

# 两种 CT 灌注软件对急性缺血性脑卒中缺血核心和缺血半暗带的评估价值分析

周芸慧<sup>1,2</sup>, 刘洋<sup>1,2</sup>, 张凤<sup>2</sup>, 王玉婷<sup>2</sup>, 蒲红<sup>1,2</sup>

1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 611731; 2. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)放射科, 四川 成都 610072

**【摘要】** 目的 对比 Shukun 和 RAPID 两种计算机断层灌注成像(computed tomography perfusion, CTP)后处理软件包评估缺血核心和缺血半暗带体积之间的一致性,并量化 CTP 预测梗死体积和最终梗死体积之间的一致性。方法 回顾性收集 73 例急性缺血性脑卒中患者的临床及影像资料。在 CTP 成像 1~10 天后通过随访影像学检查测量最终梗死体积。利用 Shukun 和 RAPID 两种 CTP 后处理软件定量分析梗死核心和缺血半暗带体积。结果 在 73 例患者中, RAPID 和 Shukun 两种软件包预测的梗死体积分别为 36(84)ml、34.3(87.2)ml, 随访影像学中位梗死体积为 46.71 ml。类内相关系数(ICC)显示 Shukun 和 RAPID 预测最终梗死体积有中等良好一致性(Shukun:0.678; RAPID:0.732)及良好的相关性( $r=0.777$ )。两种软件包对缺血核心体积的评估差异无统计学意义( $P>0.05$ ),且 RAPID 预测梗死体积与最终梗死体积差异无统计学意义( $P>0.05$ )。结论 Shukun 与 RAPID 两种脑灌注后处理软件在梗死核心和缺血半暗带体积定量评估显示出较好的一致性, Shukun 后处理软件也许可以作为一种成熟的 RAPID 软件的替代方法。

**【关键词】** 灌注成像;急性脑卒中;软件

**【中图分类号】** R445.3

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1672-6170(2024)03-0044-06

**Analysis of the value of two CT perfusion software programs in assessing the ischemic core and penumbra in acute ischemic stroke** ZHOU Yun-hui<sup>1,2</sup>, LIU Yang<sup>1,2</sup>, ZHANG Feng<sup>2</sup>, WANG Yuting<sup>2</sup>, PU Hong<sup>1,2</sup> 1. School of Medicine, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China; 2. Department of Radiology, Sichuan Academy of Medical Sciences · Sichuan Provincial People's Hospital (Affiliated Hospital of University of Electronic Science and Technology of China), Chengdu 610072, China

**【Corresponding author】** PU Hong

**【Abstract】** **Objective** To compare the agreement between two computed tomography perfusion (CTP) post-processing packages, Shukun and RAPID, for assessing ischemic core and penumbra volumes and to quantify the agreement between CTP predicted infarct volume and final infarct volume. **Methods** Clinical and imaging data of 73 patients with acute ischemic stroke were retrospectively collected. Final infarct volumes were measured by follow-up imaging 1~10 days after CTP imaging. Infarct core volumes and penumbra volumes were quantified using both Shukun and RAPID CTP post-processing software. **Results** In the 73 patients, the infarct volumes predicted by the two software packages were 36 (84) ml and 34.3 (87.2) ml, respectively, and the infarct volume on follow-up imaging was 46.71ml. The intraclass correlation coefficient (ICC) showed moderate to good consistency between the Shukun and the RAPID in predicting final infarct volume (Shukun: 0.678 and RAPID: 0.732). The correlation between the packages was also good ( $r=0.777$ ). There was no statistically significant difference in the assessment of ischemic core volume between the two software packages ( $P>0.05$ ). There was also no statistically significant difference between RAPID predicted infarct volume and final infarct volume ( $P>0.05$ ). **Conclusions** The two perfusion post-processing software packages show good agreement in the quantitative assessment of infarct core and penumbra volumes. The Shukun post-processing software might be used as a well-established alternative to the RAPID.

