选择 dual energy 软件中 head bone removal 自动去除骨骼,点击 Hard Plaques Off 按钮去掉钙化斑块。然后对图像进行重组,重组方法包括多平面重组(multiplanar reformation,MPR)、最大密度投影(maximum intensity projection,MIP)、曲面重组(curved planar reformation,CPR)等,结合横轴面增强图像对血管进行分析。

3. DSA 检查

患者仰卧于检查床上,采用 Siemens 血管造影机,常规准备后采用 Seldinger 技术穿刺右侧股动脉,先用猪尾导管行主动脉弓造影,观察颈动脉起始情况;再用 5F Cobra 导管分别超选择性行两侧颈总动脉造影。采用高压注射器注射非离子型对比剂欧乃派克(350 mg I/mL)。主动脉弓造影时对比剂总量为 25 mL,以 18 mL/s 的流率注射,采集前后位图像;颈

动脉造影时对比剂总量为 9 mL,以 5 mL/s 的流率注射,采集前后位、侧位及斜位图像。

4. 图像评价方法及标准

将颈动脉分为 3 段进行测量评价,下段为颈总动脉段,中段为颈内动脉颅外段,上段为颈内动脉颅内段,颈外动脉不在评价范围之内^[2]。在 MIP 图像上选取有致密钙化的最狭窄处,手工测量此处血管的直径 A,再测量该狭窄部位的近端 1.5 cm 范围内正常血管的直径 B。然后采用公式(1)计算出狭窄率^[3]:

$$\text{狭窄率 } D(\%) = [1 - (\frac{A}{B})^2] \times 100\% \quad (1)$$

采用北美症状性颈动脉内膜切除实验(North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial-NASCET)狭窄分级法^[4],将血管狭窄程度分级为 5 级:无狭窄的狭窄率为 0,轻度狭窄的狭窄率<30%,中度狭窄的狭窄率为 30%~69%,重度狭窄的狭窄率为 70%~99%,完全闭塞的狭窄率为 100%。DSA 与 CTA 图像测量层面、方法相同,分析 CT 双能量去骨技术与 DSA 在量化颈动脉钙化性狭窄程度上的相关性。

5. 统计学分析

所有统计学处理均采用 SPSS 19.0 统计分析软件包进行。以 DSA 为金标准,计算双源 CT 双能量去骨技术自动去除骨骼和钙化斑块后显示钙化性颈动脉狭窄病变的敏感性、特异性、准确性、阳性预测值和阴性预测值。CT 双能量去骨技术与 DSA 对颈动脉钙化性狭窄病变检出的对比分析采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。对于狭窄程度的分级,CT 双能量去骨图像与 DSA 图像间相关性分析采用直线回归关系散点图。 R^2 ($-1 < R^2 < 1$) 越趋近于 1,相关性越好。

结 果

18 例患者共 108 段血管,64 段有明显致密钙化斑块。钙化多发生在颈总动脉分叉处和颈内动脉虹吸段,其中为 10 段混合斑块。

CT 双能量去骨技术检出 54 个血管节段有不同程度狭窄,DSA 检出 50 个血管节段有不同程度狭窄,颈动脉狭窄程度统计数据见表 1。

表 1 2 种方法对颈动脉狭窄程度的诊断结果的对比(段)

狭窄程度	CTA	DSA
无狭窄	10	14
轻度狭窄	14	12
中度狭窄	23	21
重度狭窄	14	14
完全闭塞	3	3

注:P 值=0.923。

以 DSA 为对照,CT 双能量去骨技术自动去除骨

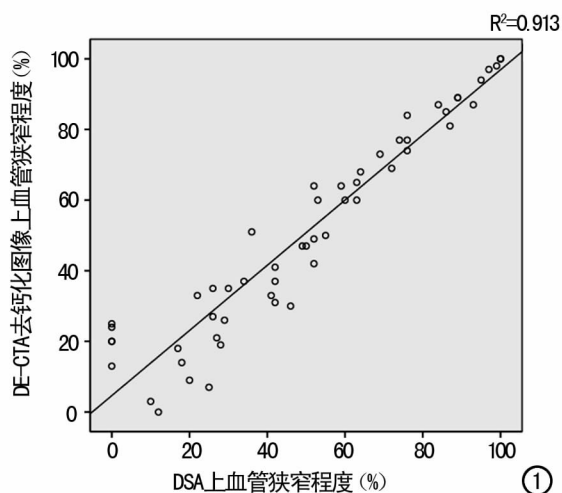


图1 CT双能量去骨技术去除骨骼和钙化斑块后血管狭窄程度与DSA血管狭窄程度关系散点图,示DE-CTA与DSA在血管狭窄程度分级上相关性好。

骼和钙化斑块后检出颈动脉钙化性狭窄的敏感度为98.0%,特异度为100.0%,诊断符合率为90.6%,阳性预测值为90.7%,阴性预测值为90.0%。CT双能量去骨技术与DSA对比分析, χ^2 检验结果显示两者间差异无统计学意义($P=0.923$)。对于狭窄程度的分级,两者之间相关性好, $R^2=0.913$ (图1)。

