

本文引用: 刘冬, 张慎和, 郭菲. CTP 成像对重度颈动脉狭窄患者保守治疗反应性的评估价值[J]. 中国动脉硬化杂志, 2023, 31(10): 872-878. DOI: 10.20039/j.cnki.1007-3949.2023.10.007.

· 临床研究 ·

[文章编号] 1007-3949(2023)31-10-0872-07

CTP 成像对重度颈动脉狭窄患者保守治疗反应性的评估价值

刘冬¹, 张慎和², 郭菲³

(1. 张家口市第一医院神经内一科, 河北省张家口市 075000; 2. 衡水市中医医院影像科, 河北省衡水市 053000;

3. 三河燕郊福合第一医院神经内科, 河北省三河市 065300)

[摘要] **[目的]** 探讨颅脑 CT 灌注(CTP)成像对重度颈动脉狭窄(CAS)患者保守治疗的反应性评估价值。**[方法]** 选取重度 CAS 患者 90 例作为研究对象, 均接受保守治疗, 根据 1 年内是否出现脑缺血性疾病分为低反应组和高反应组。对比两组局部脑血容量(rCBV)、局部脑血流量(rCBF)、局部平均通过时间(rMTT)、局部达峰时间(rTTP), 采用 Cox 回归模型分析保守治疗反应性的独立危险因素, 列线图分析 rCBV、rCBF、rTTP、rMTT 对保守治疗反应性的评估价值, 并进行决策曲线及临床影响曲线验证。**[结果]** 随访 1 年, 90 例重度 CAS 患者脱落 2 例, 有效随访 88 例, 未发生脑缺血相关并发症 65 例(高反应组), 发生脑缺血性疾病 23 例(低反应组), 其中短暂性脑缺血发作 15 例(17.05%), 脑梗死 8 例(9.09%); 治疗 3 个月, 两组 rCBF 大于治疗前, rMTT、rTTP 小于治疗前($P < 0.05$); 治疗前和治疗 3 个月, 低反应组 rCBF 小于高反应组, rMTT、rTTP 大于高反应组($P < 0.05$); 应用 Cox 回归模型筛选出的收缩压、尿酸、rCBF、rMTT、rTTP 构建重度 CAS 患者保守治疗反应性列线图预测模型, 一致性指数为 0.896; 校正曲线分析显示, 预测模型预测保守治疗反应性与实际保守治疗反应性吻合度较高; 在阈值为 0.16 ~ 0.95 范围内, 列线图模型联合评估重度 CAS 患者保守治疗反应性的净受益率优于单独检测; 在阈值概率为 0.41 时, 被联合检测方案划分为高风险的人数与真阳性例数基本达到一致。**[结论]** CTP 成像参数与重度 CAS 患者治疗反应性关系密切, 可为临床早期评估治疗反应性提供参考, 有助于确保患者获益。

[关键词] CTP 成像; 重度颈动脉狭窄; 保守治疗反应性

[中图分类号] R5

[文献标识码] A

The evaluation value of CTP imaging for conservative treatment response in patients with severe carotid stenosis

LIU Dong¹, ZHANG Shenhe², GUO Fei³

(1. Department of Neurology, Zhangjiakou First Hospital, Zhangjiakou, Hebei 075000, China; 2. Department of Imaging, Hengshui Hospital of Traditional Chinese Medicine, Hengshui, Hebei 053000, China; 3. Department of Neurology, Sanhe Yanjiao Fuhe First Hospital, Sanhe, Hebei 065300, China)

[ABSTRACT] **Aim** To investigate the value of cranial computed tomography perfusion (CTP) imaging in evaluating conservative treatment response in patients with severe carotid artery stenosis (CAS). **Methods** A total of 90 patients with severe CAS were selected as the research subjects, all received conservative treatment, and they were divided into low response group and high response group according to whether cerebral ischemic disease occurred within 1 year. Regional cerebral blood volume (rCBV), regional cerebral blood flow (rCBF), regional mean transit time (rMTT), and regional time to peak (rTTP) were compared between the two groups. Cox regression model was used to analyze the independent risk factors of conservative treatment responsiveness, and nomogram was used to analyze the value of rCBV, rCBF, rTTP and rMTT in evaluating conservative treatment responsiveness, and the decision curve and clinical impact curve were verified. **Results** Of the 90 patients with severe CAS, 2 cases dropped out after 1 year of follow-up, and 88 cases were effectively followed up. There were 65 cases without cerebral ischemia-related complications (in the high response group) and 23 cases with cerebral ischemic diseases (in the low response group), including 15 cases of transient ischemic attacks (17.05%) and 8 cases of cerebral infarction (9.09%). After 3 months of treatment, the

[收稿日期] 2022-11-08

[修回日期] 2023-09-22

[基金项目] 河北省医学科学研究课题计划项目(20221509)