**【Key words】** Perfusion imaging; Acute stroke; Software

脑 CT 灌注成像(CTP)能够量化脑灌注,通常应用于评估急性缺血性脑卒中患者缺血核心和缺血半暗带,帮助医生进行临床决策<sup>[1]</sup>。现如今多种 CT 灌注软件已经被开发出来,然而不同灌注软件对于缺血梗死灶的评估存在一定差异<sup>[2~4]</sup>。RAPID 和 Shukun 作为两种目前在临床应用较为普遍的 CTP 后处理软件,通过对 CTP 灌注参数进行后处理

获得一系列脑血流动力学参数,定量分析缺血核心、缺血半暗带体积<sup>[3]</sup>。然而到目前为止,还没有研究对比 Shukun 相较于 RAPID 对于评估急性缺血性脑卒中缺血梗死灶的准确性。本研究目的是探讨两种后处理软件评估急性缺血性脑卒中患者梗死核心、缺血半暗带体积的一致性,并与最终梗死体积进行比较,进一步评估两个后处理软件在临床中的诊断效能。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 2020 年 10 月至 2022 年 10 月四川省人民医院收治的 73 例前循环急性缺血性脑卒中

**【基金项目】**四川省自然科学基金青年科学基金资助项目(编号:2022NSFSC1473)

**【通讯作者】**蒲红

患者,纳入标准:①症状出现 24 小时内入院的急性缺血性脑卒中;②CT 血管造影(CT angiography, CTA)证实颅内前循环大血管(颈内动脉颅内段、大脑中动脉 M1、M2 段)闭塞;③行 CT 脑卒中一站式扫描方案[包括头颅非对比增强计算机断层扫描(non-contrast computed tomography, NCCT)、CTA 和 CTP 检查]。排除标准:①双侧发病;②在 CTP 显像前,NCCT 检查提示有出血性脑卒中的可能;③MRI 或 CT 复查颅内大量出血性转化;④ RPAID、Shukun 自动灌注计算失败;⑤CTP 图像有明显运动伪影、明显的动脉峰值或静脉峰值异常。将 73 例患者分为干预组( $n=49$ )和保守治疗组( $n=24$ )。干预组为患者已经成功机械取栓和/或静脉溶栓,机械取栓成功定义为脑梗死溶栓分级(TICI)2b 或 3;保守治疗组为患者未行机械取栓和静脉溶栓。通常将患者最后确认身体健康的时间视为卒中发作时间,包括醒来时出现卒中症状或卒中发作时间不确定的患者<sup>[5]</sup>。本研究通过了我院伦理审查委员会审批,免除了患者的知情同意。

## 1.2 方法

**1.2.1 临床资料收集** 收集患者的性别、年龄及高血压病、糖尿病、吸烟史、房颤等脑血管病危险因素,其他包括血管闭塞位置、血管内治疗情况、静脉溶栓情况、CTP 与再灌注治疗间隔时间、机械取栓后血管再通情况、随访影像学资料。

**1.2.2 图像采集与 CTP 评估** 所有的 CTP 成像都在 256 排 CT 扫描仪(GE Revolution CT)上进行。CTP 图像采集使用以下参数:管电压=100 kV;管电流=120 mAs;探测器准直=256 mm $\times$ 0.625 mm;转速=0.28 s;图像厚度=5 mm;脑覆盖度>100 mm;矩阵=512 $\times$ 512;总扫描时间=53.5 s;采用高压注射器经上臂静脉注射 50 ml 非离子型碘造影剂(碘美普尔 400),以 50 ml 生理盐水助推,速率为 4.5~5.0 ml/s。入院时,患者按临床常规 CT 脑卒中一站式扫描方案进行扫描,包括头部 NCCT、CTA 和 CTP。图像在采集后,被传输到后处理工作站和图像存档和通信系统(PACS)。放射科医生评估 NCCT 是否存在出血或除了缺血以外的任何可能表现为卒中的影像。排除这两种可能性后,使用 ASPECTS 评分量表对图像进行评分,结果包括在报告中。评估 CTA 结果包括是否存在大血管闭塞、血流动力学显著狭窄,以及侧支循环情况。RAPID 和 Shukun 均是全自动 CT 灌注后处理软件,按照供应商指定的参数进行了初始后期处理,包括自动注册、分割和运动校正、独立计算梗死核心体积、缺血半暗带体

积以及失配比。在 Shukun 上,选择与 RAPID 相同的灌注阈值参数进行对比。缺血核心被定义为 CBF 小于对侧 30% 的区域,缺血半暗带被定义为 Tmax 大于 6 s 的区域,失配比定义为缺血半暗带(Tmax > 6 s)体积除以缺血核心体积( $rCBV < 30%$ )<sup>[3]</sup>。在 Shukun 上,当其自动选择的动静脉参考点不理想导致动静脉峰值异常时,用户可以手动校正动静脉参考点进而生成更为理想的数据。

