❖影像技术学

Features extraction of cerebral vascular perfusion based on DSA dynamic imaging

QIAO Huiting[1], ZHAO Hongjun[1], CHENG Ziman[1], LI Deyu[1], HAN Jintao[2*]
(1. School of Biological Science and Medical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;
2. Department of Interventional Radiology and Vascular Surgery, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China)

[**Abstract**] **Objective** To extract the cerebral perfusion characteristics from the DSA images. **Methods** A retrospective analysis was made on the 11 cases of stoke with the cerebral vascular interventional surgery. The middle cerebral artery and carotid artery DSA data were obtained, and the time-gray scale curve of the ROI was extracted by using the software platform. And then the curve was analyzed to obtain characteristic parameters, including time-to-peak (TTP), before-peak-curvilinear integral (PCI), curve-fitting-slope (CFS) and the ratio of the minimum and maximum (MIN/MAX). These characteristic parameters were analyzed statistically. **Results** In the carotid artery, the postoperative PCI, CFS and MIN/MAX were significantly lower than those of the pre-operation (all $P<0.05$), while the postoperative TTP was higher than that of the pre-operation, but there was no statistical difference. In the middle cerebral artery, the postoperative PCI, CFS and MIN/MAX were significantly lower than those of the pre-operation (all $P<0.05$), while the postoperative TTP was significantly higher than that of the pre-operation ($P<0.05$). **Conclusion** The TTP and CFS extracted from DSA dynamic imaging can represent the blood flow velocity of the cerebral vascular; the MIN/MAX may predict the vibration level; the PCI can be used to predict the hyperperfusion syndrome. The four parameters can be used to evaluate the cerebral perfusion status.

[**Key words**] Cerebrovascular disorders; Angiography, digital subtraction; Perfusion imaging
DOI:10.13929/j.1003-3289.2016.09.032

基于 DSA 动态图像的颅内动脉灌注特征提取

乔惠婷[1],赵红俊[1],程子旻[1],李德玉[1],韩金涛[2*]
(1.北京航空航天大学生物与医学工程学院,北京 100191;
2.北京大学第三医院介入血管外科,北京 100191)

[**摘 要**] **目的** 基于临床 DSA 动态图像提取颅内动脉灌注的特征。**方法** 回顾性分析 11 例患者介入手术前后的 DSA 动态影像数据,分别选取正位大脑中动脉 ROI 和颈动脉 ROI,利用软件平台获取 ROI 的时间特征曲线,提取达峰时间(TTP)、达峰前曲线积分(PCI)、峰值前曲线拟合斜率(CFS)以及最小最大比值(MIN/MAX)4 个灌注特征。对大脑中动脉和颈动脉 DSA 图像介入治疗术前、术后的上述 4 个特征进行统计学分析。**结果** 在颈动脉 DSA 图像中,PCI、CFS 和 MIN/MAX 术后较术前均明显下降($P<0.05$),TTP 术后较术前有所上升,但差异无统计学意义。在大脑中动脉 DSA 图像中,TTP 术后较术前有明显上升($P<0.05$),PCI、CFS 和 MIN/MAX 术后较术前均明显下降($P<0.05$)。**结论** 基于 DSA 动态图像提取出的 TTP 和 CFS 可表征脑血管的血流速度,MIN/MAX 可表征脑血流量的振荡程度,PCI 可用来预测高灌注综合征。本文基于 DSA 提取的颅内动脉灌注特征可用于评价脑血管灌注状态。

[**第一作者**] 乔惠婷(1980—),女,黑龙江哈尔滨人,博士,讲师。研究方向:生物医学工程。E-mail:qht@buaa.edu.cn
[**通信作者**] 韩金涛,北京大学第三医院介入血管外科,100191。E-mail:bmucystal@163.com
[**收稿日期**] 2016-02-25 [**修回日期**] 2016-06-21

［关键词］ 脑血管疾病;血管造影术,数字减影;灌注成像
［中图分类号］ R815 ［文献标识码］ A ［文献标识码］ 1003-3289(2016)09-1445-04