[作者简介] 刘冬, 主治医师, 研究方向为重度颈动脉狭窄的治疗, E-mail: liudongdc90@163.com。

rCBF in the two groups was greater than that before treatment, and the rMTT and rTTP were lower than those before treatment ($P<0.05$). Before treatment and 3 months after treatment, the rCBF of the low response group was lower than that of the high response group, and the rMTT and rTTP of the high response group were higher than those of the high response group ($P<0.05$). The Cox regression model was used to screen out systolic blood pressure, uric acid, rCBF, rMTT and rTTP, and construct a nomogram prediction model for conservative treatment response in patients with severe CAS. The consistency index was 0.896. Calibration curve analysis showed that the prediction model predicted conservative treatment response was in good agreement with the actual conservative treatment response. Within a threshold range of 0.16 to 0.95, the net benefit rate of the combined nomogram model in assessing responsiveness to conservative treatment in patients with severe CAS was superior to testing alone. The number of people classified as high risk by the joint detection scheme and the number of true positive cases were basically the same when the threshold probability was 0.41. **Conclusion**

CTP imaging parameters are closely related to treatment responsiveness in patients with severe CAS, and they can provide a reference for early clinical evaluation of treatment responsiveness and help ensure patient benefit.

[**KEY WORDS**] CTP imaging; severe carotid artery stenosis; conservative treatment response

颈动脉狭窄(carotid artery stenosis, CAS)是脑卒中公认的一个危险因素,可给患者带来严重后遗症甚至病死^[1]。目前临床主张重度 CAS 患者优先进行外科手术治疗,但部分患者受限于医疗负担,尤其是无症状患者选择手术治疗依从性低。以阿司匹林联合阿托伐他汀钙片为代表的保守治疗方案仍是此群体的主要治疗手段,但不同患者治疗反应性存在一定差异,而如何早期评估此类患者治疗反应性以指导临床、强化引导、确保患者获益是临床亟需解决的问题之一。有研究证实,脑血管存在复杂的侧支循环代偿能力,并非所有重度 CAS 患者均存在脑血流动力学损害,即使颈动脉完全闭塞,若侧支循环充分,其脑血流动力学并无显著异常,而常规 CT 在检查脑血流动力学中存在局限性,无法显示细微改变^[2-3]。颅脑 CT 灌注(CT perfusion, CTP)是一种功能性影像学检查技术,可通过脑血流信息对脑组织由缺血至出现器质性改变进行直观性展现。Staronni 等^[4]研究提出,CTP 成像参数的早期改变有助于临床早期识别迟发性脑缺血,从而指导临床制定精准干预措施。本研究旨在探讨 CTP 成像对重度 CAS 患者保守治疗反应性的评估价值。

1 资料和方法

1.1 研究对象

选取 2020 年 1 月—2021 年 3 月张家口市第一医院收治的重度 CAS 患者 90 例作为研究对象,均接受保守治疗,参照《中国缺血性脑卒中和短暂性脑缺血发作二级预防指南 2014》^[5],根据 1 年内是否出现脑缺血性疾病分为低反应组和高反应组。其中男性 48 例,女性 42 例,年龄 38~78,平均年龄(57.96 ± 8.65)岁,体质指数(22.46 ± 2.01) kg/m²,

颅脑灌注缺损 64 例,吸烟 27 例,饮酒 28 例,高血压 60 例,高脂血症 46 例,糖尿病 22 例。纳入标准:①均参照《颈动脉狭窄诊治指南》^[6]体检发现 CAS,且狭窄程度>70%,既往 6 个月内无短暂性脑缺血发作、卒中或其他相关神经症状;②单侧 CAS 且未完全闭塞;③知情本研究内容,签署同意书。排除标准:①存在显著双侧颈内动脉、颅内动脉及椎动脉狭窄;②造影剂过敏者;③全身或脑部感染者;④血管严重变异或迂曲;⑤有心肌梗死史;⑥入院前已接受相关治疗者。

1.2 治疗方法

嘱戒烟,清淡饮食,多饮水,适宜运动。根据患者病情指导降压、降糖、降血脂治疗。同时服用阿司匹林(河南永和制药有限公司,国药准字 H41024303,规格 50 mg)联合阿托伐他汀钙片[齐鲁制药(海南)有限公司,国药准字 H20193144,规格 20 mg],阿司匹林 100 mg/次,1 次/天;阿托伐他汀钙片 20 mg/次,1 次/天。

1.3 CTP 检查

治疗前、治疗 3 个月 90 例重度 CAS 患者均接受飞利浦 256 排 CT(荷兰,型号:Brilliance CT)进行 CTP 检查,参数设置:视野 25 cm,层厚 5 mm,矩阵 512×512,探测器范围 20 mm,管球转速 1.0 s/rot,管电流 150 mA,管电压 100 kV。采用双筒高压注射器(东莞市一星医疗科技有限公司 CT-S100 型)经肘静脉团注 300 g/L 优维显 45 mL,注射速度为 5 mL/s,延迟 7 s 扫描,扫描时间 50 s,1 次/s。操作均由同一名资深放射科医师规范完成。