**1.2.3 最终梗死体积测量** 在第 1~10 天通过随访 NCCT 或磁共振成像液体衰减反转恢复序列(FLAIR(MRI))测量最终梗死体积(final infarct volume, FIV)。如果同时进行 CT 和 MRI,则使用 MRI 数据计算 FIV。在 NCCT 或 FLAIR 成像的每个轴位图像上,通过设置最佳窗口手动勾画亚急性病灶区域并计算 FIV,根据欧洲急性中风合作研究(ECASS)标准对继发性出血进行分类<sup>[6]</sup>并包含在 FIV 中。由于在快速完全再灌注情况下部分缺血性脑卒中患者随访弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)可能出现病变逆转<sup>[7]</sup>,故选择使用 FLAIR 而不是 DWI 来计算 FIV。当进行亚组分析时,对于干预组患者,将 CTP 预测的梗死体积与 FIV 进行比较。由于保守治疗组患者未进行再灌注治疗,则假设该组患者缺血半暗带区域最终全部转化为梗死,故将 CTP 预测的缺血核心和缺血半暗带体积之和与 FIV 进行比较<sup>[8]</sup>,虽然栓子有可能在没有干预的情况下破裂导致自发再灌注<sup>[2]</sup>。FIV 计算方法参考 Sims 等所述<sup>[9]</sup>,通过计算亚急性病灶在横断层面上最大面积,乘以相应层数及层厚,进一步计算出该病灶体积。

**1.3 统计学方法** 使用 SPSS 25.0 统计学软件进行数据处理。符合正态分布且方差齐的计量资料以均数 $\pm$ 标准差表示,比较采用 *t* 检验;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位间距)表示,组间比较采用非参数检验(Wilcoxon 配对符号秩检验)。Spearman 相关系数分析两款软件包之间缺血核心和缺血半暗带体积的相关性。类内相关系数(ICC)评估两款软件包之间缺血核心和缺血半暗带体积的一致性,一致性程度分类(ICC < 0.5 为一致性差,0.5~0.75 为一致性中等,0.75~0.9 为一致性良好,>0.9 为一致性极好)。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 患者临床资料** 73 例患者最终均诊断为急性缺血性脑卒中,年龄(66.4 $\pm$ 13.3)岁,41% 为女性。干预组 49 例(67%)接受了静脉溶栓(15 例)和/或

机械取栓(42例),保守治疗组24例(33%)接受保守治疗。部分患者血管闭塞部位包括两个或两个以上血管节段。人口学特征和基本特征见表1。在73例患者中有69例患者两款软件包建议的治疗策

略相同,仅4例患者不同,最终临床医生综合临床多因素考虑选择不同治疗策略。图1和图2分别显示了两款软件包量化CTP及与FIV对比的典型病例,包括干预组和保守治疗组。

表1 两组急性缺血性脑卒中患者临床资料比较

项目	干预组(n=49)	保守治疗组(n=24)	统计量	P
女性[n(%)]	21(42.9)	9(37.5)	$\chi^2=0.274$	0.600
年龄(岁)	68.0(20.5)	68.0(23.0)	$U=0.308$	0.759
闭塞部位[n(%)]	大脑中动脉 M1 段	15(62.5)	$\chi^2=0.890$	0.638
	大脑中动脉 M2 段	16(32.7)		
	颈内动脉颅内段	13(26.5)		
缺血核心体积(ml)	RAPID	14.0(50.5)	$U=0.765$	0.446
	Shukun	15.1(46.4)	$U=0.052$	0.959
缺血半暗带体积(ml)	RAPID	144.0(136.5)	$U=0.866$	0.177
	Shukun	143.6(80.7)	$U=0.861$	0.029
机械取栓-TICI评分[n(%)]	TICI=2b	13(31.0)		
	TICI=3	29(69.1)		
CTP至灌注再通时间(min)	80.0(54.0)			

