doi:10.11659/jjssx.09E021041

·临床研究·

基于 CTA 的颈动脉斑块测量与急性缺血性卒中风险的相关性研究

王文静,吕 蕾,邓 铁,刘 军,王忠睿 (重庆大学附属中心医院/重庆市第四人民医院影像科,重庆 400010)

[摘 要] **目的** 通过对计算机断层血管造影(CTA)图像上颈动脉狭窄患者最大非钙化斑块直径及最大钙化斑块直径的测量,探讨其与急性缺血性卒中的关系。**方法** 纳入在我院行 CTA 检查并发现颈动脉狭窄率≥50% 的患者 78 例,根据是否出现急性缺血性卒中症状分为症状组(33 例)和无症状组(45 例)。对 2 组患者临床资料、CTA 测量数据行单因素分析,将有统计学意义的指标进一步行多因素 *Logistic* 回归分析并建立急性缺血性卒中预测模型,采用受试者工作特征(*ROC*)曲线对模型进行评价。2 名观察者测量结果的一致性采用组内相关系数(*ICC*)检验。**结果** 2 名观察者对动脉狭窄程度、最大钙化斑块直径及最大非钙化斑块直径测量结果的 *ICC* 值分别为 0.93、0.96、0.91($P<0.05$),具有较高的一致性。单因素分析显示,症状组冠心病发生率明显高于无症状组,最大非钙化斑块直径明显大于无症状组,最大钙化斑块直径明显小于无症状组,差异均有统计学意义($P<0.05$)。采用多因素 *Logistic* 回归分析分别建立 CT 测量数据模型(模型 1)及临床和 CT 测量数据综合模型(模型 2),结果显示,模型 1 和模型 2 的曲线下面积(*AUC*)分别为 0.904、0.915($P<0.05$),最大非钙化斑块直径增大是急性缺血性卒中的重要危险因素($OR=4.411$、4.442,$P<0.05$)。**结论** 通过 CTA 图像对颈动脉斑块进行测量,可以较准确地预测急性缺血性卒中的发生风险,具有较好的可重复性。

[关键词] 颈动脉斑块;急性缺血性卒中;计算机断层血管造影;狭窄;冠心病
[中图分类号] R445;R743 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-09-08

Correlation of carotid plaque measurement based on CTA with acute ischemic stroke risk

WANG Wen-jing, LYU Lei, DENG Tie, LIU Jun, WANG Zhong-rui (Department of Imaging, Chongqing University Central Hospital/Fourth People's Hospital of Chongqing, Chongqing 400010, China)

Abstract: Objective To measure the maximum non-calcified plaque diameter and maximum calcified plaque diameter in patients with carotid artery stenosis on computed tomography angiography (CTA) images, and to investigate their correlations with acute ischemic stroke. **Methods** A total of 78 patients who underwent CTA examination and found the carotid artery stenosis rate ≥ 50% in our hospital were included, and they were divided into the symptomic group (33 cases) and the asymptomatic group (45 cases) according to whether they had the symptoms of acute ischemic stroke. The clinical data and CTA data of the two groups were analyzed by univariate analysis, factors with statistically significant differences were further analyzed by multivariate *Logistic* regression analysis and an acute ischemic stroke prediction model was established and evaluated by the *receiver operating characteristic* (*ROC*) curve. The consistency of the measurement results between the two observers was tested by the *intraclass correlation coefficient* (*ICC*). **Results** The *ICC* values of the degree of arterial stenosis, the maximum non-calcified plaque diameter and maximum calcified plaque diameter between the two observers were 0.93, 0.96, and 0.91 ($P<0.05$), respectively, with a high consistency. The univariate analysis showed that the incidence rate of coronary heart disease in the symptomic group was significantly higher than that in the asymptomatic group ($P<0.05$), the maximum non-calcified plaque diameter was significantly larger than that in the asymptomatic group, and the maximum calcified plaque diameter was significantly smaller than that in the asymptomatic group, with statistically significant differences ($P<0.05$). CT measurement data model (model 1) and a comprehensive model of clinical and CT measurement data (model 2) were established by multivariate *Logistic* regression analysis, which showed that the *area under the curve* (*AUC*) of model 1 and model 2 were 0.904 and 0.915, respectively ($P<0.05$), and the increasing of the maximum non-calcified plaque diameter was an important risk factor for acute ischemic stroke ($OR=4.411$, 4.442, $P<0.05$). **Conclusion** The measurement of carotid plaque based on CTA images can accurately predict the occurrence risk of acute ischemic stroke with good repeatability.