1.4 CTP 图像后处理

扫描完成后,采用 ISP V10.1 图像处理软件包导入数据并进行图像后处理。手动选取动脉、静脉,去除脑脊液、颅骨影响后获得每一像素的时间-

密度图,重建参数图,分别选取健侧大脑中动脉 M1 段、狭窄侧大脑中动脉 M1 段和基底动脉进行输入,上矢状窦作为输出静脉,均采用镜像技术对大脑前、中、后动脉供血区及异常灌注区进行感兴趣区域绘制并测量,记录局部脑血容量 (regional cerebral blood volume, rCBV)、局部脑血流量 (regional cerebral blood flow, rCBF)、局部平均通过时间 (regional mean transit time, rMTT)、局部达峰时间 (regional time to peak, rTTP) 相对值。

1.5 观察指标

(1) 随访 1 年统计脑缺血性疾病发生率; (2) 对比两组治疗前、治疗 3 个月 rCBV、rCBF、rMTT、rTTP; (3) 分析重度 CAS 患者保守治疗反应性的独立危险因素; (4) 分析治疗前 rCBV、rCBF、rMTT、rTTP 对保守治疗反应性的评估价值并进行决策曲线及临床影响曲线验证。

1.6 统计学分析

使用 SPSS 25.0 统计软件。计量资料进行 Kol-

mogorov-Smirnov 正态性检验,服从正态分布的以 $\bar{x} \pm s$ 表示,经 Bartlett 方差齐性检验,若具备方差齐性,两组间比较采用独立样本 t 检验。计数资料以例数 (%) 描述,采用 χ^2 检验。Cox 回归模型分析重度 CAS 患者保守治疗反应性的独立危险因素。通过 R4.1.0 统计分析软件和 rmda 软件包绘制列线图预测模型、决策曲线、临床影响曲线。双侧双尾检验,以 $\alpha=0.05$ 为检验水准。

2 结果

2.1 随访 1 年脑缺血性疾病发生率

随访 1 年,90 例重度 CAS 患者脱落 2 例,有效随访 88 例,未发生脑缺血相关并发症 65 例 (高反应组),发生脑缺血性疾病 23 例 (低反应组),其中短暂性脑缺血发作 15 例 (17.05%),脑梗死 8 例 (9.09%)。典型病例见图 1。

