颈动脉流场改变对斑块稳定性影响及脑梗死分型特点分析

武晓玲[1],郝建萍[2],王淑珍[1],于红霞[1],迟路湘[3] (1. 北京军区二五一医院神经内科,河北 张家口 075000;2. 河北省康保县医院内科,河北 康保 076650;3. 第三军医大学西南医院心内科,重庆 400038)

[摘 要] **目的** 探讨颅外段颈动脉狭窄所致血流动力学变化对斑块稳定性影响;分析脑梗死分型与责任血管狭窄程度、斑块稳定性关系,为脑梗死发病机制、临床诊断、治疗和预防提供重要依据。**方法** 对 168 例急性脑梗死患者分别行 64 排 CT 头颈部血管成像(CTA)及彩色多普勒血流显像仪(CDFI)检查,部分经 CTA 证实为中、重度狭窄及闭塞者于脑梗死恢复期行 DSA 检查,根据其责任血管狭窄程度,将 168 例患者分成颈动脉正常组、轻度狭窄组、中度狭窄组,重度狭窄组及闭塞组,结合 CDFI 及 CTA 评价斑块性质及流场改变,对梗死灶进行急性脑梗塞的牛津郡社区卒中计划(OCSP)分型,再根据 CTA 所示脑梗死部位 ,将患者分为皮质、基底节区、放射冠和后循环梗死 4 种亚型。观察流场改变对斑块稳定性影响并对比不同程度颈动脉狭窄后脑梗死临床分型特点。**结果** 168 条责任血管,正常 17.9%,轻度狭窄 22.6%,中度狭窄 30.9%,重度狭窄 14.8%,闭塞 14.3%,中度狭窄比例最高。狭窄程度大于 50% 即可导致流场改变,血流速度增快,湍流形成,斑块不稳定性增加,以脂质斑及混合斑比例最高。临床部分前循环梗死(PACI)多见,重度狭窄及闭塞组颈动脉斑块以混合斑多见,临床以分水岭梗死多见。轻度狭窄组,多为纤维斑块,临床以腔隙性梗死(LI)多见。**结论** 颈动脉中度狭窄因特殊的血流流场变化导致斑块不稳定性增高,易发生动脉 - 动脉栓塞。

[关键词] 颈动脉狭窄;流场改变;不稳定斑块;脑梗死分型

[中图分类号] R543.4;R743.3 [文献标识码] A [文章编号] 1672-5042(2014)03-0229-05

Effect of carotid artery flow changes on the stability of plaque and typing characteristics of cerebral infarction

WU Xiao-ling, HAO Jian-ping, WANG Shu-zhen, YU Hong-xia, CHI Lu-xiang (Department of Neurology, the 251 Hospital of PLA, Zhangjiakou Hebei 075000, China)

Abstract: objective To observe the influence of hemodynamic changes caused by extracranial carotid stenosis on the plaque stability, and analyze the relationship of cerebral infarction classification, criminal artery stenosis degree and plaque stability to offer evidence for evaluating nosogenesis, clinical diagnosis, treatment and prevention of cerebral infarction. **Methods** CDFI, CTA were performed in 168 patients with acute cerebral infarction, some moderate and severe and occlusive carotid artery which were demonstrated by CTA and CDFI were further checked by DSA during convalescence. Totally 168 acute cerebral infarction patients were divided into 5 groups based on the criminal artery stenosis degree. To evaluate the plaque stability and flow field changes with CDFI and CTA, OCSP clinical classification and brain image classification were finished according to CTA. Patients were classified into 4 subtypes, namely cortical infarction, basal ganglion infarction, corona radiata infarction and posterior infarction, according to the lesion distributions. Observe the changes of flow field and stability of plaque, and compare the relationship between different degree of stenosis and the classification of lesion of infarction. **Results** Among the 168 criminal arteries, there was 17.9% of normal, 22.6% of mild stenosis, 30.9% of moderate stenosis, 14.8% of severe stenosis, and 14.3% of occlusion, and the moderate stenosis proportion was the highest. When the stenosis degree was over 50%, it may lead to the changes of flow field, speeding up of blood flow, forming of turbulent flow, and increasing of plaque instability in which lipid plaque and admixture plaque was the highest. PACI is the commonest in all moderate groups. Admixture plaque is usually seen in severe stenosis and occlusion, while fibrous plaque is usually seen in mild stenosis. **Conclusion** Moderate carotid stenosis may lead to the increase of plaque instability as a result of the changes of flow field, and it may prone to artery-artery embolization.