脑血管病已成为我国第一大健康杀手,介入治疗是目前常见的脑血管疾病的治疗手段。对于脑血管介入手术,脑血管血流灌注特征的获取和分析十分关键[1]。目前国内外对于脑血管血流灌注状态的研究[2-3]主要集中在 MRI 和 CT 灌注特征的分析,对于 DSA 图像颅内灌注特征的分析较少。Axel 等[4]最先得到了脑血流量和脑血容量的定量结果,Miles 等[5]对 CT 灌注特征的临床应用进行了初步探讨。但 MRI 灌注或 CT 灌注并不是适用于所有患者的检查手段[6],DSA 作为一种脑血管介入手术必须的监控成像手段,是进行介入手术的患者必须接受的检查。目前对 DSA 图像的分析主要集中于血管狭窄率的计算和前向血流分级以及侧支代偿分级[7-8],而对脑血管血流灌注状态分析的应用可能性,并未得到充分重视。此外,以往对于 DSA 图像的诊断受医师经验限制,主观性较强。因此本文基于 DSA 图像提取颅内灌注的相关特征,以辅助医师客观评价脑血管疾病介入治疗效果。

1　资料与方法

1.1　一般资料　收集北京大学第三医院 11 例脑血管疾病患者的 DSA 图像,其中男 8 例,女 3 例,年龄 54～77 岁,中位年龄 62.0 岁;其中 4 例患者双侧颈动脉狭窄,但均仅对一侧颈动脉进行血管内介入手术治疗,且手术治疗成功,经 2 名专业医师判断术后血流有明显改善。

1.2　仪器与方法　采用 GE Innova 4100 DSA 机,威视派克注射剂量 7 ml,速率 4 ml/s,注射压力 900 psi;采集速率 6 帧/秒。

1.2.1　图像预处理　采用 MRIcro 软件读取 DSA 动态图像[9],在介入血管外科临床医师的指导下选取约 2 000 个像素的大脑中动脉 ROI 和约 500 个像素的颈动脉 ROI(图 1),利用分析文件逐帧提取 ROI 的灰度值,绘制 ROI 的时间特征曲线。

1.2.2　特征提取　采用 Matlab 平台对时间特征曲线进行处理,定义达峰时间(time to peak, TTP)、达峰前曲线积分(peak-curvilinear integral, PCI)、峰值前曲线拟合斜率(curve-fitting slope, CFS)以及最小最大比值(MIN/MAX)4 个特征,并分别提取介入治疗术前、术后的颈动脉 ROI 及大脑中动脉 ROI 的上述 4 个特征。基于 DSA 图像的灌注特征定义为:①TTP,达峰时刻的帧数与该图像序列全部帧数的比值,无量纲。在大脑中动脉的时间特征曲线中,由于静脉窦的存在,在 16～18 帧之间存在二次峰。本文的达峰时刻是对比剂到达相应 ROI 所用的时间,即曲线中第一个峰值所对应的时间(图 2)。②PCI,达峰前时间特性曲线下的面积,灰度单位×s(图 3)。③CFS,达峰前曲线的积分与时间(即帧数)的比值,平均灰度单位。④MIN/MAX,时间特性曲线的灰度最小值与最大值的比值,无量纲(图 3)。

1.3　统计学分析　采用 Graphpad Prism 软件制作统计结果图。采用 SPSS 20.0 统计分析软件,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示。术前与术后特征对比采用配对 t 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2　结果

针对颈动脉灌注特征值,对比介入治疗前、治疗后的特征除,TTP 上升外,PCI、CFS 和 MIN/MAX 均呈下降趋势。术后 PCI、CFS、MIN/MAX 均低于术前,且差异有统计学意义(P 均<0.05);术后 TTP 上升不明显,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。

针对大脑中动脉灌注特征值,对比介入治疗前、治疗后的特征,除 TTP 上升外,PCI、CFS 和 MIN/MAX 均呈下降趋势。术后 PCI、MIN/MAX 和 CFS 均低于术前,差异均有统计学意义(P 均<0.05);术后 TTP 高于术前,差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2。

3　讨论

本文基于 DSA 提取出的 4 个灌注特征可用于辅助医师定量评价介入治疗的效果。DSA 图像在介入治疗效果评价中已广泛应用[10],但至今仍为通过医师的主观判断。本文提取的 DSA 图像特征为定量评价治疗效果提供了一定的理论依据。同时,DSA 相比于 CT 灌注及 MRI 灌注成像具有适用范围广、实时性强且价格低廉等优点,并且可保证每例患者术前术后均具有相应的影像数据。因此合理利用 DSA 图像对介入治疗效果的评价有重要作用。

基于 DSA 图像提取出的 TTP,与 CT 灌注和 MRI 灌注成像中的 TTP 类似[11],均可表征血流速度。本研究结果显示大脑中动脉 TTP 术后较术前明显上升,即 TTP 相对延长,提示术后大脑中动脉血流速度下降。因狭窄部位放入支架后,可供血液流过的管径瞬时变大,其速度也相应降低。由于受对比剂注射位置的影响,颈动脉 TTP 上升变化并不明显。为此,本研究定

