Color coding of digital subtraction angiography in assessment of hemodynamic changes before and after carotid stent implantation

*YUAN Chen, QU Xiaofeng, DENG Xiaowen, LI Bo, LIU Yizhi**

(*Department of Intervention, the First Affiliated Hospital of Suzhou University, Suzhou* 215000, *China*)

[**Abstract**] **Objective** To evaluate the feasibility of color coding of DSA (CC-DSA) in assessment of hemodynamic changes before and after carotid artery stenting (CAS). **Methods** Data of 16 patients with severe stenosis at the beginning of internal carotid artery who underwent CAS were analyzed retrospectively. DSA images before and after CAS were processed with CC-DSA software to get the corresponding color coded images. The points of interest (POI) were set up in common carotid artery, C1 segment of internal carotid artery, M1 segment of middle cerebral artery and transverse sinus, respectively, and the time to peak (TTP) as well as the relative time to peak (rTTP) of each POI were collected. Meanwhile, the peak systolic velocity (PSV) and end-diastolic velocity (EDV) of the anterior and posterior carotid artery stenosis segments and the distal end of the internal carotid artery C1 segment (normal lumen) were collected. **Results** TTP and rTTP of C1 segment of internal carotid artery and M1 segment of middle cerebral artery after CAS were lower than those before CAS (all $P<0.05$). No difference of TTP in common carotid artery, transverse sinus nor rTTP of common carotid artery was found before and after CAS (all $P>0.05$). Compared with those before CAS, PSV and EDV in carotid artery stenosis segment decreased, and PSV in the distal segment C1 of internal carotid artery increased after CAS (all $P<0.05$). The change value of TTP in C1 segment of internal carotid artery before and after CAS was positively correlated with the change values of PSV ($r_s=0.500$, $P=0.049$) and EDV ($r_s=0.522$, $P=0.038$) at the distal end. **Conclusion** CC-DSA can quantitatively evaluate the hemodynamic changes before and after CAS in patients with internal carotid artery stenosis.

[**Keywords**] stents; carotid arteries; interventional therapy; angiography, digital subtraction

DOI: 10.13929/j.issn.1672-8475.2020.05.003

血流彩色编码成像技术评估颈动脉植入支架前后血流动力学变化

袁 晨, 瞿小峰, 邓小文, 李 波, 刘一之*

(苏州大学附属第一医院介入科, 江苏 苏州 215000)

[**摘 要**] **目的** 探讨彩色血流编码 DSA(CC-DSA)评估颈动脉支架植入术(CAS)前后血流动力学变化的可行性。**方法** 回顾性分析接受 CAS 治疗的颈内动脉起始段重度狭窄患者 16 例。将 CAS 前后颈动脉造影图像经 CC-DSA 后处理得到相应的彩色血流编码图像,分别于颈总动脉、颈内动脉 C1 段、大脑中动脉 M1 段及横窦处设置感兴趣点(POI),分别检测达峰时间(TTP)及相对达峰时间(rTTP)。同时收集 CAS 前后颈动脉狭窄段及颈内动脉 C1 段远端(管腔正常处)收缩期峰值流速(PSV)及舒张末期流速(EDV)。**结果** CAS 治疗后颈内动脉 C1 段及大脑中动脉 M1 段 TTP 及 rTTP 均较

[**第一作者**] 袁晨(1991—),男,江苏苏州人,硕士,医师。研究方向:神经介入。E-mail: yuanchen201403@163.com

[**通信作者**] 刘一之,苏州大学附属第一医院介入科,215000。E-mail: liuyz-sz@163.com

[**收稿日期**] 2019-11-11 [**修回日期**] 2020-04-09

术前降低(P 均<0.05),CAS 治疗前后颈总动脉、横窦 TTP 及横窦 rTTP 差异均无统计学意义(P 均>0.05)。CAS 治疗后颈动脉狭窄段 PSV 及 EDV 均较术前降低,颈内动脉 C1 段远端 PSV 较术前升高(P 均<0.05)。CAS 治疗前后颈内动脉 C1 段 TTP 变化值与其远端(管腔正常处)超声参数 PSV、EDV 变化值均呈正相关($r_s=0.500$、0.522,$P=0.049$、0.038)。**结论** CC-DSA 可量化评估颈内动脉狭窄患者 CAS 治疗后血流动力学变化。