Keywords: carotid arteries stenosis; flow field changes; plaque stability; cerebral infarction classification

颈动脉因其特殊的解剖结构而成为缺血性脑血管疾病的独立危险因素,在以往的研究中,更多地关注颈动脉狭窄的严重程度[1-3]。超过 70% 的颈动脉粥样硬化性狭窄认为是血管介入治疗或颈动脉内膜剥脱术(carotid endarterectomy, CEA)的指征。但近年的文献更多地关注斑块性质,认为易损斑是导致脑血管病发生的主要因素[4-5],而血管狭窄程度并不能单独预测卒中风险[6]。心血管研究认为:70% 以下甚至小于 50% 的非限制性的血流狭窄未来引起斑块破裂和血栓形成的病例,比更严重狭窄的斑块产生破裂的病例多。Virmani 等[7]对低级别狭窄颈动脉进行研究,认为狭窄程度低于 70% 或更多存在不稳定斑块,而更多发生在狭

doi:10.11659/jjssx.1672-5042.201403003

[基金项目] 国家自然科学基金项目(81270406)

[收稿日期] 2014-01-05 [修回日期] 2014-01-27

窄程度小于 50% 的薄纤维帽粥样瘤被认为是斑块破裂的前期病损。为探讨不同程度血管狭窄所引起的流场改变是否影响斑块稳定性及与脑梗死发生相关性，我们对 168 例急性脑梗塞患者颅颈血管行彩色多普勒血流显像仪(color doppler flow imaging, CDFI)、全脑血管造影(digital subtraction anginography, DSA)及血管成像(computerized tomography angiograbhy, CTA)检查，现将结果分析报告如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本组脑梗死患者 168 例，均为本科室 2007 年 2 月至 2012 年 2 月的住院患者，其中男 103 例，女 65 例，年龄 40 ~ 78 岁，其中 10 例小于 50 岁，平均(65.70 ± 8.50)岁，病程为 1 ~ 7 d。诊断标准符合 1995 年中华医学会第 4 届脑血管疾病会议制定的诊断标准[8]，并经头颅 CT 证实。排除风湿性心脏病、房颤和心律失常引起的心源性脑梗死患者，以及心、肺、肾和肝功能衰竭和癌症患者。按牛津郡社区卒中计划(oxfordshire community stroke project, OCSP)分型将脑梗死患者分为完全性前循环梗死(total anterior circulation infarct, TACI，部分前循环梗死(partial anterior circulation infarct, PACI)，腔隙性梗死(lacunar infarct, LI)及后循环梗死(posterior circulation infarct, POCI)。影像分类是根据责任病灶所在位置，将脑梗死分为以下 4 类：①前循环皮质梗死；②基底节区梗死；③放射冠梗死；④后循环梗死。

1.2 颈动脉超声检测

采用美国 ATL 公司生产的 HDI25000 彩色多普勒超声仪进行检测，超声探头频率为 7 ~ 12 MHz。观察血管解剖形态、内膜情况、有无斑块形成、斑块大小及管腔是否狭窄和狭窄程度。记录收缩期峰值流速(PSV)和舒张末期流速(EDV)等。

1.3 CTA 检查

CTA 采用美国通用电器 GE 64 排 CT 对所有入组患者进行检查。患者取仰卧位，先行颈部 CT 平扫。扫描范围从主动脉弓到大脑动脉环，为了更好地比较血管的狭窄率，本研究所有对比剂统一采用碘海醇(含碘量为300 mg/mL)经肘静脉推注，注射总量为 60 mL。当主动脉弓 CT 值达到阈值时，延迟 4 s，CT 自动扫描。扫描参数为 120 kV，450 mA，层厚为 0.625 mm，总扫描时间为 4.163 s。所有重建数据传至后处理工作站中进行操作，测量血管直径，计算其狭窄率。

1.4 DSA 检查

采用股动脉穿刺逆行血管造影法，常规消毒铺单，暴露双侧腹股沟部，局部以 2% 利多卡因浸润麻醉，穿刺成功后放入导丝，然后放入鞘，支臂接肝素生理盐水(500 mL 生理盐水加肝素 2 500 U，200 mL/h)，拔除导丝，标准的诊断导管经鞘进入股动脉一直到达颈总动脉。数字减影机(Siemens，德国)从多角度(正位、斜位、侧位)显示双侧颈动脉，范围包括颈总动脉起始至颈内动脉虹吸弯，以此作为颈动脉狭窄判断的金标准。