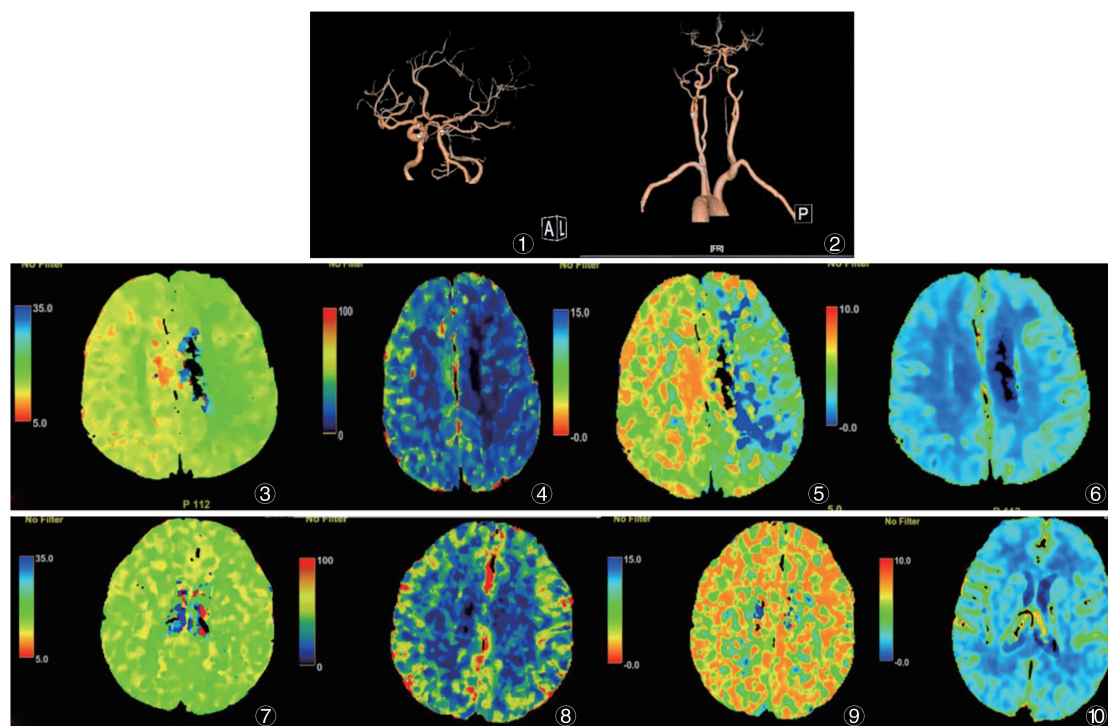


图 1. 重度 CAS 典型病例示图

①②示患者左侧颈内动脉狭窄;③示患侧 rTTP 延长,为 0.9 s;④示患侧 rCBF 明显减低,为 0.8 mL/(100 g·min);⑤示患侧 rMTT 明显延长,为 1.1 s;⑥示患侧 rCBV 无明显变化,为 1.0 mL/100g;⑦示治疗后患侧 rTTP 缩短,为 0.7 s;⑧示治疗后患侧 rCBF 增加,为 1.1 mL/(100 g·min);⑨示治疗后患侧 rMTT 缩短,为 0.8 s;⑩示治疗后患侧 rCBV 无明显变化,rCBV 为 1.0 mL/100g。

Figure 1. Typical disease example of severe CAS

2.2 两组临床资料比较

两组性别、年龄、体质指数、不良生活习惯、慢性疾病、体育锻炼频率、舒张压 (diastolic blood pres-

sure, DBP)、谷丙转氨酶 (glutamic-pyruvic transaminase, GPT)、谷草转氨酶 (glutamic-oxaloacetic transaminase, GOT)、总胆固醇 (total cholesterol, TC)、尿

素氮比较差异无统计学意义($P>0.05$)。低反应组收缩压(systolic blood pressure, SBP)是高反应组的 1.07 倍,甘油三酯(triglyceride, TG)是高反应组的 1.15 倍,低密度脂蛋白(low density lipoprotein, LDL)是高反应组的 1.12 倍,空腹血糖是高反应组的 1.05 倍,尿酸(uric acid, UA)是高反应组的 1.13 倍,血肌酐是高反应组的 1.08 倍,高密度脂蛋白(high density lipoprotein, HDL)是高反应组的 0.88 倍(均 $P<0.05$;表 1)。

表 1. 两组临床资料比较

Table 1. Comparison of clinical data between the two groups				
项目	低反应组 ($n=23$)	高反应组 ($n=65$)	χ^2/t	P
性别/[例(%)]			0.019	0.890
男	12(52.17)	35(53.85)		
女	11(47.83)	30(46.15)		
年龄			0.634	0.728
<45 岁	2(8.70)	6(9.23)		
45~60 岁	10(43.48)	34(52.31)		
>60 岁	11(47.83)	25(38.46)		
体质指数			0.852	0.837
<18.5 kg/m ²	1(4.35)	5(7.69)		
18.5~23.9 kg/m ²	12(52.17)	30(46.15)		
24.0~27.9 kg/m ²	7(30.43)	24(36.92)		
≥28.0 kg/m ²	3(13.04)	6(9.23)		
不良生活习惯				
吸烟/[例(%)]			0.244	0.885
无吸烟史	13(56.52)	33(50.77)		
戒烟	4(17.39)	12(18.46)		
吸烟	6(26.09)	20(30.77)		
饮酒/[例(%)]			0.029	0.986
无饮酒史	11(47.83)	30(46.15)		

表 2. 两组治疗前、治疗 3 个月 rCBV、rCBF、rMTT 及 rTTP 比较

Table 2. Comparison of rCBV, rCBF, rMTT and rTTP between the two groups before treatment and 3 months after treatment

分组	n	rCBV/(mL/100 g)		rCBF/[mL/(100 g·min)]		rMTT/s		rTTP/s	
		治疗前	治疗 3 个月	治疗前	治疗 3 个月	治疗前	治疗 3 个月	治疗前	治疗 3 个月
低反应组	23	1.03±0.07	1.05±0.08	0.72±0.07	0.91±0.09 ^a	1.17±0.16	0.94±0.12 ^a	1.15±0.23	0.79±0.14 ^a
高反应组	65	1.01±0.08	1.04±0.09	0.80±0.08	1.03±0.11 ^a	1.01±0.14	0.88±0.11 ^a	0.92±0.21	0.71±0.16 ^a
t		1.063	0.471	4.251	2.741	4.536	2.196	4.403	2.126
P		0.291	0.639	<0.001	0.007	<0.001	0.031	<0.001	0.036