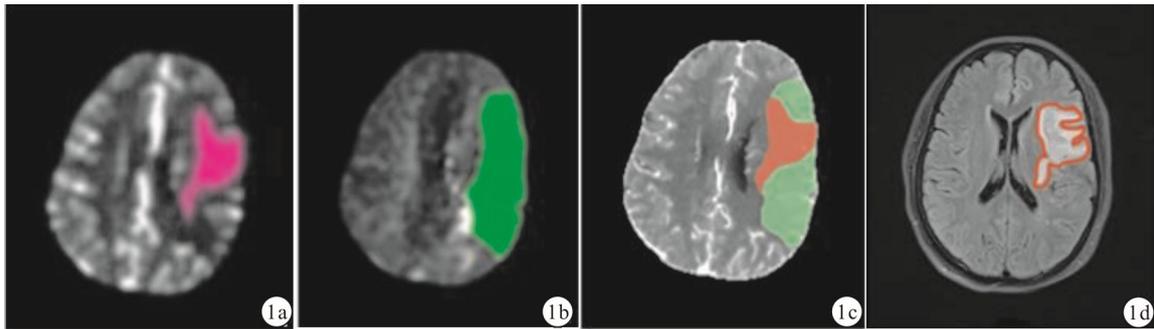


图1 干预组典型病例的两种CTP后处理软件包成像图及FLAIR(MRI)图 a:RAPID分析显示缺血核心为粉红色(35ml); b:RAPID分析显示缺血半暗带为绿色(83ml); c:Shukun分析显示缺血核心为红色(32ml),缺血半暗带为绿色(77.3ml); d:液体衰减反转恢复(FLAIR)MRI勾画出梗死区域,以计算最终梗死体积(40.4ml)

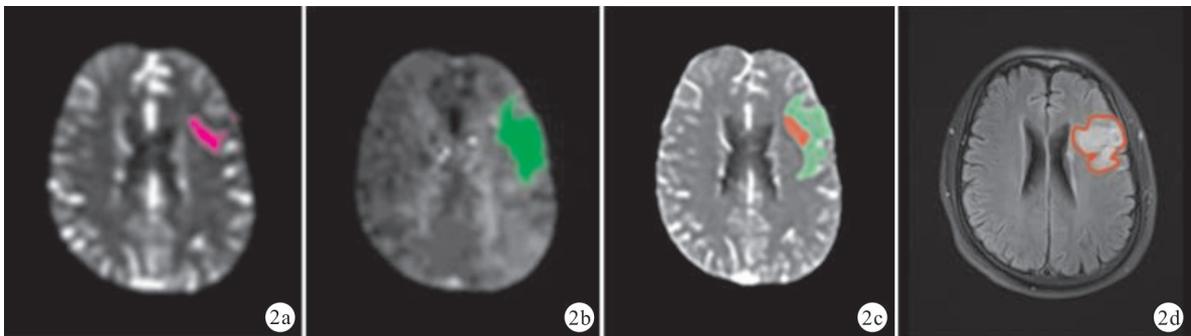


图2 保守治疗组典型病例的两种CTP后处理软件包成像图及FLAIR(MRI)图 a:RAPID分析显示缺血核心为粉红色(10ml); b:RAPID分析显示缺血半暗带为绿色(26ml); c:Shukun分析显示缺血核心为红色(5.4ml),缺血半暗带为绿色(25.2ml); d:液体衰减反转恢复(FLAIR)MRI勾画出梗死区域,以计算最终梗死体积(37.24ml)

**2.2 缺血核心体积分析** 对73例患者CTP缺血核心体积进行分析,两款软件包的中位体积分别为RAPID:14(52.5)ml; Shukun:11.7(42.3)ml,两者

差异有统计学意义( $Z=-2.324, P=0.02$ )。Shukun软件对缺血核心体积测量的结果与RAPID显示出较好的一致性(ICC 0.953; 95% CI: 0.925 ~ 0.971)

及较强的相关性 ( $r = 0.931, P < 0.05$ )。亚组分析时,干预组中两款软件包 CTP 缺血核心体积评价的一致性评价较保守治疗组稍好,两组患者缺血核心体积评估均差异无统计学意义(干预组:  $Z = -1.600, P = 0.110$ ; 保守治疗组:  $Z = -2.000, P =$

$0.051$ )。图 3 的 Bland Altman 图显示了 RAPID 与 Shukun 两种 CTP 后处理软件在缺血核心体积的一致性。Bland Altman 分析显示,Shukun 和 RPAID 在干预治疗组中预测缺血核心体积误差的平均值差异分别为 1.8、8.2 ml。