1.5 颈动脉狭窄判定

采用北美症状性颈动脉内膜切除术试验协作组标准(North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators, NASCET)。NASCET 狭窄度 = (1 - 颈内动脉最窄处血流宽度/狭窄病变远端正常颈内动脉内径) × 100%，将颈内动脉狭窄程度分为 4 级：①轻度狭窄，动脉内径缩小小于 49%；②中度狭窄，动脉内径缩小 50% ~ 69%；③重度狭窄，动脉内径缩小 70% ~ 99%；④完全闭塞。

1.6 统计学处理

所有数据用 Excel 建库，经 SPSS 17.0 软件包进行统计分析，计数资料进行 χ^2 检验，颈动脉狭窄处收缩期血流速与动脉狭窄程度关系采用直线相关分析。

2 结果

2.1 颈动脉狭窄程度、血流动力学变化、斑块性质

综合 CDFI 及 CTA 对 168 条责任血管狭窄程度判定，正常 30 例(17.9%)，轻度狭窄 38 例(22.6%)，中度狭窄 51 例(30.9%)，重度狭窄 25 例(14.8%)，闭塞 24 例(14.3%)，中度狭窄所占比例最高。随颈动脉狭窄程度增加，血流速度加快，血流动力学发生改变，斑块不稳定性增加(表 1)。轻度狭窄超声检查未见明显流速曲线改变或流速轻度增高；中度狭窄可见收缩期峰速与舒张末期流速增高，且在狭窄处尤其在狭窄后呈现色彩镶嵌的血流信号(图 1a)，PSVICA/PSVCCA > 2.0；严重狭窄时，血流束变细，PSV 显著增加，EDV 亦显著增加，近端血流阻力增高(图 1b、c)；管腔阻塞时，则不能检测到血流信号。颈动脉狭窄处 PSV 与颈动脉狭窄率直线相关分析 $P < 0.01$ ($r = 0.897$, $P = 0.000$)，呈显著相关(图 2)。中度狭窄时，斑块不稳定性增加，脂质斑比例最高 53% (27/51)，混合斑次之 27.0% (14/51)。而轻度狭窄纤维斑比例最高 58% (22/38)，脂质斑及混合斑比例共 13 例，占 34%，重度狭窄与闭塞组中，混合斑比例(最高)分别为 48% (12/25) 和 67% (16/24)，具体数据见表 2。

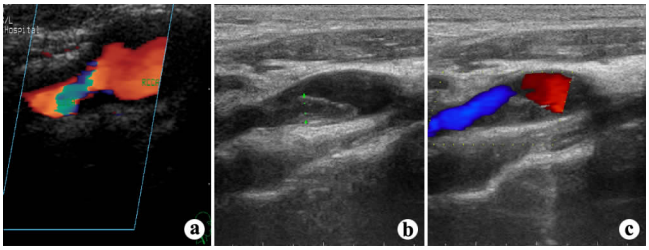
2.2 CTA 检查结果

CTA 检查(发病 1 ~ 7 d 检查)OCSP 分型：TACI 30 例，PACI 74 例，POCI 16 例，LI 48 例，其中前循环皮层梗死 68 例，基底节与半卵圆区梗死 81 例，后循环梗死 19 例(见表 3)。在不同狭窄程度中，中度狭窄组 PACI 发生率最高 32(62.7%)(图 3a)；

表 1 不同程度颈动脉狭窄血流动力学结果($\bar{x} \pm s$)

狭窄程度	根数	PSVICA (cm/s)	PSVICA/PSVCCA	EDVICA (cm/s)
正常	30	70.43 ± 4.49	1.42	39.53 ± 4.86
轻度狭窄	38	103.82 ± 20.38	1.30	52.45 ± 7.45
中度狭窄	51	195.41 ± 50.20 *	2.08	69.43 ± 4.89 *
重度狭窄	25	303.52 ± 46.96 *	3.01	113.24 ± 15.11 *