注:a 为 $P<0.05$,与同组治疗前比较。

续表

项目	低反应组 ($n=23$)	高反应组 ($n=65$)	χ^2/t	P
戒酒	5(21.74)	14(21.54)		
饮酒	7(30.43)	21(32.31)		
慢性疾病/[例(%)]				
高血压	19(82.61)	40(61.54)	3.414	0.065
高脂血症	17(53.13)	28(43.08)	0.871	0.351
糖尿病	9(39.13)	13(20.00)	3.316	0.069
体育锻炼频率			0.361	0.548
>3 次/周	10(43.48)	33(50.77)		
≤3 次/周	13(56.52)	32(49.23)		
血压				
DBP/(mmHg)	82.31±10.27	80.09±9.81	0.922	0.359
SBP/(mmHg)	134.65±16.82	125.98±14.87	2.322	0.023
实验室指标				
GPT/(U/L)	22.16±7.24	21.48±6.82	0.404	0.687
GOT/(U/L)	23.30±5.25	22.36±4.93	0.773	0.442
TG/(mmol/L)	1.95±0.52	1.69±0.46	2.251	0.027
TC/(mmol/L)	4.76±1.51	4.59±1.24	0.533	0.595
LDL/(mmol/L)	3.27±0.70	2.92±0.64	2.200	0.031
HDL/(mmol/L)	1.21±0.32	1.38±0.34	2.092	0.039
空腹血糖/(mmol/L)	5.66±0.61	5.39±0.52	2.044	0.044
UA/(μmol/L)	418.89±90.21	371.68±86.27	2.229	0.028
尿素氮/(mmol/L)	3.21±0.82	3.08±0.79	0.672	0.504
血肌酐/(μmol/L)	89.97±11.39	83.34±13.07	2.158	0.034

2.3 治疗前后 rCBV、rCBF、rMTT 及 rTTP 比较

治疗前、治疗 3 个月两组 rCBV 比较差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗 3 个月,高反应组 rCBF 是治疗前的 1.29 倍,rMTT 是治疗前的 0.87 倍,rTTP 是治疗前的 0.77 倍(均 $P<0.05$);治疗 3 个月,低反应组 rCBF 是治疗前的 1.26 倍,rMTT 是治疗前的 0.80 倍,rTTP 是治疗前的 0.69 倍(均 $P<0.05$;表 2)。

2.4 重度 CAS 患者保守治疗反应性 Cox 回归模型分析

将 rCBF、rMTT、rTTP、SBP、TG、LDL、空腹血糖、UA、血肌酐、HDL 作为自变量,均赋实际值,保守治疗反应性作为因变量(赋值:高反应 = 0,低反应 = 1),纳入 Cox 回归模型,结果显示,SBP、UA、rCBF、rMTT、rTTP 均是重度 CAS 患者保守治疗反应性的独立影响因素($P<0.05$;表 3)。

表 3. 重度 CAS 患者保守治疗反应性 Cox 回归模型分析

Table 3. Cox regression model analysis of conservative treatment response in patients with severe CAS

因素	β	SE	Wald χ^2	P	HR	95% CI
rCBF	-1.003	0.366	7.516	0.011	0.367	0.188 ~ 0.715
rMTT	1.311	0.347	14.274	<0.001	3.710	1.965 ~ 7.004
rTTP	1.314	0.319	16.967	<0.001	3.721	2.009 ~ 6.892
SBP	1.001	0.368	7.397	0.015	2.721	1.624 ~ 4.558
TG	0.782	0.402	3.784	0.068	2.186	0.589 ~ 8.112
LDL	0.625	0.385	2.633	0.089	1.868	0.498 ~ 7.005
空腹血糖	0.679	0.347	3.834	0.062	1.973	0.646 ~ 6.025
UA	0.945	0.325	8.449	0.009	2.572	1.237 ~ 5.348
血肌酐	0.458	0.413	1.232	0.121	1.582	0.498 ~ 5.023
HDL	-0.566	0.357	2.511	0.097	0.568	0.140 ~ 2.304

2.5 重度 CAS 患者保守治疗反应性列线图模型的构建

应用 Cox 回归模型筛选出的 SBP、UA、rCBF、rMTT、rTTP 构建重度 CAS 患者保守治疗反应性的列线图预测模型,一致性指数为 0.896。校正曲线分析显示,预测模型预测保守治疗反应性与实际保守治疗反应性吻合度较高(图 2 和图 3)。

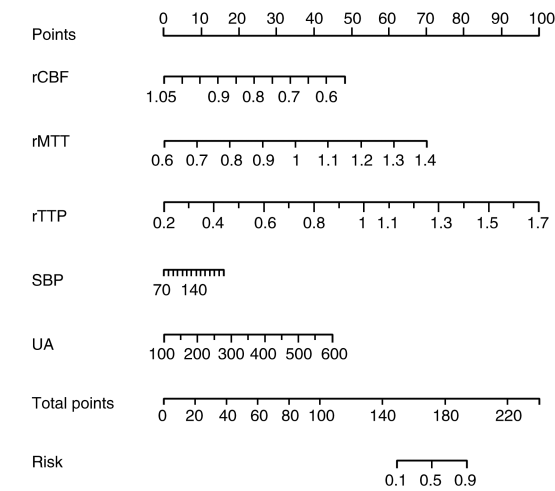


图 2. 重度 CAS 患者保守治疗反应性列线图预测模型

Figure 2. Nomogram prediction model of conservative treatment response in patients with severe CAS