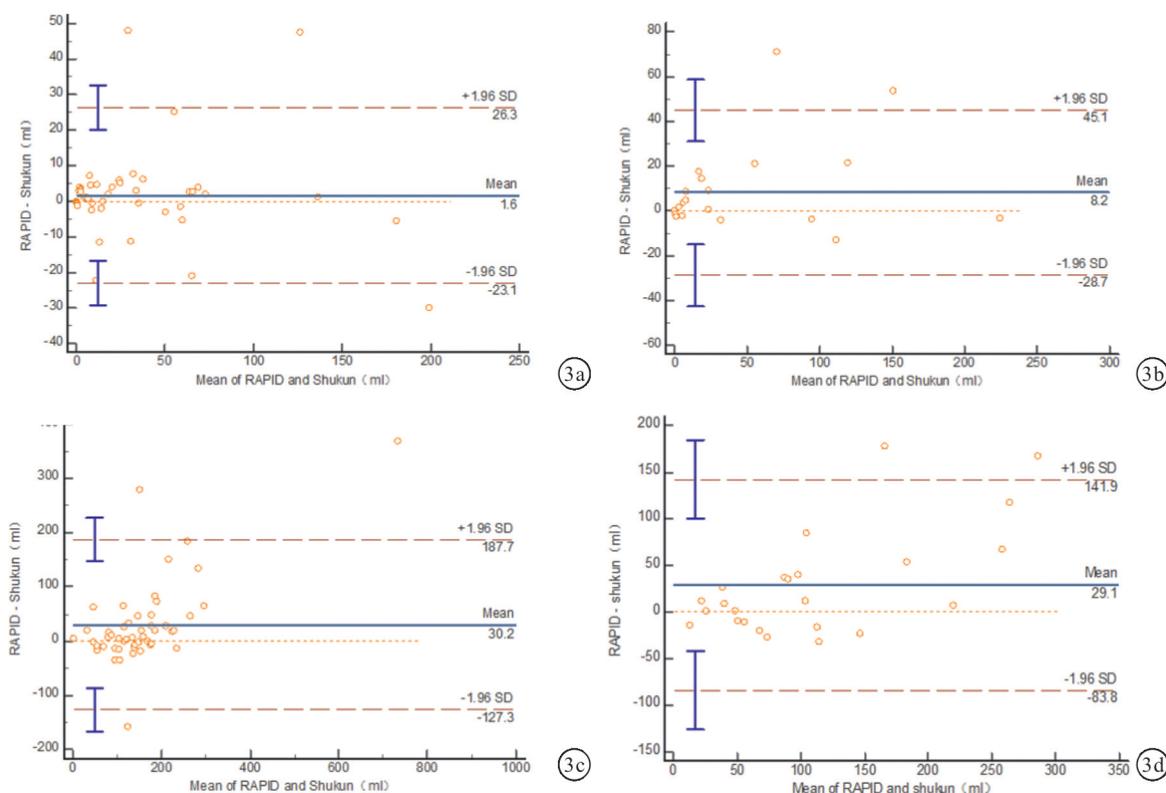


图 3 Shukun 与 RAPID 在缺血核心和缺血半暗带体积一致性分析的 Bland Altman 图 a: 干预组缺血核心体积一致性比较; b: 保守治疗组缺血核心体积一致性比较; c: 干预组缺血半暗带体积一致性比较; d: 保守治疗组缺血半暗带体积一致性比较。实线显示 Shukun 与 RAPID 测量体积的平均差值,虚线表示 95% 的一致性范围

**2.3 缺血半暗带体积分析** 对 73 例患者 CTP 缺血半暗带体积进行分析,两款软件包的中位体积分别为:RAPID:78.5 (82.5) ml, Shukun:121.4 (92.4) ml,差异有统计学意义 ( $Z = -3.354, P = 0.001$ )。但 Shukun 软件对缺血半暗带体积测量的结果与 RAPID 显示出较好的一致性 (ICC 0.74; 95% CI: 0.585 ~ 0.838) 及较强的相关性 ( $r = 0.777, P < 0.05$ )。亚组分析时,保守治疗组中两款软件包 CTP 缺血半暗带体积评价的一致性评价较干预组稍好(干预组: ICC 0.753, 95% CI: 0.601 ~ 0.853; 保守治疗组: ICC 0.771, 95% CI: 0.539 ~ 0.894),且缺血半暗带体积差异无统计学意义 ( $P = 0.05$ ),而干预组中两款软件包缺血半暗带体积差异有统计学意义 ( $P = 0.006$ )。图 3 中的 Bland Altman 图显示了 RAPID 与 Shukun 两种 CTP 后处理软件在缺血半暗带体积的一致性。Bland Altman 分析显示,Shukun

