

## 综述

## ASPECT 评分在急性缺血性脑卒中临床应用中的研究进展

卫雪敏, 高成金

上海交通大学医学院附属新华医院急诊科, 上海 200092

**[摘要]** 急性缺血性脑卒中 (acute ischemic stroke, AIS) 以高致残率、高致死率为特征, 如何快速准确地诊断和选择恰当的治疗方式是诊治的关键。AIS 患者病情的严重程度主要取决于脑组织早期缺血性改变 (early ischemic change, EIC) 的位置和病灶的大小, 因此结合影像学检查对患者病情进行评估十分必要。Alberta 卒中项目早期 CT 评分 (Alberta stroke program early CT score, ASPECT 评分) 是一个总分为 10 分的影像组学评分系统, 以准确、简单的方式来评价脑卒中患者大脑中动脉供血区域 EIC, 从影像学角度量化患者的病情严重程度, 帮助临床医师进行医疗决策。ASPECT 评分不仅被广泛地应用于预测脑卒中患者的预后情况, 也被用于识别接受血管内治疗获益的人群, 及评估患者进行血管内治疗的风险。目前结合多模式影像学的 ASPECT 评分也用于预测缺血性病灶核心体积以及预测预后。近年来随着人工智能的发展, 出现了基于机器学习的自动化 ASPECT 评分方法。该文对 ASPECT 评分方法及其在 AIS 治疗和预后预测中的价值、多模式 ASPECT 评分、与人工智能相结合的自动化 ASPECT 评分的应用进行综述。

**[关键词]** 急性缺血性脑卒中; Alberta 卒中项目早期 CT 评分; 预后; 人工智能

**[DOI]** 10.3969/j.issn.1674-8115.2022.07.011 **[中图分类号]** R743.3 **[文献标志码]** A

## Research progress of clinical application of ASPECT score in acute ischemic stroke

WEI Xuemin, GAO Chengjin

Department of Emergency, Xinhua Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200092, China

**[Abstract]** Acute ischemic stroke (AIS) is characterized by a high rate of disability and mortality, and rapid and accurate diagnosis and appropriate treatment are the keys. The severity of AIS patients depends on the location of early ischemic changes (EIC) in the brain tissue and the size of the lesion, so it is necessary to evaluate the patients' conditions by combining with imaging. The Alberta stroke program early CT score (ASPECT score) is a 10-point imaging score system that evaluates the EIC in the middle cerebral artery supplying region of the stroke patients in an accurate and simple way by quantifying the severity in terms of the imaging to help clinicians make medical decisions. ASPECT score is not only widely used to predict the prognosis of stroke patients, but also to identify the population benefiting from the endovascular therapy and evaluate the risk of endovascular therapy for patients. ASPECT score combined with multimodal imaging has also been used to predict ischemic core volumes and the prognosis. In recent years, with the development of artificial intelligence, automatic ASPECT scoring methods based on machine learning have emerged. This paper reviews ASPECT scoring methods, its value in the treatment and the assessment of prognosis in AIS, multimodal ASPECT scoring, and the application of automated ASPECT scoring combined with artificial intelligence.

**[Key words]** acute ischemic stroke (AIS); Alberta stroke program early CT score (ASPECT score); prognosis; artificial intelligence

急性缺血性脑卒中 (acute ischemic stroke, AIS) 为特征, 早诊断、早治疗是急性脑卒中诊治的关键。是急性脑卒中中最常见的类型, 以高致残率、高致死率 Alberta 卒中项目早期 CT 评分 (Alberta stroke

**[基金项目]** 国家自然科学基金 (82172138, 81873947); 上海市科学技术委员会医学创新专项项目 (21Y11902400); 上海市科学技术委员会优秀学科带头人项目 (21XD1402200); 海南医科大学急诊与创伤教育部重点实验室 (KLET-202016)。

**[作者简介]** 卫雪敏 (1996—), 女, 硕士生; 电子信箱: weixuemin111@163.com。

**[通信作者]** 高成金, 电子信箱: chengjingao2003@163.com。

**[Funding Information]** National Natural Science Foundation of China (82172138, 81873947); Special Medical Innovation Project of Shanghai Science and Technology Committee (21Y11902400); Excellent Academic Leader Program of Shanghai Science and Technology Committee (21XD1402200); Key Laboratory of Emergency and Trauma (Hainan Medical University), Ministry of Education (KLET-202016).