*：与正常比较，$P < 0.05$



a:狭窄程度 50% 可见狭窄后段呈现色彩镶嵌;b:二维超声显示软斑块,导致管腔重度狭窄;c:狭窄后血流束变细,湍流形成

图 1　颈动脉狭窄超声检查

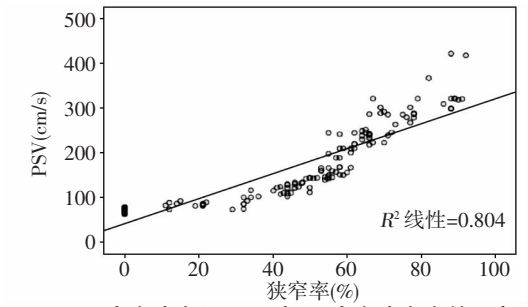


图 2　颈动脉狭窄处 PSV 与颈动脉狭窄率的回归直线

重度狭窄及闭塞组以前循环皮层梗死为多见;TACI 发生率在重度狭窄及闭塞组也逐渐增高,比例分别为 7(28%)、8(33.3%)。在不同的斑块性质中,脂质斑发生 PACI 比例最高,为 32(47.8%)(图 3b、c),混合斑发生 TACI 比例最高 14(53.8%),纤维斑发生 LI 比例最高 15(44.1%)。由卡方检验得出结论:轻度狭窄纤维斑与钙化斑(稳定斑块)比率高于脂质斑与混合斑(不稳定斑块),中度狭窄不稳定斑块比率高于稳定斑块;中度狭窄不稳定斑块比率明显高于轻度狭窄,4 组数据 $\chi^2 = 19.463$, $P = 0.000$,有显著性差异。而重度狭窄脂质斑与混合斑比率最高,纤维斑与钙化斑比率最低,但与中度狭窄相比没有统计学差异($\chi^2 = 1.008$, $P = 0.315$)。由脂质斑及混合斑所致 TACI 及 PACI 明显超过纤维斑与钙化斑。纤维斑与钙化斑发生 LI 比例明显高于脂质斑与混合斑,$\chi^2 = 26.507$, $P = 0.000$,差异有显著性(见表 4)。

2.3　不同狭窄组颅内动脉改变及梗死灶特点

30 例颈内动脉正常患者中,46.7%(14/30)伴有颅内段动脉狭窄或闭塞,患者平均年龄 47 岁;轻度狭窄组中,临床表现为基底节及半卵圆区腔隙梗死占多数,29%(11/38)伴发颅内动脉狭窄;中度狭窄组梗死部位以大脑前、中动脉供血区皮质梗死及基底节、半卵圆区片状梗死为主,16%(8/51)伴发颅内动脉狭窄,有 2 例伴发动脉瘤;重度狭窄及闭塞患者中梗死部位多位于中动脉供血区,皮层分水岭区,或基底节、半卵圆区及分水岭梗死并存(图 4)。重度狭窄及闭塞者 90% 病例存在双侧颈内动脉病变,80% 合并颅内段血管狭窄,可见狭窄后血管扩张。14% 伴发颅内动脉瘤,重度狭窄及闭塞者伴有侧枝循环代偿者 34 例(70%)。以前交通、后交通、眼动脉及软脑膜动脉代偿为主(OCSP 分型见表 3、表 4)。

2.4　DSA 检查结果

46 例患者行 DSA 检查,16 例为中度狭窄,30 例为重度狭窄及闭塞。1 例经超声检查为中度狭窄的责任血管,CTA 及 DSA 检查为轻度狭窄,1 例超声检查重度狭窄,CTA 及 DSA 检查为中度。1 例 CTA 检查为颈动脉闭塞者,DSA 证实为重度狭窄。余检查结果均相符(图 5)。

表 2　不同程度颈动脉狭窄及不同类型脑梗死责任血管斑块性质结果比较[例(%)]

斑块性质	狭窄程度				OCSP 分型			
	轻度狭窄	中度狭窄	重度狭窄	闭塞	TACI	PACI	POCI	LI
纤维斑	22(57.9)	7(13.7)	0	0	1(3.8)	8(11.9)	5(45.5)	15(44.1)
脂质斑	12(31.6)	27(52.9)	10(40)	5(21)	11(42.3)	32(47.8)	3(27.2)	8(23.5)
混合斑	1(2.6)	14(27.4)	12(48)	16(67)	14(53.8)	24(35.8)	2(18.1)	3(8.8)
钙化斑	3(7.8)	3(5.9)	3(12)	3(12.5)	0	3(4.4)	1(9)	8(23.5)
合计	38	51	25	24	26	67	11	34



a:中度狭窄基底节区片状梗死灶(PACI);b:CTA 显示颈内动脉起始部重度狭窄(85%);c:重度狭窄(85%)横断面

图 3　CTA 检查影像资料

表 3 不同程度颈动脉狭窄脑梗死分型结果比较[例(%)]