Keywords: carotid plaque; acute ischemic stroke; computed tomography angiography; stenosis; coronary heart disease

颈动脉斑块是导致急性缺血性卒中的重要原因。目前,国内外指南仍将颈动脉狭窄程度作为评估卒中风险的主要指标,并以此制定治疗方案[1-2]。近年来,随着医学影像技术的发展,除狭窄程度外,颈动脉斑块的形态和成分也成为了评估卒中风险的重要因素。研究表明,磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)能清楚反映动脉管壁及管腔的情况,较准确地识别这些易损斑块[3-4],但具有采集时间长、存在伪影及一些禁忌证等特点,其在临床上尚未得到广泛应用。计算机断层血管造影(computed tomography angiography,

[基金项目] 重庆市自然科学基金面上项目(cstc2020jcyj-msxmX0531)
[通信作者] 邓 铁,E-mail:240925512@qq.com

CTA)是诊断颈动脉疾病的常规检查方法,用时少、费用低,减影后图像可避免周围骨质及钙化的干扰,多平面重建图像可从多平面、多角度显示管腔内外的情况[5]。研究显示,通过对 CTA 图像中 CT 值的测量能够识别易损斑块[6]。本研究通过对颈动脉斑块患者的 CTA 图像进行定量分析,探讨其与急性缺血性卒中的关系,以期为临床诊疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料

回顾性分析 2017 年 3 月至 2019 年 11 月在我院行颈部 CTA 检查的颈动脉斑块患者的临床资料。纳入标准:年龄 18 ~ 80 岁;颈动脉颅外段粥样硬化斑块并狭窄率≥50%(中度以上狭窄);意识清楚,能配合完成 CTA 检查。排除标准:颈动脉闭塞;颈部血管畸形;造影剂过敏;合并肿瘤、感染等疾病。本研究经我院医学伦理委员会批准[2021 年伦审第(11 号)]。

1.2 分组

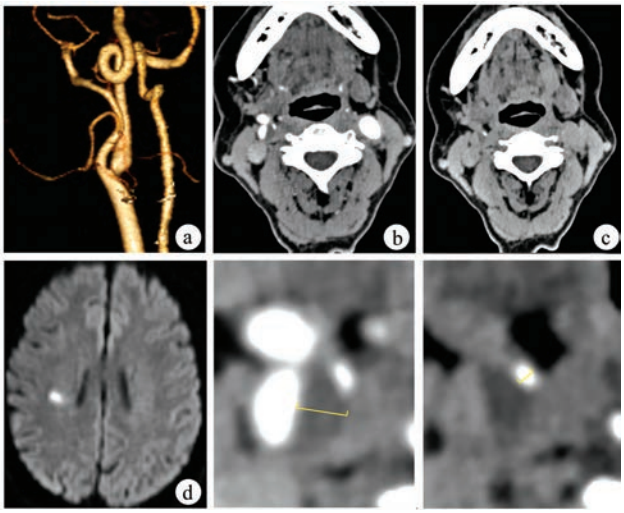
所有患者的 CTA 图像由 1 名具有 15 年经验的神经内科医生按照《中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018》[7]进行独立评价,将在颈部 CTA 检查前 3 d 内出现急性缺血性卒中的患者作为症状组,检查前无任何缺血性卒中或短暂性脑缺血发作等缺血症状的患者作为无症状组。症状组仅纳入卒中侧颈动脉斑块,无症状组纳入符合标准的单侧斑块。最终纳入 78 例患者(78 个颈动脉斑块),其中症状组 33 例,无症状组 45 例。收集 2 组患者的年龄、BMI、性别、吸烟史、合并糖尿病、合并高血压、合并高血脂、冠心病等临床资料。

