

彩色多普勒超声准确评估颈动脉狭窄的研究进展

陈雪君 综述, 朱建平 审校

(南京军区福州总医院超声诊断科, 福建省福州市 350025)

[关键词] 颈动脉狭窄; 彩色多普勒超声; 诊断标准

[摘要] 颈动脉狭窄性病变与缺血性脑卒中的发生密切相关。快速、准确地判断颈动脉狭窄的部位和狭窄的程度, 直接关系到临床治疗方案的制定, 关系到患者的预后和转归。大量研究表明, 彩色多普勒超声可以准确评估颈动脉狭窄, 是目前临床首选的无创评估手段。

[中图分类号] R445.1

[文献标识码] A

Research Progress on Accurate Assessment of Carotid Stenosis by Color Doppler Ultrasonography

CHEN Xue-Jun, and ZHU Jian-Ping

(Department of Ultrasound Diagnosis, Fuzhou General Hospital of Nanjing Military Command, Fuzhou, Fujian 350025, China)

[KEY WORDS] Carotid Stenosis; Color Doppler Ultrasonography; Diagnostic Criteria

[ABSTRACT] Carotid stenosis is closely related to occurrence of ischemic stroke. It is very important to locate and grade carotid stenosis rapidly and exactly for treatment plan and prognosis. Many studies have demonstrated that the carotid stenosis can be assessed accurately by color Doppler ultrasonography, which is the preferred noninvasive means for clinic.

缺血性脑卒中被认为是全球男性及女性长期致残和死亡的最重要原因, 严重危害着人类的健康和生活, 给社会和家庭造成了巨大的负担^[1-3]。研究表明, 由动脉粥样硬化引起的颈动脉狭窄性病变与缺血性脑卒中的发生密切相关。颈动脉粥样硬化性狭窄性病变引起的脑卒中占缺血性卒中的20%^[4]。颈动脉狭窄>70%的患者, 其5年脑卒中的发生率可高达11%^[5]。国内外研究一致认为, 对于颈动脉狭窄程度小于50%的患者应当积极采取内科治疗, 并密切随访病情进展, 而对狭窄程度超过50%的有症状患者尤其是狭窄程度70%~99%的患者则应当根据具体情况尽早选择内膜剥脱术或支架置入术, 从而有效减少脑卒中的发生率^[6]。因此, 快速、准确地判断颈动脉狭窄的部位和狭窄的程度, 直接关系到临床治疗方案的制定, 关系到患者的预后和转归。

1 颈动脉狭窄的主要影像学评估手段

随着医学影像技术的迅猛发展, 数字减影血管造影(digital subtraction angiography, DSA)、血管彩色多普勒超声(color Doppler ultrasonography, CDU)、磁共振血管造影及多层螺旋计算机血管成像等都相继成为了临床评估颈动脉狭窄性病变的重要、有效的技术手段^[7]。其中, DSA一直以来被视为诊断颈动脉狭窄性病变的金标准。其评估狭窄率的标准如下: 采用北美有症状性颈动脉内膜切除实验(NASCET)方法计算, 即狭窄百分率(%) = (狭窄远端正常管径 - 狭窄段残余管径) / 狭窄远端正常管径 × 100%。狭窄程度分为4级: (1) 轻度狭窄: 狭窄率 < 50%; (2) 中度狭窄: 狭窄率 50% ~ 69%; (3) 重度狭窄: 狭窄率 70% ~ 99%; (4) 闭塞。然而, 因DSA检查存在有创、费时、昂贵、禁忌症多且风险大等因

[收稿日期] 2015-08-11

[修回日期] 2015-10-22

[基金项目] 福建省科技计划重点项目(2012Y2008)

[作者简介] 陈雪君, 硕士研究生, 研究方向为血管超声, E-mail 为 531072625@qq.com。通讯作者朱建平, 硕士, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向为血管超声, E-mail 为 Jping.zhu@163.com。