和 RPAID 在干预治疗组中预测缺血半暗带体积误差的平均值差异分别为 30.2、29.1 ml。

**2.4 最终梗死体积** 73 例患者的中位 FIV 为 46.71 (98.6) ml。CTP 预测梗死体积与 FIV 一致性及相关性为 Shukun: ICC = 0.678,  $r = 0.627, P < 0.05$ ; RAPID: ICC = 0.732,  $r = 0.640, P < 0.05$ 。两款软件包 CTP 预测梗死体积与 FIV 的中位体积差异分别为 RAPID: 1.89 (49.8) ml; Shukun: 5.88 (49.5) ml, RAPID 上差异无统计学意义 ( $P = 0.39$ ),但 Shukun 上差异有统计学意义 ( $P = 0.02$ )。亚组分析时,干预组中两款软件包 CTP 预测梗死体积与 FIV 一致性及相关性均较保守治疗组变差。两款软件包 CTP 与 FIV 的 ICC、相关性见表 2。两款软件包低估患者比例分别为: RAPID: 64.38% (47/73); Shukun: 63.01% (46/73)。

表 2 73 例患者两款后处理软件 CTP 数据及 FIV 的对比分析

特征	总计		干预组		保守治疗组	
	Shukun	RAPID	Shukun	RAPID	Shukun	RAPID
梗塞体积(ml)	34.3(87.2)	36(84.0)	15.1(46.5)	14.0(51.0)	109.1(142.4)	111.5(162.8)
FIV 与 CTP 梗塞体积差异(ml)	5.9(49.5)	1.9(49.8)	8.4((48.2)	7.0(44.1)	-12.9(63.1)	-28.5(85.2)
ICC	0.678	0.732	0.452	0.442	0.802	0.753
95% CI	0.531~0.785	0.604~0.823	0.172~0.658	0.171~0.647	0.466~0.921	0.513~0.885
r	0.627	0.640	0.651	0.677	0.681	0.709
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

### 3 讨论

本研究比较了 Shukun、RAPID 两种临床广泛应用的 CTP 软件包评估缺血核心和缺血半暗带体积的诊断效能。本组数据研究结果表明,缺血性脑卒中患者 CTP 缺血核心和缺血半暗带体积在 Shukun 和 RAPID 两款脑灌注评估软件中具有极好的一致性。在进行亚组分析时,即在保守治疗组和干预组中,两款软件包仍然具有极好的一致性。根据指南,发病 6 小时内的急性缺血性脑卒中患者可以接受血管内治疗<sup>[10]</sup>,但对于发病时间窗在 6~24 小时的患者,CTP 上存在不匹配(Mismatch)区域时,通过血管内治疗及时再灌注可存活的缺血半暗带区域,患者仍然能从中获益<sup>[5,11]</sup>。按照 DEFUSE III 试验中概述的干预治疗的灌注参数,即缺血核心体积<70 ml,错配比>1.8,错配体积>15 ml<sup>[12]</sup>,在识别患者是否有资格接受血栓切除治疗方面,RAPID 软件包与 Shukun 软件包对于患者是否接受治疗血栓切除治疗的选择一致性较高,73 例患者中 70 例给出一致的治疗意见。之前大量研究已经报道过,急性缺血性脑卒中 CTP 分析中其他不同软件包之间的缺血核心和半暗带体积存在较强的一致性和相关性。然而根据目前已报道研究显示,这是第一个基于 CTP 参数比较 Shukun 和 RAPID 这两个软件包的研究。本研究结果表明,Shukun 软件可能是 CTP 数据的另一种有临床价值的分析工具。