1.3 扫描方法

采用 GE Lightspeed-64 CT 扫描仪进行标准扫描,扫描范围从主动脉至寰椎,自肘静脉以 5 mL/s 流速推注非离子型造影剂碘普罗胺注射液(370 mg/mL)60 ~ 80 mL及生理盐水 50 mL;使用 Smart prep 技术监测主动脉弓感兴趣区域密度,当密度达到 150 HU,开始扫描。扫描参数:管电压 120 kV,采用自动管电流调制技术,层厚 0.625 mm,层距 0.625 mm,螺距 0.938∶1,旋转速度 0.5 r/s。

1.4 图像分析

将原始数据传入 PACS 后处理工作站,由 2 名具有 10 年以上经验的放射科医生采用盲法进行独立分析。在原始轴位图像上使用电子卡尺(精度 0.1 mm)于垂直血管方向分别测量最大钙化斑块(≥120 HU)直径及最大非钙化斑块(<120 HU)直径(图 1),并参照北美症状性颈动脉内膜切除术实验组标准测量颈动脉狭窄程度[8]。所有测量结果取 2 名观察者测量数据的平均值,并对 2 名观察者的原始测量数据进行一致性分析。



a:3D 最大密度投影;b:CTA 轴位增强图像测量最大非钙化斑块直径为4.6 mm(黄色标尺);c:CTA 轴位平扫图像测量最大钙化斑块直径为 1.7 mm(黄色标尺);d:MRI 扫描 DWI 序列示右侧基底节区急性梗塞灶

图 1 右侧颈内动脉起始部斑块影像资料

1.5 统计学分析

采用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计学分析。计量数据以均数 ± 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本 t 检验;计数数据以率(%)表示,采用 χ^2 检验。对 2 组患者临床资料、CTA 测量数据行单因素分析,将单因素分析中有统计学意义的指标行多因素 *Logistic* 回归分析并建立急性缺血性卒中预测模型,绘制受试者工作特征(*receiver operating characteristic*,*ROC*)曲线,计算曲线下面积(*area under the curve*,*AUC*)。2 名观察者测量结果的一致性采用组内相关系数(*intraclass correlation coefficient*,*ICC*)检验。$P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 观察者间测量数据一致性检验结果

2 名观察者对 78 个颈动脉斑块的动脉狭窄程度、最大钙化斑块直径及最大非钙化斑块直径测量结果的 *ICC* 值分别为 0.93、0.96、0.91($P < 0.05$),提示 2 名观察者的测量结果具有较高的一致性,测量方法具有较好的可重复性。

2.2 单因素分析结果

单因素分析显示,2 组患者年龄、性别、BMI、吸烟史、合并糖尿病、合并高血压、合并高血脂及动脉狭窄程度比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。症状组

冠心病发生率明显高于无症状组,最大非钙化斑块直径明显大于无症状组,最大钙化斑块直径明显小于无症状组,差异均有统计学意义($P<0.05$),见表1。

2.3 多因素分析结果

以单因素分析中有统计学意义的指标为变量,采用多因素 *Logistic* 回归分析分别建立模型1(CT测量数据模型,最大非钙化斑块直径+最大钙化斑块直径)及模型2(临床和CT测量数据综合模型,冠心病+最大非钙化斑块直径+最大钙化斑块直径)。模型1和模型2均显示,最大非钙化斑块直径增大是急性缺血性卒中的重要危险因素($P<0.05$),*OR* 值分别为4.411、4.442,见表2。*ROC* 曲线显示,模型1和模型2的 *AUC* 分别为0.904、0.915($P<0.05$),见图2。根据模型2构建列线图(图3),将冠心病、最大非钙化斑块直径及最大钙化斑块直径3个因素得分相加得到总分,根据总分可对应显示急性缺血性卒中发生的概率。