素的限制,严重影响了其在临床的广泛应用^[8]。随着超声技术的不断发展,血管 CDU 逐渐以其独特的优势成为了临床应用中最为广泛的检查手段,尤其是彩色多普勒血流显像(color Doppler flow imaging, CDFI)技术的广泛应用和不断完善,使得超声对颈动脉狭窄诊断的准确性得到了不断的提高。CDU 不仅可以直观显示狭窄所致的血流动力学改变,而且还可以根据血流充盈情况鉴别管腔内有无极低回声或无回声斑块及其形态、大小。此外,利用彩色多普勒血流信息进行实时三维超声成像,还可实时动态地观察颈动脉血流情况及斑块形态,对三维空间内的血流信号像素进行计算,从而克服二维图像高估或低估狭窄程度的缺点。多项研究分析表明 CDU 诊断颈内动脉(internal carotid artery, ICA)狭窄性病变,尤其是对中度以上狭窄(>50%的狭窄)的准确率达 96.6%~97%,敏感度、特异度可分别达 83%~100% 和 87.8%~98%^[9-10]。Egger 等^[11]、Ukwatta 等^[12]研究发现利用实时三维超声成像进行颈动脉管壁体积及斑块体积等参数测量时,同一检查者重复测量结果及不同检查者之间的测量结果均具有良好的相关性,而且诊断结果具有较高的敏感度。因此,CDU 作为检查颈动脉狭窄性病变的首选、安全、经济的检查手段,在临床决策中发挥的作用越来越得到了国内外医学界的广泛认可。国外研究认为,CDU 在血管支架置入术的决策中起着重要的决定作用^[13]。美国临床试验中心更是早已通过 CDU 为病人决定选择支架或外科手术^[14-15]。

2 CDU 诊断颈动脉狭窄的声学原理

CDU 评估颈动脉狭窄主要采用血流动力学方法,这是完全不同于 DSA 的直径评估法或面积评估法。在彩色多普勒模式下,正常动脉的血管影像为单一的中心亮带式红色或蓝色的层流血流信号。当血管狭窄时,正常层流血流信号消失,血流通过狭窄的管腔时产生加速度,出现涡流或湍流,CDFI 表现为:“五彩镶嵌”的紊乱血流信号特征,通过 CDFI 的引导,可以清晰观察到狭窄的部位,准确定位并进行多普勒取样,获得最高的血流加速度^[16]。频谱多普勒模式下,当发生轻度狭窄时,血流动力学一般无明显改变,频谱形态可表现为正常或轻度增宽,此时,血流峰值无明显变化或只有轻微加快。当发生中度或重度以上狭窄时,血流动力学则发生显著改变,频谱多普勒表现为频谱充填,狭窄段血流峰值明显加快;狭窄近端的血流阻力增大,狭窄

远端的血流频谱形态低平,血流峰值减低,呈低速低阻力性血流动力学的改变;狭窄段与狭窄近、远段流速比值增加。极重度狭窄时,频谱形态可正常,血流峰值可正常或者降低。当闭塞时,管腔内血流信号消失,测不出血流频谱^[17]。这些特征性表现均对颈动脉狭窄性病变的诊断有较高的特异性和准确性。因此,通过定量分析 ICA 收缩期峰值流速度(peak systolic velocity, PSV)、舒张末期流速度(end diastolic velocity, EDV)、颈总动脉(common carotid artery, CCA)收缩期峰值流速、狭窄部位收缩期/舒张期峰值流速比值(PSV/EDV)、ICA、CCA 收缩期峰值流速比(PSV of ICA to PSV of CCA, PSVICA/PSVCCA)、ICA 狭窄段/ICA 远段收缩期峰值流速比(stenosis PSV of ICA to PSV of distant ICA, PSVICA/PSVDIS)等血流动力学的超声参数,可以对狭窄程度作出准确评估。

3 颈动脉狭窄的超声诊断参数标准

目前,国内外学者分别提出了几种提高超声测量准确性的参数标准。其中,较常用的评估 ICA 狭窄的标准主要有 3 种,分别见表 1^[18]、表 2^[19]、表 3^[20]。

表 1. 2003 年 9 月美国放射年会超声会议公布的分级标准
Table 1. Classification criteria published by the United States Conference on Ultrasound in September 2003

ICA 狭窄程度	PSVICA (cm/s)	EDVICA (cm/s)	PSVICA/ PSVCCA
<50%	<125	<40	<2.0
50%~69%	>125, <230	>40, <100	>2.0, <4.0
70%~99%	>230	>100	>4.0
闭塞	血流信号消失	血流信号消失	血流信号消失