组别	OCSP 分型				影像分型		
	TACI	PACI	POCI	LI	皮质	基底节与半卵圆区	后循环
正常	4(13.3)	7(23.3)	5(16.7)	14(46.7)	5(16.6)	20(66.7)	5(16.6)
轻度狭窄	3(7.8)	12(31.5)	5(13.2)	18(47.4)	5(13.2)	28(73.7)	5(13.2)
中度狭窄	8(15.7)	32(62.7)	3(5.8)	8(15.7)	28(54.9)	20(39.2)	3(5.8)
重度狭窄	7(28)	13(52)	3(12)	2(8)	16(64)	6(24)	3(12)
闭塞	8(33.3)	10(41.7)	0(0)	6(25)	14(58.3)	7(29.2)	3(12.5)
合计	30	74	16	48	68	81	19

表 4 不同程度颈动脉狭窄及不同类型脑梗死责任血管斑块性质结果比较[例(%)]

斑块性质	狭窄程度			脑梗塞分型			
	轻度狭窄	中度狭窄	重度狭窄	TACI	PACI	POCI	LI
纤维斑与钙化斑	25(65.8)*	10(19.6)	6(12.2)	1(3.8)	11(16.4)	6(54.5)	23(67.6)
脂质斑与混合斑	13(34.0)*	41(80.3)	43(87.8)	25(96.2)	56(83.5)	5(45.5)	11(32.4)#

*:与中度狭窄比较,$P<0.05$;#:与 POCI 比较,$P<0.05$

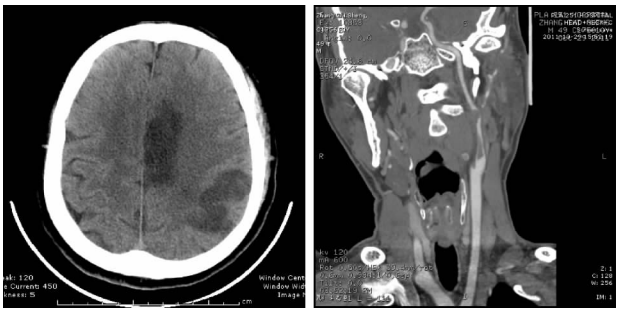
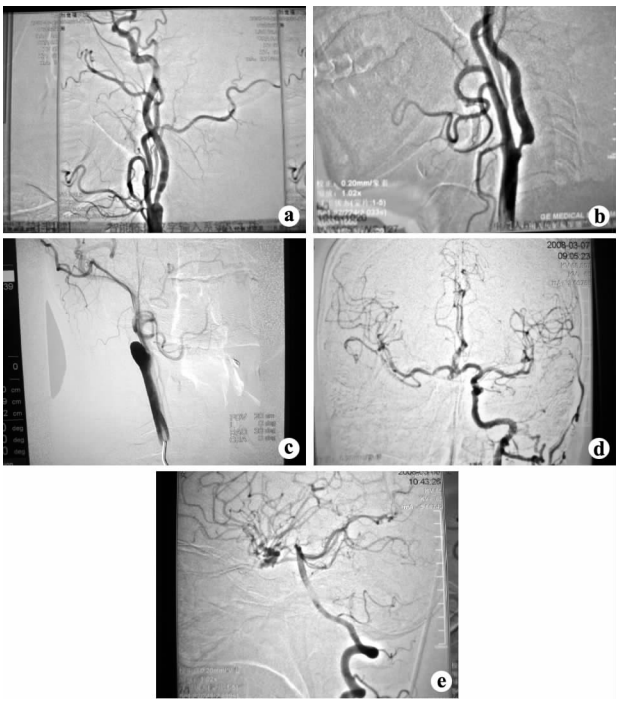


图 4 64 排 CT 证实颈内动脉重度狭窄导致分水岭梗死(PACI)



a:颈动脉起始部中度狭窄;b:颈动脉起始部重度狭窄;c:颈动脉起始部闭塞;d:一侧颈动脉闭塞后对侧颈动脉通过前交通动脉代偿供血;e:双侧颈动脉闭塞后仅一侧椎动脉通过后交通动脉代偿供血