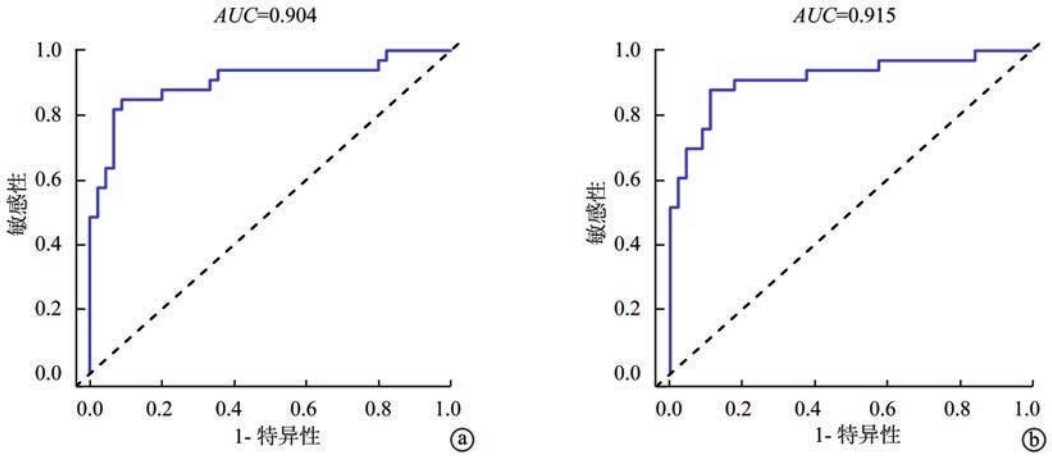
表1 患者单因素分析结果

变量		症状组($n=33$)	无症状组($n=45$)	t/χ^2	P
年龄/岁		61.2±10.2	60.1±9.4	0.497	0.621
BMI/(kg·m^{-2})		23.9±1.5	24.1±1.4	0.284	0.777
性别/例(%)	男	21(63.6)	24(53.3)	0.828	0.363
	女	12(36.4)	21(46.7)		
吸烟史/例(%)	无	9(27.3)	15(33.3)	0.328	0.567
	有	24(72.7)	30(66.7)		
合并糖尿病/例(%)	无	26(78.8)	37(82.2)	0.145	0.704
	有	7(21.2)	8(17.8)		
合并高血压/例(%)	无	3(9.1)	6(13.3)	0.336	0.562
	有	30(90.9)	39(86.7)		
合并高血脂/例(%)	无	5(15.2)	9(20.0)	0.304	0.581
	有	28(84.8)	36(80.0)		
冠心病/例(%)	无	14(42.4)	35(77.8)	10.188	0.001
	有	19(57.6)	10(22.2)		
动脉狭窄程度/%		73.5±10.6	71.3±12.2	0.897	0.372
最大钙化斑块直径/mm		2.1±1.0	2.8±1.1	2.913	0.005
最大非钙化斑块直径/mm		4.1±1.2	2.2±1.0	9.927	<0.001

表2 患者多因素 *Logistic* 回归分析结果

模型1						
变量	B	SE	$Wald\ \chi^2$	OR	95% CI	P
最大钙化斑块直径	−0.608	0.318	3.639	0.545	0.292~1.017	0.056
最大非钙化斑块直径	1.484	0.330	20.243	4.411	2.311~8.421	<0.001
截距	−3.454	1.278	7.310	0.032		0.007

模型2						
变量	B	SE	$Wald\ \chi^2$	OR	95% CI	P
最大钙化斑块直径	−0.439	0.341	1.662	0.645	0.331~1.257	0.197
最大非钙化斑块直径	1.491	0.343	18.893	4.442	2.268~8.701	<0.001
冠心病	1.199	0.725	2.735	3.317	0.801~13.736	0.098
截距	−4.368	1.489	8.598	0.013		0.003