表 2. 2006 年 8 月澳大利亚超声医学会推荐的分级标准
Table 2. Classification criteria recommended by Australia Ultrasound Medical Association in August 2006

ICA 狭窄程度	PSVICA (cm/s)	EDVICA (cm/s)	PSVICA/ PSVCCA
<50%	<125	-	-
50%~69%	≥125, <270	<110	>2, <4
70%~79%	≥270	>110	≥4
80%~99%	≥270	>140	≥4
闭塞	血流信号消失	血流信号消失	血流信号消失

表 3. 2006 年首都医科大学宣武医院超声科提出的分级标准
Table 3. Classification criteria provided by ultrasound department of Xuanwu Hospital of Capital Medical University in 2006

ICA 狭窄程度	PSVICA (cm/s)	EDVICA (cm/s)	PSVICA/ PSVDIS	PSVICA/ PSVCCA
<50%	<155	<60	<2	<1.6
50%~69%	≥155, <220	≥60	≥2	≥1.6
70%~99%	≥220	≥100	≥3.5	≥3.5
闭塞	血流信号 消失	血流信号 消失	血流信号 消失	血流信号 消失

目前国际上通用的这 3 个参数标准各个狭窄等级的流速阈值各不相同,这可能与这些标准分别来自不同国家的研究机构,而不同国家不同人种血流峰值的正常值范围可能不同有关。其次,在狭窄等级的分级上,澳大利亚的分级标准更精细,增加了 80%~99% 的狭窄等级。但是,从临床诊疗上,只要是狭窄程度超过 50% 的有症状患者,一般都会根据具体情况建议尽早选择内膜剥脱术或支架置入术,因此这样细化的分级对临床的指导意义并不大。此外,华扬^[16]提出的参数测量标准增加了 ICA 狭窄远端的流速峰值,并认为对于狭窄>70% 的最佳诊断参数不是国外文献认可的 PSVICA,而是 PSVICA/PSVCCA。再者,3 个标准的研究所采用的样本量大小各异,而且受不同操作者的经验及仪器条件等因素的影响,这些都可能影响狭窄程度的准确评估。因此客观评估 3 个参数标准,寻求一种准确性较高的标准,对于临床的诊疗极为重要。柳舜兰等^[21]通过对 3 个参数标准的客观评估,提出澳大利亚超声医学会推荐的参数标准对于诊断中、重度狭窄的有效性优于另外两种,因此推荐使用。

此外,上述的 3 个参数标准都不仅仅采用了血流峰值,同时还结合了流速比值等多种参数指标,即采用多重血流动力学参数联合评估的方法,以提高狭窄的诊断率。Pisimisis 等^[22]的研究提出,在重度狭窄中,ICA 的流速不再增加,比值仍会提高,故尽管是正常范围或是低于正常的流速,采用比值相结合的方法,彩色多普勒仍能诊断出重度狭窄。华扬等^[20]的研究也得出,联合多个血流动力学参数使得狭窄诊断的准确率明显高于任何一项参数指标单独诊断的准确率。

但是,当分别参照各参数指标出现评估结果的矛盾或是颈部多支血管同时存在狭窄或是一支血管同时存在多处狭窄时,如何具体实施多参数标准联合使用及把握各参数的权重以正确评估狭窄程

度可能遇到的困难? 对此,国内外学者分别对上述标准进行了不断的完善和补充。

Von Reutern 等^[23]认为,对于中重度狭窄的分级,单纯的收缩期血流峰值是不够可信的,而多项血流动力学标准联合评估才是合适的。在诊断重度狭窄时,不论血流峰值如何,侧枝循环的建立被认为是强有力的诊断标准。此外,狭窄远段血流峰值的下降也是诊断重度狭窄的附加标准。李军等^[24]通过对 ICA 狭窄超声检测的多个参数进行判别分析和主成分分析,认为 PSVICA/PSVDIS 是划分中度和重度狭窄的重要依据;EDVICA 在中度和重度狭窄的判别中有较大的权重;在重度狭窄判定时,PSVICA/PSVDIS、EDVICA、PSVICA 三个指标权重相近,故应同时联合评估。另外,要力求操作的规范化、标准化,以保证数据采集的准确性和完整性。