图 5 DSA 检查

3 讨论

颈动脉粥样硬化性斑块好发于颈动脉分叉及颈内动脉起始段。这与颈动脉分叉独特的几何形状及颈动脉窦部的血流动力学特点有关[9-11]。这些血液动力学因素包括:血流速度,血管壁张应力,涡流及动脉壁切应力[12-15]。我们在前期的兔颈动脉粥样硬化动物试验中发现[16],颈动脉狭窄后不仅引起局部血液流场发生改变,狭窄管段剪切力增加并狭窄后段湍流形成,而且对斑块稳定性造成影响,进而引发脑卒中。我们认为,颈动脉粥样硬化性斑块引起卒中的机制,不仅在于斑块对管腔的占位效应,即导致颈动脉狭窄,更重要的是狭窄流场引发斑块不稳定性增加,易损斑增加卒中风险。Gao 等[17]对 102 例患者进行分析,发现颈动脉狭窄程度小于 70% 时脂质斑块比例可达 69.8%,而其中狭窄程度达 50% 时,脂质斑块所占比例最高。因此,我们认为不同狭窄程度所引起的血液流场改变可以影响斑块稳定性,而中度狭窄在这一点上表现更突出。本实验基于这一理论来寻求临床证实。

本研究分析了 168 例急性脑梗死患者,并对其行 CDFI、CTA 检查及对重度及闭塞颈动脉行 DSA 检查。本研究发现,中度狭窄颈动脉血流速度开始加快,湍流形成,PSVICA/PSVCCA >2.0,颈动脉狭窄处 PSV 与颈动脉狭窄程度进行相关性分析,差异有统计学意义($P<0.01$)。对梗塞灶进行 OCSP 分型可以发现,患者平均年龄 47 岁,提示颈动脉正常组中,以青中年患者为主,颅内段动脉狭窄可能是本组发生 LI 及 TACI 的原因,这一点与宋桂芹等[18]对于缺血性脑血管病动脉狭窄分布的研究结果相符。中度狭窄组以 PACI 多见,在各组中所占比例最高。而在 168 例脑梗死患者中,

中度狭窄发生脑梗死概率最高。梗死部位多是大脑前、中动脉供血区皮质梗死或基底节、半卵圆区片状梗死。考虑动脉栓子脱落导致动脉 - 动脉栓塞为颈动脉中度狭窄引起脑梗死的主要原因。而重度狭窄及闭塞组中,临床多表现分水岭梗死及皮层与深部梗死并存,PACI 比例略高,TACI 次之。另外,重度狭窄及闭塞组中,合并颅内段血管狭窄比例可达 80%,同时可见狭窄后血管扩张。14% 伴发颅内动脉瘤,提示颈动脉重度狭窄及闭塞组引发脑梗死原因是多方面的,除长期脑血流灌流减低引起分水岭梗死外,多发颅内段动脉狭窄也是导致 PACI 的发生原因。检查发现重度狭窄及闭塞组中形成侧枝循环代偿者 34 例(70%)。本文认为,长期颈动脉严重狭窄,颅内侧支代偿多数形成,因此在重度狭窄及闭塞患者中,发生 TACI 的病例并不占多数。本研究也探讨了斑块的性质:纤维性、钙化性斑块和脂质性、混合性斑块与颈动脉狭窄程度之间的联系。结果认为,狭窄程度 50% ~70% 时脂质性和混合性斑块的出现率明显增高。无论狭窄程度如何,脂质性和混合性斑块发生 TACI 及 PACI 的概率明显超过纤维性和钙化性斑块。中度狭窄脂质斑块发生率最高,与轻度狭窄颈动脉相比有明显差异。因此认为中度狭窄颈动脉血流流场改变更多导致斑块稳定性下降,更多发生动脉 - 动脉栓塞导致脑梗死发生。Ali 等[19]对2 460根颈动脉进行研究,结果发现狭窄程度越大,非均质性斑块的发生率越高。狭窄程度大于 50% 时,80% 为非均质斑块,本研究结果与之符合。因此,本文认为,中度以上狭窄的颈内动脉因其特殊的解剖结构导致血流力学及流场发生变化,湍流形成,动脉壁结构及斑块稳定性发生变化,斑块不稳定性增加,栓子脱落导致脑梗塞。

关注中度狭窄颈动脉,及时给予内科治疗并在必要时给予介入治疗干预,可以延缓或降低颈动脉内中膜厚度和颈动脉狭窄的发展,稳定斑块并有利于减低缺血性脑血管病的发生。

[参考文献]

[1] Rerkasem K, Rothwell PM. Carotid endarterectomy for symptomatic carotid stenosis [J]. Cochrane Database Syst Rev, 2011, 13 (4): CD001081.