表 1　术前、术后颈动脉特征参数比较（$\bar{x}\pm s$）

时间	TTP	PCI	CFS	MIN/MAX
术前	0.25±0.05	26 709.09±4 880.05	2 381.82±121.06	0.62±0.13
术后	0.28±0.05	22 160.27±1 786.26	2 183.64±110.84	0.55±0.09
t 值	−1.719	3.051	4.234	2.479
P 值	0.116	0.012	0.002	0.033

表 2　术前、术后大脑中动脉特征参数比较（$\bar{x}\pm s$）

时间	TTP	PCI	CFS	MIN/MAX
术前	0.30±0.11	36 836.73±8 461.48	2 589.09±79.43	0.84±0.03
术后	0.35±0.13	31 236.36±7 803.62	2 480.00±62.45	0.81±0.04
t 值	−2.316	2.326	3.408	2.543
P 值	0.043	0.042	0.007	0.029



图 1　DSA 动态图像中的 ROI　A. 第 11 帧的 DSA 图像；B. 第 13 帧的 DSA 图像　（实线圈为颈动脉 ROI；虚线圈为大脑中动脉 ROI）

义并提取了 CFS，CFS 越大，提示对比剂通过 ROI 的速度越快，表明血流流速越快。本研究结果发现颈动脉和大脑中动脉术后 CFS 均呈现明显下降趋势，表明治疗效果良好，狭窄部位血流速度已得到明显减缓。

本研究定义并提取出的代表脑血流量振荡程度的 MIN/MAX，其中最大值表征“本底”，与个体差异相关，一般认为，血流速度降低，排空变慢，最小值也就变小。本研究中 MIN/MAX 术后明显减小，提示由于支架的存在，狭窄部位的血流相比于术前得到了缓冲，即脑血流量的振荡程度减弱。

本研究提取出的表征脑血流容量的 PCI，术后均呈明显下降趋势，且差异有统计学意义（$P<0.05$），即脑血流容量并未增加反而下降。但目前研究[12]发现在狭窄解除后，血流速度将变慢，血流量应增加。可能因本研究使用的术后 DSA 图像是介入手术结束后即刻的数据，反映短时间内血流动力学的变化。此外，PCI 还可被用以预测高灌注风险。高灌注综合征是在血管成形术以及支架手术后，患者出现不典型偏头痛、局部癫痫发作、颅内出血的表现。目前术后临床控制性地降压，以降低高灌注出血的风险[13]。如 PCI 在术后明显升高，需警惕由于血流量增加引起的高灌注出血风险。

为确保评价的可比性，本研究所有患者在治疗前后的 DSA 图像均于同一种条件下采集。但本研究未考虑不同造影注射参数对 DSA 图像的影响，随着对比

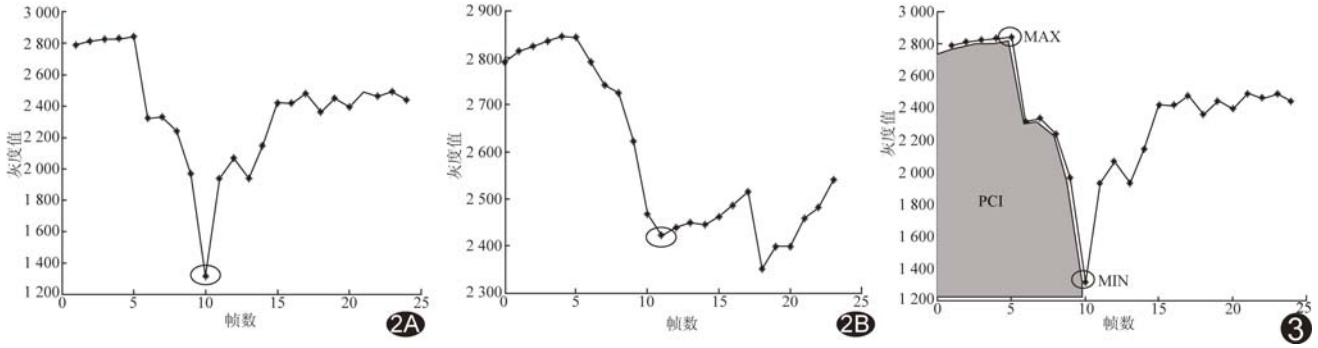


图 2　时间特征曲线峰值　A. 颈动脉时间特征曲线；B. 大脑中动脉时间特征曲线　（实线圈代表用于本文计算的曲线的第一个峰值）

图 3　DSA 图像特征　图中所示阴影面积为 PCI，CFS 为 PCI 与达峰时帧数的比值

剂流速和流量的改变，DSA 图像的灰度值会发生相应变化[11]。本研究所提出的方法是基于术前、术后对比图像的相对变化进行治疗效果的评价，故造影注射参数对治疗效果评价的影响可忽略，不同造影注射参数对于各特征值的影响还需进一步探讨。