本研究进一步对 73 例患者的 CTP 预测的梗死体积与最终梗死体积进行对比分析,发现 Shukun 与 RAPID 两款软件包预测的梗死体积与最终梗死体积的一致性相似,但一致性程度均仅为中等良好,这突出了使用单一 CTP 参数来定义缺血核心的局限性。Mallon 等<sup>[13]</sup>也证明了这一局限性。亚组分析时,干预组 CTP 预测的梗死体积与最终梗死体积之间的一致性程度进一步变差,这可能是在不完全(微血管或大血管)再灌注或 CTP 成像与再灌注之间延迟的情况下部分缺血半暗带区域逐渐转变为梗死的结果,之前的研究也得出类似的结论<sup>[14]</sup>。

虽然有研究发现 CTP 预测核心梗死体积与最终梗死体积呈线性相关,但两款软件包均倾向于低估最终梗死体积,这在之前的研究中也得到了证实<sup>[4,13]</sup>。而导致梗死体积低估的原因可能是由于侧支循环供血(从而改善患者 CBF)、较长的 CTP 成像到再灌注时间间隔、在 CTP 成像和血管内治疗之间的梗死体积增大、再通引起额外的再灌注损伤等<sup>[13~15]</sup>。

之前研究也表明,梗死核心体积的估计还受到很多因素的影响,如 CT 扫描参数(电压、电流、扫描时间)和造影剂注射、后处理算法、选择的阈值和动静脉输出函数的确定以及运动校正等<sup>[16~18]</sup>。本研究的优势在于使用从同一扫描器获得的相同的 CTP 数据进行后处理和分析。因此,在比较时可以消除不同硬件、扫描协议和图像重建的这些潜在的影响因素<sup>[19]</sup>。

本研究有几个局限性。首先,样本量相对较小,限制了对比不同软件包的能力。并且没有对缺血梗死病灶的空间分布特征进行比较,因为这些数据由于商业原因无法得到。其次,本研究并没有检测所有的灌注参数阈值,也许还可能存在更为理想的预测梗死的灌注参数阈值。同时,对于保守治疗组中所有缺血半暗带全部转化为梗死的假设也具有局限性,因为一些患者可能会根据血液不同流动状况而自发再灌注。有研究表明,这种自发再灌注发生在 5%~30% 的病例中<sup>[20~22]</sup>,而这将导致部分缺血半暗带区域被抢救,而不是转为梗死。在之前的研究中,推荐使用 24 h 内获得的随访 MRI 数据计算最终梗死体积<sup>[23]</sup>,但由于本研究中部分患者 MRI 随访时间延迟,或者有 MRI 随访禁忌证,故无法进行 24 h MRI 随访。并且在许多情况下,最终梗死体积的计算采用随访 NCCT 而不是 MRI,这可能会导致分析结果的不一致。同时卒中后的脑水肿通常在第 4 天达到最大峰值,这可能会影响最终梗死体积的测量<sup>[15]</sup>,故此项研究中最终梗死体积的定义和测量可能并不能达到足够的准确性,并不能排

除在不同的随访时间点之间梗死进展的可能性。

综上,无论是保守治疗患者还是干预治疗患者,Shukun 和 RAPID 估算的梗死核心和缺血半暗带体积之间都存在极好的一致性,因此,Shukun 也许可以被视为一种成熟的 Rapid 的替代软件。此外,对于最终梗死体积的预测,RAPID 较 Shukun 更能准确地为临床提供帮助。