a:模型1;b:模型2

图2 卒中预测模型 *ROC* 曲线

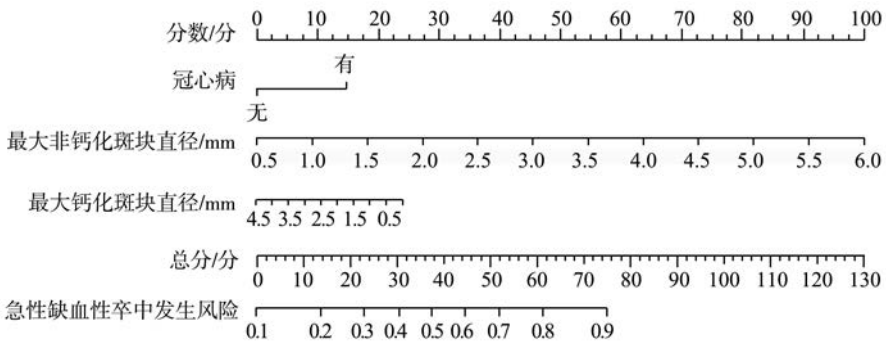


图3 模型2列线图

3 讨论

一项流行病学调查发现,全球范围内颈动脉粥样硬化斑块的发生率呈明显上升趋势,且以往研究已证实颈动脉粥样硬化斑块是急性缺血性卒中的重要危险因素[9]。目前的临床指南仍将颈动脉狭窄程度作为卒中风险分层的主要参考依据,认为只有中度以上狭窄才是手术的相对适应证。但随着研究的深入,这种观点越来越受到质疑。Perl 等[10]发现,颈动脉粥样硬化斑块引起急性缺血性卒中的机制主要有两种,一种是斑块体积不断增大引起颈动脉狭窄,导致远端脑组织缺血,另一种是斑块破裂、出血或脱落引起远端栓塞,由于 Willlis 环的代偿作用,第二种机制才是颈动脉粥样硬化斑块导致急性缺血性卒中的主要原因。临床试验也发现,卒中风险与颈动脉狭窄程度无相关性,一些颈动脉重度狭窄的患者采用保守治疗也可以长期保持稳定;相反,一些轻度狭窄患者在早期即可出现卒中症状[11-12]。因此,近年来研究者们认为颈动脉斑块的形态和成分也是影响卒中风险的重要因素,识别易损斑块成为了当下的研究热点。

Yuan 等[3]研究发现,采用 MRI 成像可以较为准确地识别颈动脉斑块内出血、富含脂质的坏死核心及纤维帽,且出现富含脂质的坏死核心、斑块内出血及纤维帽变薄或破裂可使卒中风险分别增加 3 倍、6 倍和 4.5 倍。其主要机制为斑块内出血可使斑块体积迅速增大并突破变薄的纤维帽,使富含脂质的坏死核心暴露于血管腔内,直接释放栓子或诱发血栓,从而引起卒中。Trelles 等[13]发现,在不同狭窄程度的颈动脉斑块上,基于 CT 发现的非钙化斑块与美国心脏协会基于 MRI 定义的Ⅵ型斑块具有高度的一致性,而Ⅵ型斑块正是由富含脂质的坏死核心、斑块内出血等共同构成的复杂高危斑块。由此推测,这些 MRI 定义的高风险成分在 CT 上大多以非钙化斑块的形式呈现。本研究基于 CTA 轴位图像测量最大非钙化斑块直径,经 *Logistic* 回归模型显示,最大非钙化斑块直径增大与急性缺血性卒中风险高度相关,且两个模型的 *OR* 值均大于 4,即最大非钙化斑块直径每增加 1 mm,则卒中风险增加超过 4 倍,间接印证了以上推测。此外,还有研究发现,颈动脉粥样硬化斑块内钙盐的沉积提示炎症细胞减少及斑块的机械稳定性增加,是相对稳定斑块的重要标志[14-15]。本研究发现,颈动脉最大钙化斑块直径与卒中风险呈负相关,与以上研究结果一致。但 Li 等[16]认为,钙化位置才是影响斑块稳定性的关键因素,其使用计算机模拟发现,邻近管腔纤维帽附近的钙化由于应力高度集中,可增加斑块破裂的风险,而远离管腔或位于脂质核心内的钙化对斑块的稳定性影响较小。因此,颈动脉斑块的成分及形态对卒中的影响还需进一步研究证实。本研究中年龄、糖尿病、高血压、高血脂等公认的卒中危险因素组间无统计学差异,可能与纳入的样本量小有关。