总之，基于 DSA 动态图像提取的 TTP 和 CFS 表征脑血管的血流速度，MIN/MAX 表征脑血流量的振荡程度，PCI 可用来预测高灌注。本文提取的 4 个颅内动脉灌注特征可用来评价脑血管灌注状态，为辅助临床客观评价脑血管的介入治疗效果提供参考。

［参考文献］

［1］ Grand S, Tahon F, Attye A, et al. Perfusion imaging in brain disease. Diagn Interv Imaging, 2013, 94(12): 1241-1257.

［2］ Summers D, Malloy R. CT and MR imaging in the acute ischemic stroke patient: A nursing perspective. J Radiol Nursing, 2011, 30(3): 104-115.

［3］ 林景兴. 脑 CT 灌注成像研究进展. 海南医学, 2014, 25(3): 390-392.

［4］ Axel L. Tissue mean transit time from dynamic computed tomography by a simple deconvolution technique. Invest Radiol, 1983, 18(1): 94-99.

［5］ Miles KA. Acute cerebral stroke imaging and brain perfusion with the use of high-concentration contrast media. Eur Radiol, 2003, 13(Suppl 5): M117-M120.

［6］ 张敏，段惠玲. 缺血性脑血管病 CT/MRI、TCD、颈部血管彩超和 DSA 检测对比分析. 中国实用神经疾病杂志，2006，9(6)：154.

［7］ 李尧，龚浠平，王拥军，等. 单侧颈动脉闭塞 DSA 的侧支血流分级与 CT 灌注的脑组织灌注分期之间的关系. 中国医学影像技术，2006，22(6)：845-849.

［8］ Technology Assesssment Committees of the American Society of Interventional and Therapeutic Neuroradiology, Society of Interventional Radiology. Trial design and reporting standards for intraarterial cerebral thrombolysis for acute ischemic stroke. 2003. J Vasc Interv Radiol, 2003, 14(8): 945-946.

［9］ 董峰，汲业，于庆宝，等. MRIcro 在脑功能成像分析中的应用. 中国医学影像技术，2005，21(3)：342-344.

［10］ 王金龙，凌锋，李慎茂，等. DSA 灌注造影在缺血性脑血管病介入检查及治疗中的应用. 放射学实践，2005，20(9)：803-805.

［11］ Simonsen CZ, stergaard L, Vestergaard-Poulsen P, et al. CBF and CBV measurements by USPIO bolus tracking: Reproducibility and comparison with Gd-based values. J Magn Reson Imaging, 1999, 9(2): 342-347.

［12］ 恽文伟，张志翔，徐龙宝，等. 颈动脉支架置入术对大脑皮质血流灌注量的影响. 临床神经病学杂志，2011，24(1)：45-47.

［13］ 吴永钧，钟维章. 脑高灌注综合征的发生与预防. 疑难病杂志，2014，13(2)：51.

《中枢神经系统肿瘤磁共振分类诊断》已出版

《中枢神经系统肿瘤磁共振分类诊断》于 2014 年 4 月由人民卫生出版社正式出版发行。本书由安徽医科大学第一附属医院院长，安徽医科大学第四附属医院院长，安徽医科大学第一临床学院院长、影像系主任余永强主编，中华医学会放射学分会主任委员冯晓源、中华医学会放射学分会磁共振组组长卢光明写序。

全书共分为 12 章，按照 WHO 第 4 版中枢神经系统肿瘤的分类顺序撰写。内容力求图文并茂，对常见病、多发病的影像学诊断进行总结、分析、比较、归纳，对少见、罕见病的 MRI 诊断，通过复习相关文献，描述影像学表现。本书适合 MRI 诊断专业医师、影像研究生及神经外科医师阅读，对临床其他专业医师及部分影像学本科专业学生，也有助于开阔视野。

本书定价 85 元，全国各大书店有售，欢迎订阅。