对于双侧颈动脉同时存在狭窄或是一侧狭窄而另一侧闭塞性病变时,上述单侧狭窄的评估标准并不适用,通常会导致对狭窄程度的高估。Grajo 等^[25]通过对双侧 ICA 狭窄患者的超声检查与造影结果对比研究,发现随着一侧 ICA 狭窄程度的增加,CDU 无法准确评估另一侧 ICA 狭窄的程度。对于重度狭窄或是闭塞性病变的患者,侧枝循环的开放常常会影响到对侧颈动脉血流动力学的变化。夏明钰等^[26]证实当一侧 ICA 狭窄率为 70%~99% 时,由于侧枝循环开放对双侧大脑半球血流动力学的影响,将导致狭窄率为 50%~69% 狭窄侧 ICA 的流速值明显高于实际病变程度的诊断标准。Kolkert 等^[27]的研究发现,实施了一侧颈动脉内膜切除术的双侧 ICA 中度以上狭窄的患者,其术后非手术侧异常高速的血流较术前明显减低。这些研究结果都说明了对于双侧颈动脉同时存在狭窄性病变时,进行颅内外血流动力学变化的综合评估意义重大。华扬^[28]提出,对于双侧 ICA 同时存在狭窄性病变的狭窄程度的评估,不仅应该注意狭窄段收缩期及舒张期流速峰值的变化,更应注意狭窄段与狭窄远端的比值,只有比值达到或高于 4:1 时,才能提高中、重度狭窄病变诊断的准确性。可见,ICA 双侧同时存在狭窄时,流速峰值比值的权重明显大于单纯的流速峰值。

当一条动脉发生多处狭窄时,其远心端的狭窄位置由于血流压力差无变化或减小,则狭窄开口处的血流流速可能会正常或减低^[29]。因此,如此一条血管发生多重狭窄时,多个狭窄处的近、远端血流流速都将互相影响,而上述国内外的标准都仅适用

于血管单侧单处狭窄;目前,国际上尚未提出诊断血管多重狭窄的超声评估标准。

4 超声诊断评估方法的标准化

由于血流动力学参数受心率、血压、心脏输出状态、代谢及对侧血管及近、远端血流动力学状态等因素的影响,因而,超声诊断的准确性还依赖于评估方法的标准化、操作的规范化。

Beach 等^[30]的研究提出,对于心率不齐的患者,在收缩期之后紧接一个长的舒张期测量比起在收缩期之后紧接一个短的舒张期测量,收缩期的流速会有明显提高,因此,流速的每次测量应该尽量选择在一个正常的舒张期之后的收缩期进行。Von Reutern 等^[23]认为狭窄远段流速的下降,在重度狭窄的诊断中有重要意义,因而提出同时对狭窄侧及非狭窄侧远端流速测量,通过计算比值或是绝对差值可以进行重度狭窄范畴内的额外分级。国内学者对狭窄远段的定义是:距颈内外动脉分支上方 4~6 cm 以远,即超声所能探及的狭窄后最远段的 ICA,探测该处血流的低流速低搏动性改变。另外 CCA 远段指颈动脉分叉水平以下 1.0~1.5 cm。同时,由于远端 ICA 位置较深,尤其是入颅段,因此建议更换较低频率的线阵探头或凸阵探头,以利于探测。此外,大部分学者认为,流速峰值的测量中,由于声束与血流速度之间的夹角对血流速度有一定影响,故取样角度应该给予校正,应该小于 60 度。Von Reutern 等^[23]则认为,角度的校正只适用于同一个病人多次重复检查的比较,而且,角度校正后的分级只有在采用相同的检查设备及诊断标准时,才有意义。

流速测量的过程中,取样位置的选择也是极其重要的,目前常规于纵切面的血管长轴进行取样测量,但是,国外学者认为,纵切面测量可能会导致动力学评估的误判,特别是在斑块不规则的情况下。因而,建议在横断面进行测量以获取更加准确的流速峰值^[31]。柳舜兰等^[21]的研究认为,采用长轴与短轴切面扫查相结合,在最佳取样部位(即彩色血流束最明亮处)进行采样可以获取最高流速峰值,另外,重复检查可以明显提高超声诊断的准确性。Grizzell 等^[32]一项前瞻性研究表明,仅依赖于单次超声检查的临床决策将导致不必要的手术或是错失了可以预防中风的手术机会。因而,重复超声检查对于指导颈动脉狭窄性病变病人治疗方案的选择是十分必要和有益的。