[**关键词**] 支架;颈动脉;介入治疗;血管造影术,数字减影

[**中图分类号**] R543.5;R815 [**文献标识码**] A [**文章编号**] 1672-8475(2020)05-0266-04

颈动脉支架植入术(carotid artery stenting,CAS)创伤小,术后患者恢复快、住院时间短,临床应用范围逐渐增大[1]。目前主要采用彩色多普勒超声、CT 灌注成像、PET 及 SPECT 等评估 CAS 前后血流动力学变化[2-4],增加患者辐射剂量及经济负担,且需于支架植入一段时间后进行,具有一定延时性。

彩色血流编码 DSA(color coding of DSA,CC-DSA)是基于 DSA 的一项新技术[5-6],利用 Syngo iFlow 后处理软件,根据血管中每个像素点内对比剂浓度达到高峰的时间不同而赋予每个像素点不同颜色,得到相应的彩色血流编码图像。目前 CC-DSA 已广泛应用于神经介入、肿瘤介入、外周血管介入等领域,用于诊断疾病、制定治疗方案及量化评估治疗前后血流动力学等,效果较好[7-10]。本研究探讨以 CC-DSA 评估 CAS 术前及术后血流动力学变化的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2016 年 12 月—2018 年 9 月 16 例于苏州大学附属第一医院接受 CAS 治疗的颈内动脉起始段重度狭窄患者,男 15 例,女 1 例,年龄 61～80 岁,平均(70.4±5.8)岁;其中左右侧颈动脉病变各 8 例。纳入标准:①单纯一侧颈内动脉起始段重度狭窄,狭窄率$>70\%$,狭窄远端血管正常;②Wills 环完整,无横窦缺失;③血管造影图像保留完整;④手术前后超声资料完整。

1.2 仪器与方法 采用 Siemens Artis Zeego DSA 机。将 4F(长 125 cm)单弯导管头端置于颈总动脉分叉处以下约 3 cm;注射对比剂威视派克(每支 100 ml,GE),流率 4 ml/s,总量 9 ml,注射延迟 1 s;图像采集帧数 4 帧/秒,采集至颈静脉显影。对造影图像进行后处理,得到相应的彩色血流编码图像,分别于颈总动脉植入支架段远近端,颈内动脉 C1 段、大脑中动脉 M1 段及横窦处设置感兴趣点(point of interest,POI),记录上述位置对比剂浓度达峰时间(time to peak,TTP,即血管内某一点对比剂浓度达到最大值所需要的时间)及相对于颈总动脉的相对达峰时间(relative time to peak,rTTP,即血流从颈总动脉 POI 到其他部位 POI 所需要的时间)。

采用 VIASYS Sonara 型血流分析仪,探头频率 2 MHz,分别于 CAS 前后行颈部超声检查,检测颈动脉狭窄段和颈内动脉 C1 段远端(管腔正常处)收缩期峰值流速(peak systolic velocity,PSV)及舒张末期流速(end diastolic velocity,EDV)。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 20.0 统计分析软件。计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,以配对 t 检验比较 CAS 前后数据,组间比较采用独立样本 t 检验。以 *Spearman* 相关分析观察参数间相关性。$P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 TTP 及 rTTP CAS 后颈内动脉 C1 段及大脑中动脉 M1 段 TTP 及 rTTP 均较术前降低(P 均<0.05),CAS 前后颈总动脉、横窦 TTP 及横窦 rTTP 差异均无统计学意义(P 均>0.05)。见表 1、2 及图 1。

2.2 PSV 及 EDV CAS 后颈动脉狭窄段 PSV 及 EDV 均较术前降低,颈内动脉 C1 段远端 PSV 较术前升高(P 均<0.05),CAS 前后颈内动脉 C1 段远端 EDV 差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 3。

2.3 相关性 CAS 前后颈内动脉 C1 段 TTP 变化值与其远端(管腔正常处)超声参数 PSV、EDV 变化值均呈正相关($r_s=0.500$、0.522,$P=0.049$、0.038)。