[2] Balestrini S, Lupidi F, Balucani C, et al. One-year progression of moderate asymptomatic carotid stenosis predicts the risk of vascular events [J]. Stroke, 2013, 44(3): 792 - 794.

[3] Reinhard M, Müller T, Guschlbauer B, et al. Dynamic cerebral autoregulation and collateral flow patterns in patients with severe carotid stenosis or occlusion[J]. Ultrasound Med Biol, 2003, 29(8): 1105 - 1113.

[4] Cai JM, Hatsukami TS, Ferguson MS, et al. Classification of human carotid atherosclerotic lesions with in vivo multicontrast magnetic resonance imaging[J]. Circulation, 2002, 106(11): 1368 - 1373.

[5] Hennerici MG. The unstable plaque [J]. Cerebrovasc Dis, 2004, 14 (17): 17 - 22.

[6] Wasserman BA, Wityk RJ, Trout HH 3rd, et al. Low-grade carotid stenosis: looking beyond the lumen with MRI[J]. Stroke, 2005, 36(11): 2504 - 2513.

[7] Virmani R, Ladich ER, Burke AP, et al. Histopathology of carotid atherosclerotic disease[J]. Neurosurgery, 2006, 59(5 Suppl 3): S219 - 227.

[8] Redgrave JN, Lovett JK, Gallagher PJ, et al. Histological assessment of 526 symptomatic carotid plaques in relation to the nature and timing of ischemic symptoms: the Oxford plaque study[J]. Circulation, 2006, 113 (19): 2320 - 2328.

[9] 王 晨,张学军,罗 军,等. 颈动脉内膜剥脱术在防治缺血性脑卒中的临床分析[J]. 局解手术杂志. 2012, 21(5): 511 - 512.

[10] Wakhloo AK, Lieber BB, Seong J, et al. Hemodynamics of carotid artery atherosclerotic occlusive disease[J]. J Vasc Interv Radiol, 2004, 15(1 Pt 2): S111 - S121.

[11] Lee Y, Shin JH, Park HC, et al. A prediction model for renal artery stenosis using carotid ultrasonography measurements in patients undergoing coronary angiography[J]. BMC Nephrol, 2014, 15(1): 60.

[12] 杨学伟,田 君. 不同方法治疗大面积脑梗死的疗效分析[J]. 局解手术杂志, 2011, 20(6): 647 - 650.

[13] 赖贤良,邓志锋,祝新根,等. 大面积脑梗死患者不同治疗方法分析比较[J]. 现代中西医结合杂志. 2009, 18(34): 4221 - 4222.

[14] 汪东良,陈 强,谢增华,等. 不同方法治疗大面积脑梗死疗效分析[J]. 中国医师进修杂志. 2011, 34(6): 54 - 56.

[15] Stroud JS, Berger SA, Saloner D. Numerical analysis of flow through a severely stenotic carotid artery bifurcation[J]. J Biomech Eng, 2002, 124(1): 9 - 20.

[16] 武晓玲,罗春霞,迟路湘. 不同程度兔颈动脉粥样硬化剪切力改变对其斑块及内、中膜病理变化影响[J]. 第三军医大学学报, 2006, 28(20): 2057 - 2061.

[17] Gao T, Zhang Z, Yu W, et al. Atherosclerotic carotid vulnerable plaque and subsequent stroke: a high-resolution MRI study[J]. Cerebrovasc Dis, 2009, 27(4): 345 - 352.

[18] 宋桂芹,王拥军,董可辉,等. 缺血性脑血管病患者脑动脉狭窄的分布[J]. 中国老年心脑血管病杂志. 2008, 10(9): 680 - 682.

[19] AbuRahma AF, Wulu JT Jr, Crotty B. Carotid plaque ultrasonic heterogeneity and severity of stenosis[J]. Stroke, 2002, 33(7): 1772 - 1775.

(编辑:周小林)