综上所述,CDFI 技术作为颈动脉粥样硬化性狭窄首选的非侵入性评估技术,可以准确的判定狭窄部位、狭窄程度和血流动力学的变化情况,既为术前临床治疗方案的选择提供准确、可靠的客观依据,还可以全面评估支架成形术后血流的改善状况,为评价支架治疗的有效性、术后患者的长期随访提供了可靠客观的评价依据。另外,血管多重狭窄的超声评估标准仍需进一步研究来确定。国内外的颈动脉狭窄的超声诊断尚未形成统一的标准,仍需加大样本量进行统计分析比较,以达成共识。

[参考文献]

- [1] Go AS, Mozaffarian D, Roger VL, et al. Executive summary: heart disease and stroke statistics--2014 update: a report from the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2014, 129(3): 399-410.
- [2] Kelly PJ, Crispino G, Sheehan O, et al. Incidence, event rates, and early outcome of stroke in Dublin, Ireland: The North Dublin population stroke study[J]. *Stroke*, 2012, 43(1): 2 042-047.
- [3] 叶祖峰, 谢小武, 张莲秀, 等. 急性缺血性脑卒中患者尿酸和高敏 C 反应蛋白检测的临床意义[J]. *中南医学科学杂志*, 2012, 40(6): 591-593.
- [4] Eckstein HH, Kühnl A, Dörfler A, et al. Clinical Practice Guideline: The diagnosis, treatment and follow-up of extracranial carotid stenosis--a multidisciplinary German-Austrian guideline based on evidence and consensus[J]. *Dtsch Arztebl Int*, 2013, 110(27-28): 468-476.
- [5] Streifler JY. Asymptomatic carotid stenosis: intervention or just stick to medical therapy? the case for medical therapy [J]. *J Neural Transm*, 2011, 118(2): 637-640.
- [6] Litsky J, Stilp E, Njoh R, et al. Management of symptomatic carotid disease in 2014[J]. *Curr Cardiol Rep*, 2014, 16(1): 462.
- [7] Adla T, Adlova R. Multimodality imaging of carotid stenosis [J]. *Int J Angiol*, 2015, 24(3): 179-184.
- [8] Rodriguez G, Arnaldi D, Campus C, et al. Correlation between Doppler velocities and duplex ultrasound carotid cross-sectional percent stenosis [J]. *Radiology*, 2011, 18(12): 1 485-491.
- [9] Shakhnovich I, Kiser D, Satiani B, et al. Importance of validation of accuracy of duplex ultrasonography in identifying moderate and severe carotid artery stenosis [J]. *Vasc Endovascular Surg*, 2010, 44(6): 483-488.
- [10] Carnicelli AP, Stone JJ, Doyle A, et al. Predictive multivariate regression to increase the specificity of carotid duplex ultrasound for high-grade stenosis in asymptomatic patients [J]. *Ann Vasc Surg*, 2014, 28(6): 1 548-555.