3 讨论

CC-DSA 基于原始 DSA 灰阶图像获得每个像素点从图像开始采集到对比剂充盈达到 TTP 的时间,TTP 反映血流速度,TTP 值越小,血流速度越快,操作简单,可快速对 DSA 的灰阶图像进行后处理及量化而不延长手术时间[11]。既往研究[12]报道,CC-DSA 能辅助临床医师、特别是低年资医师诊断脑血管疾病。GOLITZ 等[13]发现 CC-DSA 能将颈内动脉海绵窦瘘(carotid cavernous fistula,CCF)复杂的瘘口可视化,从而更精确评估静脉引流方式,并能量化分析手术前后血流变化,为进一步治疗提供客观参考。CHO 等[14]通过 CC-DSA 量化评估儿童烟雾病旁路术后新血

表 1　CAS 前后各 POI 的 TTP 值比较(s, $\bar{x}\pm s$, $n=16$)

时间点	TTP			
	颈总动脉	颈内动脉 C1 段	大脑中动脉 M1 段	横窦
CAS 前	3.23±0.51	4.75±1.65	5.48±1.46	14.35±5.84
CAS 后	3.37±0.60	3.52±0.46	4.18±0.63	12.00±1.80
t 值	−0.921	3.223	3.448	1.806
P 值	0.372	0.006	0.004	0.091

表 2　CAS 前后各 POI 的 rTTP 值比较(s, $\bar{x}\pm s$, $n=16$)

时间点	rTTP		
	颈内动脉 C1 段	大脑中动脉 M1 段	横窦
CAS 前	1.53±1.43	2.26±1.24	11.12±5.77
CAS 后	0.15±0.41	0.82±0.67	8.63±1.53
t 值	3.726	3.663	1.872
P 值	0.002	0.002	0.081

表 3　CAS 前后颈动脉狭窄段及颈内动脉 C1 段远端 PSV、EDV 比较(cm/s, $\bar{x}\pm s$, $n=16$)

时间点	PSV		EDV	
	颈动脉狭窄段	颈内动脉 C1 段远端	颈动脉狭窄段	颈内动脉 C1 段远端
CAS 前	421.48±144.76	96.00±41.67	189.42±115.15	42.06±19.80
CAS 后	129.79±73.10	118.52±33.45	45.00±31.41	45.74±14.19
t 值	9.845	−1.837	5.983	−0.558
P 值	<0.001	0.017	<0.001	0.584

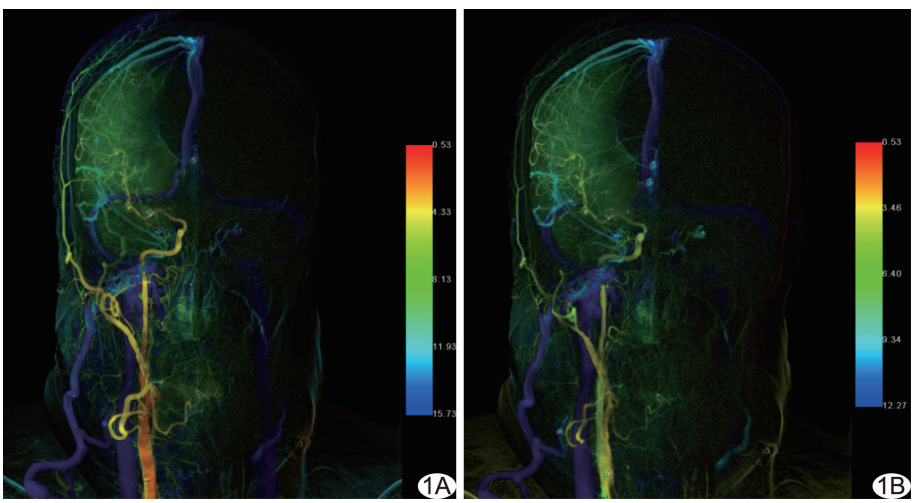


图 1　患者男，62 岁，因右侧颈内动脉起始段重度狭窄接受 CAS　A. 术前 CC-DSA 图像，颈内动脉 C1 段 rTTP=1.87 s，大脑中动脉 M1 段 rTTP=3.73 s，横窦 rTTP=11.47 s；B. 术后 CC-DSA 图像，颈内动脉 C1 段 rTTP=1.33 s，大脑中动脉 M1 段 rTTP=2.93 s，横窦 rTTP=8.80 s