讨论

DSA是影像增强技术、电视技术和计算机技术相结合的产物,有较高的图像对比度,可以去除骨骼及钙化对血管管腔的影响。传统CTA在评价颈动脉狭窄

性病变上与DSA有较好的一致性^[2]。但对于钙化性颈动脉狭窄的评价有一定的局限性,双源CT双能量去骨技术可以去除骨骼和钙化斑块的影响。其原理是应用双能量减影将钙和碘区分出来,钙和碘都是高原子序数物质,在不同的管电压产生的不同光电子能量谱下,二者呈现不同的衰减^[5,7]。因此,利用双能量扫描获得的X线衰减信息,经过特殊的计算,可以将钙和碘相互区别^[6]。本研究使用CT双能量去骨技术去除骨骼和钙化斑块,评价颈动脉钙化性狭窄与DSA也有较高的一致性(图2)。

本组18例患者共108段血管中,CT双能量去骨技术与DSA检查相比,高估血管狭窄有8段,低估的有2段。其中有5段血管CT双能量去骨显示有轻度狭窄,但DSA却未显示狭窄,考虑虽然DSA是金标准,但是也有一定的局限性。如果在造影过程中没有摄取到切线位的图像,有可能对狭窄显示不清。CT双能量成像可以从多个角度观察病变,具有一定的优势。

有研究表明,双能量自动去除骨和钙化的技术存在过高评价血管狭窄程度的情况^[8],特别是重度狭窄和颈内动脉虹吸段的血管。在自动去除骨和钙化的过程中,可能存在正常血管被错误去除(血管假性闭塞)的情况。导致血管假性闭塞的原因复杂,不单纯表示血管的狭窄程度或钙化严重,主要原因大致分为以下几种情况^[9,10]:其一,血管与骨骼关系密切,颈内动脉虹吸部血管壁与颅骨关系密切,部分甚至紧贴颅骨,去骨软件在去除碘、骨交接处的体素点时,部分含碘血管将被去除,导致管腔缺损;其二,血管钙化体积较大且



图2 颈总动脉分叉处有较大钙化斑块,在不同成像方式图像上对颈部血管狭窄程度进行评价。a)常规CTA扫描没有去除钙化斑块(箭),不能评价血管狭窄程度;b)CT双能量去骨技术去除钙化斑块后图像,显示颈内动脉起始处中度狭窄(箭);c)DSA图像亦显示颈内动脉起始处中度狭窄(箭),两者诊断基本一致。

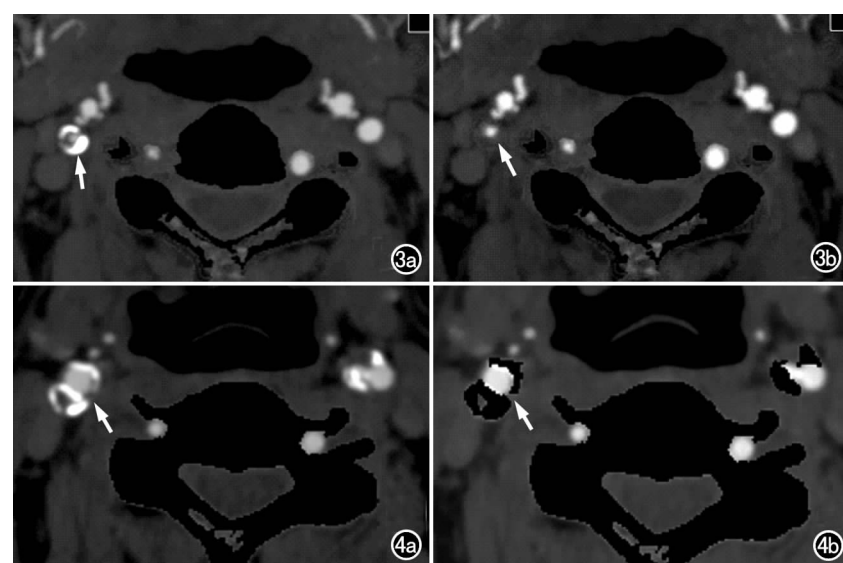


图 3 右侧颈内动脉狭窄。a) CT 双能量去骨技术去除钙化斑块前图像, 示右侧颈内动脉混合斑块, 非钙化成分位于钙化成分与管腔之间(箭); b) 去除钙化后图像, 示钙化斑块被完整去除(箭)。图 4 双侧颈总动脉钙化。a) CT 双能量去骨技术去除钙化斑块前图像, 示双侧颈总动脉分叉处混合斑块, 钙化紧贴管腔, 软斑块与含碘对比剂管腔之间有钙化成分, 右侧较明显(箭); b) 去除钙化后图像, 示紧贴管腔的钙化没有被完全去除(箭)。