**[Corresponding Author]** GAO Chengjin, E-mail: chengjingao2003@163.com.

program early CT score, ASPECT评分)是一个总分为10分的评分系统,最初用于评价头颅非增强CT(noncontrast CT, NCCT)影像,目前已广泛应用于多模式影像中。在AIS患者接受治疗前,完善CT或MRI等神经影像学检查可以初步明确病变性质,而ASPECT评分可用于量化评估患者脑组织早期缺血性改变(early ischemic change, EIC)的损伤程度,为医师进行医疗决策提供依据,以及预测患者预后。因此,本文基于最新的研究报道对ASPECT评分在AIS中的临床应用和研究现状作一综述。

## 1 ASPECT评分方法

EIC定义为NCCT上的脑实质的低密度灶或局部肿胀区域。欧洲急性卒中合作研究-1(European Cooperative Acute Stroke Study-1, ECASS-1)最早提出“1/3法则”<sup>[1]</sup>,即EIC小于1/3大脑中动脉供血区域的患者接受静脉内溶栓(intravenous thrombolysis, IVT)治疗的预后较好。但后续研究<sup>[2]</sup>发现“1/3法则”无法量化病灶体积,可靠性欠佳。为准确、简单地评价EIC, BARBER等<sup>[3]</sup>在2000年提出了ASPECT评分方法。ASPECT评分方法如下:将大脑中动脉(middle cerebral artery, MCA)的供血区分为10个区域,即M1~M6,以及豆状核、尾状核、内囊和岛叶;每个区域各记为1分,共计10分,有1个存在EIC的区域即减去1分;若ASPECT评分为10分代表无EIC,而0分则提示脑组织存在广泛缺血灶。

ASPECT评分的提出主要针对前循环EIC的评估。2008年PUETZ等<sup>[4]</sup>提出后循环Alberta卒中项目早期CT评分(the posterior circulation Alberta stroke program early CT score, pc-ASPECT评分)用于评估后循环EIC。pc-ASPECT的评分方法:将后循环分为8个区域,总分为10分;EIC存在于左/右侧丘脑、左/右侧小脑半球或左/右侧大脑后动脉供血区减1分, EIC存在于中脑或桥脑区域减2分;满分10分代表无EIC。在进行评分时, EIC应该在图像2个层面可见,以确保是真实存在的病变而不是因部分容积效应导致的假阳性结果。患者头部倾斜、运动伪影和骨伪影是导致ASPECT评分假阳性评分的3个最常见原因。

## 2 利用ASPECT评分识别接受血管内治疗获益的人群

AIS患者进行急诊溶栓或取栓治疗存在时间窗限制,使用ASPECT评分可以简单且快速地识别接受栓或溶栓治疗的获益人群。许多研究<sup>[5-8]</sup>发现, ASPECT评分分值越高的AIS患者,治疗后实现血管完全再通及预后良好的概率更高。

### 2.1 机械性取栓治疗

5个大型多中心研究(MR CLEAN、EXTEND-IA、SWIFT PRIME、REVASCAT和ESCAPE)表明,与单独接受IVT相比,机械性取栓可以在一定程度上改善大血管闭塞(large vessel occlusion, LVO)所致的预后结局,从而使动脉血管内介入联合IVT成为急性前循环LVO的一线治疗方法<sup>[9]</sup>。

对上述5项取栓研究的meta分析<sup>[10]</sup>发现, ASPECT评分>5分的患者对取栓治疗有明显的获益。研究比较分析了ASPECT评分0~5分、6~8分、9~10分3组的预后,发现评分为6~8分和9~10分的2组患者的预后较好。另一项纳入224名LVO型脑梗死患者的研究发现, ASPECT评分≥6分的患者接受机械性取栓治疗后的预后优于ASPECT评分<6分的患者<sup>[11]</sup>。