以往研究采用不同的 CTA 成像策略评估颈动脉斑块的易损性,但需要复杂的后处理软件或对 CT 值进行精确测量,导致结果具有较大的主观性及较低的可重复性[17-19]。本研究仅基于常规的 CTA 图像,对中度以上狭窄的颈动脉斑块进行最大钙化斑块直径及最大非钙化斑块直径的简单测量,具有较高的可重复性及实用性;且基于测量结果建立的急性缺血性卒中预测模型的 *AUC* 高达 0.904,具有较好的预测效能;根据预测模型结果构建列线图,对结果进行预测并可视化展示,使其更具有可读性,有助于临床对急性缺血性卒中风险进行评估。但本研究也存在一些不足:样本量较少,且为横截面研究,导致无法对模型进行外部验证。希望在未来进行大样本量、多中心前瞻性的纵向研究,进一步探讨颈动脉粥样硬化斑块的动态变化对急性缺血性卒中的影响。

综上所述,最大非钙化斑块直径与急性缺血性卒中的发生风险呈正相关,基于 CTA 测量颈动脉粥样硬化斑块的直径能较好地预测急性缺血性卒中的发生风险。

[参考文献]

[1] Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, et al. 2018 Guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association[J]. Stroke, 2018, 49(3): e46 - e110. doi: 10.1161/STR.0000000000000158.

[2] 陈 忠,杨耀国. 颈动脉狭窄诊治指南[J]. 中国血管外科杂志(电子版),2017,9(3):169 - 175. doi:10.3969/j.issn.1674 - 7429.2017.03.003.

[3] Yuan J, Makris G, Patterson A, et al. Relationship between carotid plaque surface morphology and perfusion: a 3D DCE-MRI study[J]. MAGMA, 2018, 31(1): 191 - 199. doi: 10.1007/s10334 - 017 - 0621 - 4.

[4] Ge X, Zhou Z, Zhao H, et al. Evaluation of carotid plaque vulnerability in vivo: correlation between dynamic contrast-enhanced MRI and MRI-modified AHA classification[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 46(3): 870 - 876. doi: 10.1002/jmri.25637.

[5] Baradaran H, Al-Dasuqi K, Knight-Greenfield A, et al. Association between carotid plaque features on CTA and cerebrovascular ischemia: a systematic review and meta-analysis[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38(12): 2321 - 2326. doi: 10.3174/ajnr.A5436.

[6] Chien JD, Furtado A, Cheng SC, et al. Demographics of carotid atherosclerotic plaque features imaged by computed tomography[J]. J Neuroradiol, 2013, 40(1): 1 - 10. doi: 10.1016/j.neurad.2012.05.008.

[7] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018[J]. 中华神经科杂志,2018,51(9):666 - 682. doi:10.3760/cma.j.issn.1006 - 7876.2018.09.004.

doi:10.11659/jjssx.08E021081

·临床研究·

超声引导锁骨上入路锁骨下静脉穿刺在颅脑手术中的应用效果

杨 犇[1],程志坤[1],马启刚[1],李 娟[2],武百山[3] (1.六安市中医院麻醉科,安徽 六安 237000;2.中国科学技术大学附属第一医院麻醉科,安徽 合肥 230001;3.首都医科大学宣武医院疼痛科,北京 100053)

[摘 要] **目的** 探讨超声引导锁骨上入路锁骨下静脉(SCV)穿刺在颅脑手术中的应用效果。**方法** 选择80例需要中心静脉置管的颅脑手术患者,随机分为锁骨下入路组(n=40)和锁骨上入路组(n=40)。记录2组SCV长轴图像超声定位时间;测量2组SCV长轴图像与探头的垂直距离;测量2组SCV的平均内径;记录2组穿刺时间、总穿刺次数、一次穿刺成功率、总穿刺成功率;记录2组误穿动脉、气胸等并发症的发生情况。**结果** 与锁骨下入路组相比,锁骨上入路组SCV长轴图像超声定位时间更短(P<0.05),SCV长轴图像与探头的垂直距离更短(P<0.05),SCV的平均内径明显较长(P<0.05),穿刺时间明显较短(P<0.05),总穿刺次数明显较少(P<0.05),一次穿刺成功率明显较高(P<0.05)。2组总穿刺成功率及并发症发生率比较差异无统计学意义(P>0.05)。**结论** 超声引导锁骨上入路SCV穿刺具有定位时间短、穿刺时间短、穿刺成功率高等优势,值得在颅脑手术中推广应用。