#### 【参考文献】

- [1] Mendelson SJ, Prabhakaran S. Diagnosis and Management of Transient Ischemic Attack and Acute Ischemic Stroke: A Review [J]. JAMA, 2021, 325: 1088-1098.
- [2] Rava RA, Snyder KV, Mokin M, et al. Assessment of computed tomography perfusion software in predicting spatial location and volume of infarct in acute ischemic stroke patients: a comparison of Sphere, Vitrea, and RAPID [J]. J Neurointerv Surg, 2021, 13: 130-135.
- [3] Zhou X, Nan Y, Ju J, et al. Comparison of Two Software Packages for Perfusion Imaging: Ischemic Core and Penumbra Estimation and Patient Triage in Acute Ischemic Stroke [J]. Cells, 2022, 11:2547.
- [4] Liu QC, Jia ZY, Zhao LB, et al. Agreement and Accuracy of Ischemic Core Volume Evaluated by Three CT Perfusion Software Packages in Acute Ischemic Stroke [J]. J StrokeCerebrovasc Dis, 2021, 30:1-8.
- [5] Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, et al. Thrombectomy 6 to 24 Hours after Stroke with a Mismatch between Deficit and Infarct [J]. N Engl J Med, 2018, 378:11-21.
- [6] Hacke W, Kaste M, Fieschi C, et al. Intravenous thrombolysis with recombinant tissue plasminogen activator for acute hemispheric stroke. The European Cooperative Acute Stroke Study (ECASS) [J]. JAMA, 1995, 274:1017-1025.
- [7] Kranz PG, Eastwood JD. Does diffusion-weighted imaging represent the ischemic core? An evidence-based systematic review [J]. AJNR Am JNeuroradiol, 2009,30(6):1206-1212.
- [8] Chavez JC, Hurko O, Barone FC, et al. Pharmacologic interventions for stroke; looking beyond the thrombolysis time window into the penumbra with biomarkers, not a stopwatch [J]. Stroke, 2009, 40: e558-e563.
- [9] Sims JR, Gharai LR, Schaefer PW, et al. ABC/2 for rapid clinical estimate of infarct, perfusion, and mismatch volumes [J]. Neurology, 2009, 72:2104-2110.
- [10] Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, et al. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke: 2019 Update to the 2018 Guidelines for the Early Management of Acute Ischemic Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association [J]. Stroke, 2019, 50: e344-e418.
- [11] Di Iorio R, Pilato F, Valente I, et al. Role of Favorable Perfusion Imaging in Predicting the Outcome of Patients with Acute Ischemic Stroke due to Large Vessel Occlusion Undergoing Effective Thrombectomy: A Single-Center Study [J]. Cerebrovasc Dis Extra, 2021, 11:1-8.
- [12] albers gW, Marks MP, Kemp s, et al. Thrombectomy for stroke at 6 to 16 hours with selection by perfusion imaging [J]. N Engl J Med, 2018, 378:708-718.
- [13] Mallon DH, Taylor EJR, Vittay OI, et al. Comparison of automated ASPECTS, large vessel occlusion detection and CTP analysis provided by Brainomix and RapidAI in patients with suspected ischaemic stroke [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2022, 31:1-8.
- [14] Hoving JW, Koopman MS, Tolhuisen ML, et al. Accuracy of CT perfusion ischemic core volume and location estimation: A comparison between four ischemic core estimation approaches using syngo. via [J]. PLoS One, 2022, 17:1-14.
- [15] Austein F, Riedel C, Kerby T, et al. Comparison of Perfusion CT Software to Predict the Final Infarct Volume After Thrombectomy [J]. Stroke, 2016, 47:2311-2317.
- [16] Kudo K, Sasaki M, Yamada K, et al. Differences in CT perfusion maps generated by different commercial software: quantitative analysis by using identical source data of acute stroke patients [J]. Radiology, 2010, 254:200-209.
- [17] Vagal A, Wintermark M, Nael K, et al. Automated CT perfusion imaging for acute ischemic stroke: Pearls and pitfalls for real-world use [J]. Neurology, 2019, 93:888-898.
- [18] Sotoudeh H, Shafaat O, Sotoudeh E. Misleading CT perfusion in subacute ischemic stroke [J]. EmergRadiol, 2019, 26 ( 5 ): 581-586.
- [19] Wintermark M, Maeder P, Verdun FR, et al. Using 80 kVp versus 120 kVp in perfusion CT measurement of regional cerebral blood flow [J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2000, 21:1881-1884.
- [20] Shah Q. spontaneous recanalization after complete occlusion of the common carotid artery with subsequent embolic ischemic stroke [J]. J Vasc Interv Neurol, 2009, 2:147-151.
- [21] Paciaroni M, caso V, Venti M, et al. Outcome in patients with stroke associated with internal carotid artery occlusion [J]. Cerebrovasc Dis, 2005, 20:108-113.
- [22] Meves SH, Muhs A, Federlein J, et al. recanalization of acute symptomatic occlusions of the internal carotid artery [J]. J Neurol, 2002, 249:188-192.
- [23] Brinjikji W, Abbasi M, Arnold C, et al. e-ASPECTS software improves interobserver agreement and accuracy of interpretation of aspects score [J]. Interv Neuroradiol, 2021, 27:781-787.

(收稿日期:2023-08-01;修回日期:2023-11-05)

(本文编辑:林 贇)