管状态，进而预测患儿血管搭桥术预后。ZHOU 等[15]将 CC-DSA 用于评估血管内治疗腹主动脉瘤后内瘘情况，为后续治疗提供参考。

目前国内外对于选择 POI 尚无统一标准。为使被选取的 POI 更有代表性，本研究分别选择病变血管颅外段及颅内段进行统计分析，但造影导管位置可能因支架植入而发生变化，且支架植入前后对比剂注射速度不一致，而植入支架前后患者血压、心率等生命体征变化等不确定因素均可能影响手术前后 TTP 值。为减少由此带来的误差，本研究不仅对各 POI 的 CAS 前后 TTP 值进行分析，而且进一步计算出 rTTP 进行统计学分析。本研究结果显示，CAS 后颈内动脉 C1 段及大脑中动脉 M1 段 TTP 及 rTTP 均较术前降低，而 CAS 前后颈总动脉、横窦 TTP 及横窦 rTTP 差异均无统计学意义，提示植入支架后狭窄远端及颅内血流速度明显加快。CAS 后颈总动脉 TTP 值较术前升高，考虑由于颈动脉狭窄时正常血流前行受到阻力影响而形成涡流，使血管内血流速度加快，支架植入解除狭窄后血流阻力减小，血流层流恢复，故血流速度降低；但本组 CAS 前后颈总动脉 TTP 值差异无统计学意义，考虑与样本量不足有关。

将颈总动脉 POI 设置为参照点，获得颈内动脉 C1 段 rTTP，代表血流从颈总动脉到颈内动脉所需要的时间，可反映颅外段血流动力学情况。大脑中动脉 M1 段 rTTP 代表血流从颈总动脉到大脑中动脉所需要的时间，反映颅内血流动力学情况；横窦处 rTTP 代表血流从颈总动脉到横窦所需要的时间，可间接反映脑循环时间。本研究结果显示，CAS 后颈内动脉 C1 段 rTTP 及大脑中动脉 M1 段 rTTP 均较术前明显降低，提示植入支架后颅外段血流及颅内血流速度加快；而横窦处 rTTP 值虽较术前降低，但差异无统计学意义，可能由于横窦引流的是

双侧颈动脉及双侧椎动脉血流,一侧颈动脉狭窄对其影响较小。

经颅多普勒超声通过频谱形态来判断所测血管存在一定误差,但可清楚显示血管的解剖特征,能更好定位相应血管,所测数据准确性高,已有多项研究[16-18]证实了彩色多普勒超声评估支架植入术后血流动力学改善情况的价值。本研究发现支架植入后狭窄段 PSV、EDV 均较术前降低,提示狭窄解除后血流动力学好转;支架植入后狭窄远端 PSV 较术前升高,提示支架植入后狭窄远端血流速度得到改善;而 CC-DSA 所测血流动力学参数结果与之相符,均提示植入支架后患侧血管血流动力学得到改善,表明利用 CC-DSA 评估 CAS 后血流动力学变化情况是可行的,可为手术医师提供可靠的参考依据。对 CAS 前后参数变化值进行相关性分析,发现 CAS 前后颈内动脉 C1 段 TTP 变化值与其远端(管腔正常处)超声参数 PSV、EDV 变化值均呈弱相关。分析原因,可能在于超声所测参数为血流速度,而 CC-DSA 所测参数为某一 POI 内对比剂充盈 TTP,所测参数不同,导致二者数值变化趋势相关性相对较弱;另外,本研究为回顾性分析,设定的 POI 位置不同于超声测量狭窄远段血流动力学时的血管位置,导致相关性不高。

本研究样本量小,需加大样本进一步完善,并对所获结果加以验证。

[参考文献]

[1] DUMONT T M, RUGHANI A I. National trends in carotid artery revascularization surgery[J]. J Neurosurg, 2012,116(6):1251-1257.