与血管关系密切时, 容积效应明显, 导致碘与钙体素点不易区分, 位于碘、钙化交接处的含碘血管体素点被错误去除; 其三, 血管管腔纤细部位, 例如血管狭窄严重或生理性纤细, 较细的管腔强化程度常常较差, 含碘量少, CT 值较低, 如果其 CT 值低于双能量减影程序设定的阈值(混合图像上低于此值的初始体素点被自动去除, 不予计算), 则被自动去除。

CTA 评价颈部血管, 二维、三维重组图像可对狭窄部位和相邻结构进行立体、直观地显示, 被临床医师广泛接受; 但对狭窄程度的判定, 原始横轴面增强图像提供的信息更真实。因此, 采用双能量去骨技术处理 CTA 图像, 若颈内动脉虹吸部、血管管腔纤细部位, 以及血管壁钙化灶的体积较大且与血管关系密切等处出现狭窄或一段血管管腔缺失时, 需要结合颈部血管增强横轴面图像来判定是否有狭窄以及狭窄程度, 尽可能避免高估血管的狭窄程度。

颈部斑块分为钙化斑块、非钙化斑块或软斑块, 以及混合斑块。本研究针对有钙化的斑块, 其中包括单纯性的钙化斑块和钙化与软斑块结合的混合斑块。研究发现, 颈部混合斑块的形态对双能量去骨技术去除钙化的效果也有影响。颈总动脉末端和颈内动脉起始处的血管除钙化斑块外, 经常混合非钙化斑块, 非钙化斑块与钙化斑块的位置关系不同将造成不同的影响。如果非钙化斑块位于钙化斑块内层(图 3a), 使钙化斑块远离碘对比剂充盈的血管管腔, 钙化斑块则被完整去除(图 3b); 如果钙化斑块位于非钙化斑块的内层

(图 4a), 与碘对比剂充盈的血管腔接触紧密的钙化斑块可能不易很好地去除(图 4b), 对图像质量产生影响, 这方面的问题有待进一步研究。

综上所述, 双源 CT 双能量去骨技术自动去除骨骼和钙化斑块, 可以很好地评价颈动脉钙化性狭窄, 但是对于颈动脉颅内段效果欠佳。与金标准 DSA 相比, 双能量去骨技术对颈动脉狭窄程度评价的一致性较好。所以, 双源 CT 双能量去骨技术自动去除骨骼和钙化斑块对于评价钙化性颈动脉狭窄具有潜在的临床价值。

参考文献:

- [1] Moll R, Dinkel HP. Value of the CT angiography in the diagnosis of common carotid artery bifurcation disease; CT angiography versus digital subtraction angiography and color flow Doppler[J]. Eur J Radiol, 2001, 39(3): 155-162.
- [2] 郑玲, 周长圣, 赵艳娥, 等. 双能量颈部 CT 血管成像诊断颈动脉狭窄性病变的价值[J]. 医学研究生学报, 2011, 24(8): 821-821.
- [3] Zhang Z, Berg M, Ikonen A, et al. Carotid stenosis degree in CT angiography: assessment based on luminal area versus luminal diameter measurements[J]. Eur Radiol, 2005, 15(11): 2359-2365.
- [4] Barnett HJ, Jaylor DW, Eliasziw M, et al. Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis[J]. N Engl J Med, 1998, 339(20): 1415-1425.
- [5] Huda W, Scalzetti EM, Levin G. Technique factors and image quality as functions of patient weight at abdominal CT[J]. Radiology, 2000, 217(11): 430-435.
- [6] Johnson TRC, Krauß B, Sedlitz M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience[J]. Eur Radiol, 2007, 17(6): 1510-1517.
- [7] Christoph Thomas, Andreas Korn, Christoph Thomas et al. Automatic lumen segmentation in calcified plaques: dual-energy CT versus standard reconstructions in comparison With digital subtraction angiography[J]. AJR, 2010, 194(6): 1590-1595.
- [8] 陈钰, 薛华丹, 金征宇, 等. 双能 CT 血管成像对颈内动脉狭窄及闭塞的诊断[J]. 中国医学科学院学报, 2009, 31(2): 215-220.
- [9] 唐姗姗, 陈燕萍, 刘红艳, 等. 双能量减影自动去骨技术在双源 CT 颈动脉成像中的临床应用[J]. 临床放射学杂志, 2012, 31(10): 1476-1479.
- [10] Postma AA, Hofman PAM, Stadler AAR, et al. Dual-energy CT of the brain and intracranial vessels[J]. AJR, 2012, 199(11): S26-S33.

(收稿日期: 2013-10-20 修回日期: 2013-11-21)