病灶EIC区域的大小是影响患者接受血管再通治疗的独立预后因素。弥散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)比NCCT在发现急性缺血性病灶方面更为敏感、准确。DWI-ASPECT评分的一致性优于NCCT-ASPECT评分,而且DWI-ASPECT评分在预测90d的功能预后方面优于NCCT-ASPECT评分<sup>[12]</sup>。一项回顾性研究<sup>[13]</sup>对6h内接受取栓治疗的171位前循环脑梗死患者进行DWI-ASPECT评分,并据此分为高分组(7~10分)与低分组(4~6分),结果发现在患者颅内出血发生率及死亡率方面,高分组与低分组之间没有明显差异,提示DWI-ASPECT评分≥4分的患者接受取栓治疗的并发症发生率无明显差异。

对于治疗大面积AIS患者,2019年美国心脏协会/美国卒中协会的急性卒中早期管理指南<sup>[14]</sup>中关于采用机械取栓的推荐强度较弱,但也有人认为大面积AIS患者可以从机械取栓治疗中获益。2021年的一项回顾性研究<sup>[15]</sup>发现,对ASPECT评分≤5分且侧支循

环状态良好的患者进行血管内治疗实现完全再通,可以达到良好的临床预后。SONG等<sup>[9]</sup>利用DWI-ASPECT评分评估了AIS患者进行血管内治疗的安全性,发现即使患者由于大血管闭塞导致DWI中病灶较大,即DWI-ASPECT评分 $\leq 5$ 分,但如果在6 h内或6 h后实现血管完全再通,也依然可获得良好的临床效果。但该研究的病例数较少,入组患者仅19人。

## 2.2 IVT治疗

BARBER等<sup>[3]</sup>的早期研究将ASPECT评分用于预测接受IVT治疗后患者的功能预后和症状性颅内出血情况,其截断值为7分,发现ASPECT评分越高,患者越受益于IVT治疗<sup>[16]</sup>。但仍有一些研究<sup>[9]</sup>结果表明,DWI-ASPECT评分 $< 7$ 分仍可以从血管内治疗中获益。一项血管内治疗的前瞻性临床注册数据分析<sup>[17]</sup>,共纳入了210名AIS患者,DWI-ASPECT评分的中位数为7分。研究发现DWI-ASPECT评分=5分是预测良好结局的最佳阈值。在包括混杂变量的多变量分析中,DWI-ASPECT评分 $\geq 5$ 分的患者受益于血管内治疗的调整后优势比为5.06(95%CI 1.86~13.77,  $P=0.002$ )。

近年的研究<sup>[18]</sup>发现,将美国国立卫生研究院卒中量表(National Institute of Health Stroke Scale, NIHSS)评分与ASPECT评分结合可以用于评估患者进行IVT治疗的安全性,并且预测预后情况。2021年的一项前瞻性观察性研究<sup>[19]</sup>共纳入了208位在发病4.5 h内行影像学检查的AIS患者,将其分为NIHSS-ASPECT评分不匹配组和匹配组,在NIHSS-ASPECT评分不匹配组(NIHSS $\geq 8$ 分,ASPECTS $\geq 8$ 分)的患者中,IVT治疗的临床功能预后较好,且颅内出血、死亡率或其他不良预后的风险较低。另一项纳入104位患者的研究<sup>[20]</sup>发现,NIHSS-ASPECT评分不匹配(NIHSS $\geq 8$ 分,ASPECTS $\geq 9$ 分)的患者可明显受益于溶栓治疗。NIHSS-ASPECT评分不匹配有望成为指导AIS治疗决策的一个简单易得的指标。