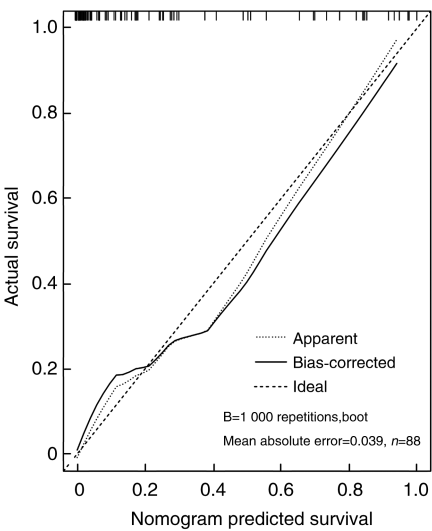


图 3. 重度 CAS 患者保守治疗反应性列线图预测模型的校正曲线

Figure 3. Correction curve of the nomogram prediction model for conservative treatment response in patients with severe CAS

2.6 列线图模型评估重度 CAS 患者保守治疗反应性决策曲线

随访 1 年,经 DCA 比较不同模型,在阈值为 0.16 ~ 0.95 范围内,列线图模型联合评估重度 CAS 患者保守治疗反应性的净受益率优于单独检测(图 4)。

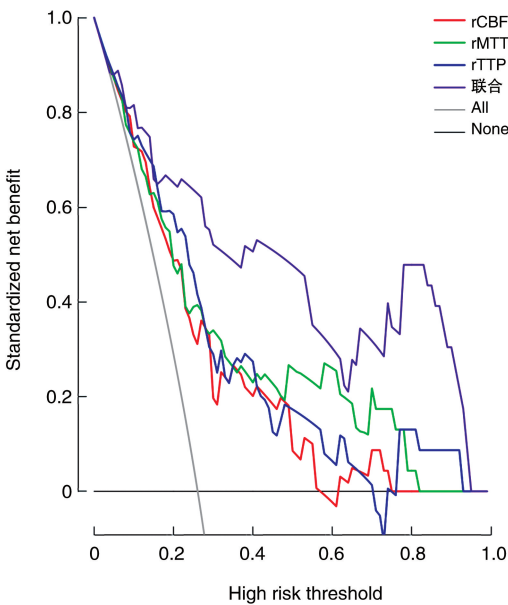


图 4. 列线图模型评估重度 CAS 患者保守治疗反应性的决策曲线

Figure 4. The decision curve of the nomogram model evaluating conservative treatment response in patients with severe CAS

2.7 临床影响曲线验证列线图模型评估重度 CAS 患者保守治疗反应性的价值

绘制临床影响曲线发现,被联合检测方案划分为高风险的人数与真阳性例数在阈值概率为 0.41 时基本达到一致(图 5)。

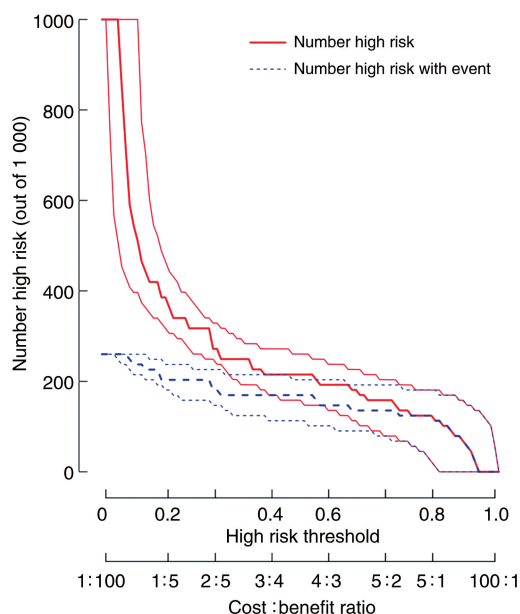


图 5. 临床影响曲线验证列线图模型联合评估重度 CAS 患者保守治疗反应性的价值

Figure 5. The value of clinical impact curve validation nomogram model combined with evaluation of conservative treatment response in severe CAS patients

3 讨论

CAS 诱发脑卒中的主要机制包括脑血流量降低致脑血氧供给不足及斑块致颈动脉内膜毛糙引起血小板聚集加重管腔闭塞等^[7]。报道显示,CAS 程度>75% 的患者 1 年内卒中风险约为 10.5%,而 CAS 程度>75% 且合并脑缺血的患者 1 年内卒中风险可达 25% 以上^[8]。本研究结果显示,88 例重度 CAS 患者随访 1 年脑梗死发生率为 9.09%,同时有 17.05% 的患者出现短暂性脑缺血发作,与上述报道近似,同时也反映出积极评估患者脑缺血情况或可为临床提升此群体卒中风险预测效能提供方向。