[2] GAUAIELLO F, COLANGELO V, BOLACCHI F, et al. Sixty-four-section CT cerebral perfusion evaluation in patients with carotid artery stenosis before and after stenting with a cerebral protection device[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2008,29(5):919-923.

[3] YAMAMOTO D, HOSODA K, UCHIHASHI Y, et al. Perioperative changes in cerebral perfusion territories assessed by arterial spin labeling magnetic resonance imaging are associated with postoperative increases in cerebral blood flow in patients with carotid stenosis[J]. World Neurosurg, 2017,102:477-486.

[4] TROJANOWSKA A, DROP A, JARIELLO T, et al. Changes in cerebral hemodynamics after carotid stenting: Evaluation with CT perfusion studies[J]. J Neuroradiol, 2006,33(3):169-174.

[5] STRUFFERT T, DEUERLING-ZHENG Y, ENGELHORN T, et al. Monitoring of balloon test occlusion of the internal carotid artery by parametric color coding and perfusion imaging within the angio suite: Firstresults[J]. Clin Neuroradiol, 2013,23(4):285-292.

[6] HUNTER J V. Parametric imaging applied to renal digital subtraction angiography: Establishment of normal ranges[J]. Urol Radiol, 1986,8(4):204-208.

[7] LIN C J, CHANG F C, GUO W Y, et al. Changes of time-attenuation curve blood flow parameters in patients with and without carotid stenosis[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2015,36(6):1176-1181.

[8] LIN C J, CHANG F C, TSAI F Y, et al. Stenotic transverse sinus predisposes to poststenting hyperperfusion syndrome as evidenced by quantitative analysis of peritherapeutic cerebral circulation time[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2014,35(6):1132-1136.

[9] TINELLI G, MINELLI F, DE NIGRIS F, et al. The potential role of quantitative digital subtraction angiography in evaluating type B chronic aortic dissection during TEVAR: Preliminary results[J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2018,22(2):516-522.

[10] WANG J, CHENG J J, HUANG K Y, et al. Quantitative assessment of angiographic perfusion reduction using color-coded digital subtraction angiography during transarterial chemoembolization[J]. Abdom Radiol (NY), 2016,41(3):545-552.

[11] KOSTRZEWA M, KARA K, PILZ L, et al. Treatment evaluation of flow-limiting stenoses of the superficial femoral and popliteal artery by parametric color-codinganalysis of digital subtraction angiography series[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2017,40(8):1147-1154.

[12] 黄远亮,周玉明,童绥君,等.iFlow 成像辅助诊断脑血管性病变[J].中国介入影像与治疗学,2011,8(5):401-404.

[13] GOLITZ P, STRUFFERT T, LUCKING H, et al. Parametric color coding of digital subtraction angiography in the evaluation of carotid cavernous fistulas[J]. Clin Neuroradiol, 2013,23(2):113-120.

[14] CHO H H, CHEON J E, KIM S K, et al. Quantitative assessment of neovascularization after indirect bypass surgery: Color-coded digital subtraction angiography in pediatric Moyamoya disease[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2016,37(5):932-938.

[15] ZHOU M, SU Z, SHI Z, et al. Application of color-coded quantitative digital subtraction angiography in predicting the outcomes of immediate type Ⅰ and type Ⅲ endoleaks[J]. J Vasc Surg, 2017,66(3):760-767.

[16] Lal B K, Hobson R W, Goldstein J, et al. Carotid artery stenting: Is there a need to revise ultrasound velocity criteria?[J]. J Vasc Surg, 2004,39(1):58-66.

[17] Younis G A, Gupta K, Mortazavi A, et al. Predictors of carotid stent restenosis[J]. Catheter Cardiovasc Interv, 2007, 69(5):673-682.

[18] Stayman A N, Nogueira R G, Gupta R. A systematic review of stenting and angioplasty of symptomatic extracranial vertebral artery stenosis[J]. Stroke, 2011,42(8):2212-2216.