## 3 ASPECT评分在预测预后中的应用

有作者通过对脑卒中患者脑半暗带的研究<sup>[21]</sup>发现,ASPECT评分 $> 7$ 分的临床预后较好( $RR=3.3$ ,

95%CI 1.6~6.8),评分 $\leq 4$ 分的患者往往预后不佳。在LVO型的AIS患者中,机械性取栓治疗可成功实现再灌注,但只有约一半的患者有良好的临床结果,ASPECT评分与患者预后情况之间呈近线性反相关关系<sup>[22]</sup>。

为明确LVO型AIS患者行再灌注治疗发生不良预后的截断值,YOSHIMOTO等<sup>[23]</sup>进行相关研究,收集2014年3月—2017年12月美国国家脑和心血管中心卒中登记处的LVO型急性脑梗死患者,共纳入198位患者,对所有患者进行DWI-ASPECT评分,中位DWI-ASPECT评分为7(四分位间距:5~9)分。受试者操作特征曲线(ROC曲线)分析发现,发生不良预后的DWI-ASPECT评分阈值为4分(AUC=0.78,  $P<0.01$ ; 敏感度为71%,特异度为75%)。

目前关于前循环预后的相关研究远多于后循环,由于后循环的运动及感觉通路和核团分布比幕上半球更密集,所以AIS病灶的位置相对于病灶体积可能对患者神经功能的影响更为重要。因此,利用ASPECT评分评估EIC是预测后循环AIS患者神经功能预后的理想方法。

LIN等<sup>[24]</sup>研究共纳入125例发病36 h内的首次发生后循环AIS患者,得到pc-ASPECT评分预测患者预后的最佳截断值为7分,在ROC曲线分析中,pc-ASPECT评分在预测轻症后循环AIS患者的功能预后方面比NIHSS评分更具有可靠性。

对前循环AIS患者进行再灌注治疗的时间越早,患者的临床预后越好,而在后循环AIS中主要时间指标的影响仍是未知的。GUILLAUME等<sup>[25]</sup>研究发现,在基线时用DWI评估的患者中,若DWI-pc-ASPECT评分 $< 8$ 分,患者的预后与成像到再灌注的时间长短之间存在显著的负相关,提示这些患者在成像后应进行快速血管内再灌注。

## 4 ASPECT评分在多模式影像学中的应用

ASPECT评分除了用于CT和DWI影像,也用于颅脑CT灌注成像(CT perfusion, CTP)和CT血管造影(CT angiography, CTA)影像。这些影像结合ASPECT评分形成了多模式影像学ASPECT评分,包括脑血容



量 (cerebral blood volume, CBV)-ASPECT 评分、脑血流 (cerebral blood flow, CBF)-ASPECT 评分、CTA 源图像 (CTA source image, CTA-SI)-ASPECT 评分, 为前循环 AIS 患者制定医疗决策和预测预后提供依据。一项有关血管内治疗的研究<sup>[26]</sup>发现, CTP-ASPECT 评分与临床不良预后呈负相关, AIS 患者进行治疗前的 CTP-ASPECT 评分越高, 其临床结局越佳。

CTP-ASPECT 评分是预测 AIS 患者缺血性病灶核心体积的常用方法, CTA-SI-ASPECT 评分也可以提供更多的信息来确定缺血的程度。VOLETI 等<sup>[27]</sup>对于延迟时间窗口中 CTP-ASPECT 评分和 CTA-SI-ASPECT 评分与 CTP 定义的缺血性病灶核心体积之间的相关性进行了研究, 试验共纳入 52 例在治疗延迟时间窗口的患者, 并进行了 NCCT、CTA 和 CTP 的基线影像学检查。NCCT-ASPECT 评分中位数为 7 分, CTA-SI-ASPECT 评分中位数为 5 分, CTP 缺血核心体积中位数为 14.5 mL。NCCT-ASPECT 评分和 CTA-SI-ASPECT 评分与 CTP 缺血性病灶核心体积之间均存在中度相关 ( $R_{\text{NCCT}}=-0.55$ ,  $R_{\text{CTA-SI}}=-0.50$ ); 预测 CTP 缺血核心体积 >70 mL 的最佳 NCCT-ASPECT 评分的临界值为 6 分 (灵敏度为 84%, 特异度为 57%), 最佳 CTA-SI-ASPECT 评分的临界值为 5 分 (敏感度为 76%, 特异度为 71%)。但是在没有 CTP 影像的情况下, 是否可以使用 NCCT 和 CTA 影像预测 AIS 患者缺血性病灶核心体积, 还需要进一步的研究。