CTP 成像作为一种功能性影像学检查技术,可对常规 CT 检查无法获得的脑血流动力学信息进行成像分析,其联合计算机图像处理技术可全面评估头颈部血管情况,颅脑血流动力学改变能较好地诊断脑血管性疾病。已有研究证实,CTP 获得的脑血流信息作为脑组织缺血到坏死、由功能到器质改变

过程的直观展现,对评估 CAS 患者脑血管病变情况具有重要指导价值^[9]。rCBF、rMTT、rTTP、rCBV 是 CTP 的常用指标,可通过指标的数值来衡量颅内血流情况,但也有报道指出,CTP 参数值的影响因素众多,如扫描时对比剂注射的量和流率、患者头部位置和固定方式,以及图像后处理时输入动脉、输出静脉等均会对血流灌注的参数值产生较大影响^[10]。另外临床认为,当颈动脉处于轻度狭窄时,局部动力学改变较小,随着狭窄程度的增加,动脉血流速度逐渐下降,进而影响造影剂的通过速度,且狭窄严重的动脉血管通透性也会发生变化,影响流入组织的造影剂剂量^[11]。基于此,本研究选取单侧重度 CAS 患者作为研究对象,采用特定输入动脉及 CTP 相对灌注参数以避免人体生理学对相关参数的影响,提高灌注参数的准确性,结果发现,治疗前两组 rCBF、rMTT、rTTP 存在显著差异,治疗 3 个月两组脑血流灌注情况均有改善,但低反应组改善程度较低。由此推测治疗前 CTP 相对灌注参数或可作为临床评估重度 CAS 患者 1 年内出现脑缺血性疾病的客观依据。但也有多项研究提出,无症状 CAS 患者脑缺血性疾病的发生与多因素有关,其中年龄>65 岁、高脂血症、糖尿病、吸烟等都会显著增加脑缺血性疾病的发病风险^[12-13]。本研究也发现,TG、LDL、空腹血糖、血肌酐、HDL 是重度 CAS 患者 1 年内出现脑缺血性疾病的影响因素,但 Cox 回归分析发现,仅 SBP、UA、rCBF、rMTT、rTTP 进入方程。rCBV、rCBF 主要反映脑局部微循环状况,rMTT 的变化与脑灌注储备能力及脑血流灌注压关系密切,rTTP 主要反映对比剂循环情况,主要反映脑组织缺血的程度,是脑灌注损伤最敏感指标。结合 rCBV、rCBF、rMTT、rTTP 功能特征分析上述发生的机制可能是 CAS 存在时病变处附壁血栓及粥样硬化斑块等脱落的微栓致血流速度减缓^[14-15],同时动脉狭窄处产生旋涡,而血流动力学异常会加速血液涡流,加强对此区域动脉壁刺激,促使斑块脱落,最终表现脑血流动力学异常^[16],通过 CTP 成像检查可见 rCBF 降低,rMTT、rTTP 增加,且 CAS 病变越严重,rCBF、rMTT、rTTP 异常程度可能越显著。此外,研究已证实,脑组织几乎无能源储备,主要依赖血液循环不断提供血氧,当主动脉灌注不足时,其能通过侧支循环代偿、脑血流储备代偿及脑代谢代偿三种代偿机制满足脑组织代谢需求^[17-18]。结合本研究,当 CAS 存在时即便狭窄程度>70%,若侧支循环可满足代偿,则在一定时期内脑血流量可能不会显著改变,则脑缺血性疾病发生风险相对较低。上述

研究说明, rCBF、rMTT、rTTP 是重度 CAS 患者发生脑缺血性疾病的独立危险因素, 可作为临床评估脑缺血性疾病的观察指标。继续构建列线图模型分析发现, 当 rCBF、rMTT、rTTP 同时异常时脑缺血性疾病发生风险达 90% 以上, 与真实值一致性指数为 0.896, 且在 0.16 ~ 0.95 阈值联合评估的净受益率优于单独检测, 当阈值概率为 0.41 时能最大程度避免假阳性出现。

综上所述, 重度 CAS 患者 CTP 成像参数与其治疗反应性密切相关, 临床可通过 CTP 检查早期评估患者治疗反应性, 以提高患者获益。

[参考文献]