- [11] Egger M, Krasinski A, Rutt BK, et al. Comparison of B-mode ultrasound, 3-dimensional ultrasound, and magnetic resonance imaging measurements of carotid atherosclerosis [J]. *Ultrasound Med*, 2008, 27(9): 1 321-334.
- [12] Ukwatta E, Awad AD, Ward D, et al. Three-dimensional ultrasound of carotid atherosclerosis: Semiautomated segmentation using a level set--based method[J]. *Med Phys*, 2011, 38(5): 2 479-493.
- [13] Arous EJ, Baril DT, Robinson WP, et al. Institutional differences in carotid artery duplex diagnostic criteria result in significant variability in classification of carotid artery stenoses and likely lead to disparities in care[J]. *Curc Cardiovasc Qual Outcomes*, 2014, 7(3): 423-429.
- [14] GALA Trial Collaborative Group, Lewis SC, Warlow CP, et al. General anaesthesia versus local anaesthesia for carotid surgery (GALA): a multicentre, randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2008, 372(9656): 2 132-142.
- [15] SPACE Collaborative Group, Ringleb PA, Allenberg J, et al. 30 day results from the SPACE trial of stent-protected angioplasty versus carotid endarterectomy in symptomatic patients: a randomised non-inferiority trial[J]. *Lancet*, 2006, 368(9543): 1 239-247.
- [16] 华 扬. 实用颈动脉与颅脑血管超声诊断学[M]. 北京: 科学出版社, 2002; 149-152.
- [17] 周永昌, 郭万学. 超声医学[M]. 第4版. 北京: 科学技术文献出版社, 2011; 799-800.
- [18] Grant EG, Benson CB, Moneta GL, et al. Carotid artery stenosis: gray-scale and Doppler US diagnosis--Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference[J]. *Radiology*, 2003, 229(2): 340-346.
- [19] Australia Society for Ultrasound in Medicine. Colour duplex doppler ultrasound extracranial carotid artery disease: policies and statement of Australia of society ultrasound in medicine[J]. *HPB (Oxford)*, 2008, 10(Suppl 1): 7-228.
- [20] 华 扬, 刘蓓蓓, 凌晨, 等. 超声检查对颈动脉狭窄 50%~69%和 70%~99%诊断准确性的评估[J]. *中国脑血管病杂志*, 2006, 3(5): 211-218.
- [21] 柳舜兰, 朱建平, 蒋彦彦, 等. 初步探讨彩色多普勒血流成像三种参数标准评价颈内动脉粥样硬化性狭窄的诊断价值[J]. *临床超声医学杂志*, 2013, 15(3): 161-165.
- [22] Pisimisis GT, Katsavelis D, Mandiwala T, et al. Common carotid artery peak systolic velocity ratio predicts high-grade common carotid stenosis[J]. *J Vasc Surg*, 2015, 62(1): 951-957.
- [23] Von Reutern GM, Goertler MW, Bornstein NM, et al. Grading carotid stenosis using ultrasonic methods [J]. *Stroke*, 2012, 43(1): 916-921.
- [24] 李 军, 刘 刚, 彭小祥. 颈内动脉颅外段狭窄超声检测参数的判别分析和主成分分析[J]. *中国脑血管病杂志*, 2008, 5(6): 246-250.
- [25] Grajo JR, Barr RG. Duplex doppler sonography of the carotid artery: velocity measurements in an artery with contralateral stenosis[J]. *Ultrasound Q*, 2007, 23(3): 199-202.
- [26] 夏明钰, 华 扬, 贾凌云, 等. 彩色多普勒超声对双侧颈内动脉狭窄血流速度高估的研究[J]. *中国脑血管病杂志*, 2011, 8(11): 570-575.
- [27] Kolkert JL, Van Den Dungen JJ, Loonstra J, et al. Over estimation of contralateral internal carotid artery stenosis before ipsilateral surgical endarterectomy [J]. *Eur J Radiol*, 2011, 77(1): 68-72.
- [28] 华 扬. 血管超声对颈部多支动脉狭窄病变的检测评估应注意的问题[J]. *中华医学超声杂志*, 2012, 9(10): 570-575.
- [29] Wallace SM, Yasmin, McEniery CM, et al. Isolated systolic hypertension is characterized by increased aortic stiffness and endothelial dysfunction [J]. *Hypertension*, 2007, 50(1): 228-233.
- [30] Beach KW, Bergelin RO, Leotta DF, et al. Standardized ultrasound evaluation of carotid stenosis for clinical trials: University of Washington Ultrasound Reading Center[J]. *Cardiovasc Ultrasound*, 2010, 8(1): 39.
- [31] U-King-Im JM, Young V, Gillard JH. Carotid-artery imaging in the diagnosis and management of patients at risk of stroke [J]. *Lancet Neurol*, 2009, 8(6): 569-580.
- [32] Grizzell BE, Ammar AD, Stephen D, et al. Carotid stenosis: change of treatment plan based on repeat duplex ultrasonography[J]. *Am J Surg*, 2012, 20(3): 121-126.
- (此文编辑 曾学清)