[关键词] 超声引导;锁骨下静脉;锁骨上入路;穿刺术;颅脑;手术

[中图分类号] R472 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-08-16

Application of ultrasound-guided subclavian vein puncture via supraclavicular approach in craniocerebral surgery

YANG Ben[1], CHENG Zhi-kun[1], MA Qi-gang[1], LI Juan[2], WU Bai-shan[3] (1. Department of Anesthesiology, Lu'an Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lu'an Anhui 237000, China; 2. Department of Anesthesiology, First Affiliated Hospital of University of Science and Technology of China, Hefei Anhui 230001, China; 3. Department of Pain Treatment, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China)

Abstract: Objective To investigate the application of ultrasound-guided subclavian vein (SCV) puncture via supraclavicular approach in craniocerebral surgery. **Methods** A total of 80 patients undergoing craniocerebral surgery who needed central venous catheter were selected and randomly divided into the subclavian approach group (n = 40) and the supraclavicular approach group (n = 40). The ultrasonic

[基金项目] 安徽省自然科学基金(1908085MH251)

[通信作者] 杨 犇,E-mail:yangben2009@163.com

[8] Fox AJ. How to measure carotid stenosis[J]. Radiology, 1993, 186(2): 316-318. doi:10.1148/radiology.186.2.8421726.

[9] Eker OF, Panni P, Dargazanli C, et al. Anterior circulation acute ischemic stroke associated with atherosclerotic lesions of the cervical ICA: a nosologic entity apart[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2017, 38(11): 2138-2145. doi:10.3174/ajnr.A5404.

[10] Perl ML, Finkelstein A, Revivo M, et al. Variance in biomarker usefulness as indicators for carotid and coronary atherosclerosis[J]. Isr Med Assoc J, 2016, 18(2): 80-84.

[11] Liem MI, Kennedy F, Bonati LH, et al. Investigations of carotid stenosis to identify vulnerable atherosclerotic plaque and determine individual stroke risk[J]. Circ J, 2017, 81(9): 1246-1253. doi: 10.1253/circj.CJ-16-1284.

[12] Saba L, Saam T, Jäger HR, et al. Imaging biomarkers of vulnerable carotid plaques for stroke risk prediction and their potential clinical implications[J]. Lancet Neurol, 2019, 18(6): 559-572. doi: 10.1016/S1474-4422(19)30035-3.

[13] Trelles M, Eberhardt KM, Buchholz M, et al. CTA for screening of complicated atherosclerotic carotid plaque: American Heart Association type Ⅵ lesions as defined by MRI[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2013, 34(12): 2331-2337. doi:10.3174/ajnr.A3607.

[14] Yahagi K, Kolodgie FD, Lutter C, et al. Pathology of human coronary and carotid artery atherosclerosis and vascular calcification in diabetes mellitus[J]. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 2017, 37(2): 191-204. doi:10.1161/ATVBAHA.116.306256.

[15] Pini R, Faggioli G, Fittipaldi S, et al. Relationship between calcification and vulnerability of the carotid plaques[J]. Ann Vasc Surg, 2017, 44: 336-342. doi:10.1016/j.avsg.2017.04.017.

[16] Li ZY, Howarth S, Tang T, et al. Does calcium deposition play a role in the stability of atheroma? Location may be the key[J]. Cerebrovasc Dis, 2007, 24(5): 452-459. doi:10.1159/000108436.

[17] Chrencik MT, Khan AA, Luther L, et al. Quantitative assessment of carotid plaque morphology (geometry and tissue composition) using computed tomography angiography[J]. J Vasc Surg, 2019, 70(3): 858-868. doi:10.1016/j.jvs.2018.11.050.

[18] U-King-Im JM, Fox AJ, Aviv RI, et al. Characterization of carotid plaque hemorrhage: a CT angiography and MR intraplaque hemorrhage study[J]. Stroke, 2010, 41(8): 1623-1629. doi: 10.1161/STROKEAHA.110.579474.

[19] Ramanathan R, Dey D, Nørgaard BL, et al. Carotid plaque composition by CT angiography in asymptomatic subjects: a head-to-head comparison to ultrasound[J]. Eur Radiol, 2019, 29(11): 5920-5931. doi: 10.1007/s00330-019-06086-y.

(编辑:龙小芬)