- [1] GEDNEY R, KUNG E, MEHTA V, et al. Plaque contact surface area and lumen volume predict stroke risk in extracranial carotid artery stenosis[J]. *J Vasc Surg*, 2022, 76(2): 482-488.
- [2] 陈妙玲, 梁满球, 邹玉坚, 等. 磁敏感加权成像上突出血管征与软脑膜侧支循环的相关性研究[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2023, 21(3): 19-21.
CHEN M L, LIANG M Q, ZOU Y J, et al. The correlation study of prominent vessel sign on susceptibility weighted imaging and leptomeningeal collateralization[J]. *Chin J CT MRI*, 2023, 21(3): 19-21.
- [3] PADMOS R M, TERREROS N A, JÓZSA T I, et al. Modelling the leptomeningeal collateral circulation during acute ischaemic stroke[J]. *Med Eng Phys*, 2021, 91(1): 1-11.
- [4] STARNONI D, MADURI R, HAJDU S D, et al. Early perfusion computed tomography scan for prediction of vasospasm and delayed cerebral ischemia after aneurysmal subarachnoid hemorrhage[J]. *World Neurosurg*, 2019, 130: e743-e752.
- [5] 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. 中国缺血性脑卒中和短暂性脑缺血发作二级预防指南 2014[J]. *中华神经科杂志*, 2015, 48(4): 258-273.
Neurology Branch of Chinese Medical Association, Cerebrovascular Disease Group of Neurology Branch of Chinese Medical Association. Chinese guidelines for secondary prevention of ischemic stroke and transient ischemic attack 2014[J]. *Chin J Neurol*, 2015, 48(4): 258-273.
- [6] 中华医学会外科学分会血管外科学组. 颈动脉狭窄诊治指南[J]. *中华血管外科杂志*, 2017, 2(2): 78-84.
Vascular Surgery Group of Surgery Society of Chinese Medical Association. Guidelines for diagnosis and treatment of carotid stenosis[J]. *Chin J Vasc Surg*, 2017, 2(2): 78-84.
- [7] US Preventive Services Task Force, KRIST A H, DAVIDSON K W, et al. Screening for asymptomatic carotid artery stenosis: US Preventive Services Task Force Recommendation Statement[J]. *JAMA*, 2021, 325(5): 476-481.
- [8] SCHERMERHORN M L, LIANG P, ELDRUP-JORGENSEN J, et al. Association of transcatheter artery revascularization vs transfemoral carotid artery stenting with stroke or death among patients with carotid artery stenosis[J]. *JAMA*, 2019, 322(23): 2313-2322.
- [9] HANG Y, WANG C D, NI H, et al. Alberta stroke program early CT score and collateral status predict target mismatch in large vessel occlusion with delayed time windows[J]. *J Neurointerv Surg*, 2023, 15(9): 876-880.
- [10] PAN K, WANG H, CHEN X, et al. Comparative analysis of two mathematical algorithms for the calculation of computed tomography perfusion parameters in the healthy and diseased pancreas[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2022, 23(2): e13488.
- [11] KURIBARA T, MIKAMI T, IIHOSHI S, et al. Ischemic tolerance evaluated by computed tomography perfusion during balloon test occlusion[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2020, 29(6): 104807.
- [12] 王娜, 王晓静, 蒋雅楠. 中老年体检人群无症状性颈动脉狭窄发病现状及相关因素研究[J]. *国际老年医学杂志*, 2021, 42(4): 224-227.
WANG N, WANG X J, JIANG Y N. Study on the incidence and risk factors of asymptomatic carotid artery stenosis in middle-aged and elderly people[J]. *Int J Gerontol*, 2021, 42(4): 224-227.
- [13] 朱泽阳, 黄维, 王旭颖, 等. 甘油三酯/高密度脂蛋白胆固醇比值与缺血性脑卒中患者颈动脉斑块不稳定性的相关性[J]. *中国动脉硬化杂志*, 2022, 30(1): 65-70.
ZHU Z Y, HUANG W, WANG X Y, et al. Correlation between triglyceride/high-density lipoprotein cholesterol ratio and carotid plaque instability in patients with ischemic stroke[J]. *Chin J Arterioscler*, 2022, 30(1): 65-70.
- [14] COWDREY D, HAHN T W, VELLARDITA L. Do carotid artery calcifications seen on radiographs predict stenosis in asymptomatic adults? [J]. *J Fam Pract*, 2021, 70(7): 357-358.
- [15] ZÉTOLE V F, RUNDEK T. Carotid artery stenosis: to infinity and beyond[J]. *Arq Neuropsiquiatr*, 2022, 80(4): 337-338.
- [16] ZARRINKOOL L, WÄHLIN A, AMBARKI K, et al. Blood flow lateralization and collateral compensatory mechanisms in patients with carotid artery stenosis[J]. *Stroke*, 2019, 50(5): 1081-1088.
- [17] ZHA X, LIU Q, DENG K, et al. Prediction of intracranial hemorrhage after internal carotid artery stenting in patients with symptomatic severe carotid stenosis by computed tomography perfusion[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2023, 13(6): 3927-3937.
- [18] GUI X, WANG L, WU C, et al. Prognosis of subtypes of acute large artery atherosclerotic cerebral infarction by evaluation of established collateral circulation[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2020, 29(11): 105232.

(此文编辑 文玉珊)