## 5 自动化 ASPECT 评分

临床医师及时有效地筛选适合急诊溶栓或取栓的病例具有重要的临床意义, 可显著改善患者的预后。因此, 自动化脑卒中影像评分有很大的发展前景。近年来随着人工智能 (AI) 技术的发展, 文献报道中出现了许多基于机器学习的自动 ASPECT 评分方法<sup>[18,28-33]</sup>。

一项研究<sup>[34]</sup>利用前瞻性数据库中的 430 例病例, 验证 syngo.via Frontier ASPECTS prototype software (西门子自动化 ASPECT 评分软件) 的有效性, 结果发现自动化 ASPECT 评分的组内相关系数 (intraclass correlation coefficient, ICC) 为 0.76, 灵敏度为 66%, 特异度为 92%。将自动化 ASPECT 评分与参考标准进行比较, 其 ICC 为 0.526; 将观察者的 ASPECT 评分

与参考标准进行比较, 其 ICC 为 0.383~0.464。研究表明该软件自动化 ASPECT 评分的性能与专家评判能力相当。一个名为 e-ASPECTS 的软件包也已经被证明其 ASPECT 评分结果误差小于 10%, 不低于专家的评判能力<sup>[35-36]</sup>。但有研究显示出不同的结果: 在一项随访研究<sup>[37]</sup>中, 15 例既往有脑白质病变、脑梗死和非典型性脑实质缺损等病理改变的脑卒中患者, 与手工评估相比, 自动化评分方法表现出较低的性能。提示对于存在既往脑实质病变的病例, 自动化的 ASPECT 评分结果可靠性相对较低。

各式的应用软件为 AIS 的诊断提供了支持。HOELTER 等<sup>[18]</sup>对这些不同的自动化 ASPECT 评分软件的性能之间的差异进行了研究。他们对 3 种自动化 ASPECT 评分软件 (The syngo.via Frontier ASPECTS prototype software、Brainomix e-ASPECTS 和 RAPID ASPECTS) 进行分析比较, 结果发现在 AIS 的自动化 ASPECT 评分方面, 3 种软件评分结果与专家评判结果的相关系数分别为 0.801、0.871、0.777, 无明显差别。

除了基于 NCCT 的自动化 ASPECT 评分软件, 关于多模式影像的自动化 ASPECT 评分也相继涌现。DO 等<sup>[38]</sup>开发了一种深度学习算法, 利用 DWI 对 AIS 患者进行 ASPECT 评分的自动二值分类; 该研究共纳入 390 例急性前循环脑梗死患者的 DWI 影像数据集, 利用循环残差卷积神经网络 (recurrent residual convolutional neural network, RRCNN) 的分类器算法将数据集分为低 DWI-ASPECT 评分组 (1~6 分) 和高 DWI-ASPECT 评分组 (7~10 分), 分类准确率达到 87.3%, AUC 为 0.941。

MAEGERLEIN 等<sup>[39]</sup>认为对于 LVO 患者, 自动化 ASPECT 评分的准确性具有时间依赖性。在发病 1 h 内, 自动化 ASPECT 评分与专家 ASPECT 评分 (基于 FLAIR/DWI) 间的一致性较差; 而对发病时间 >4 h 的病例, 两者的一致性较好。推测原因可能是因为 LVO 患者梗死面积大, 因此随着发病到检查时间的延长, 病灶越大越容易识别, 自动化 ASPECT 评分软件更容易识别发病时间 >4 h 的病灶。需要指出的是, 不论用哪种自动化 ASPECT 评分软件都不能用来进行独立诊断, 更不能取代临床医师, 其价值更多的是辅助医师进行临床决策, 因此临床医师在诊断时不能过度依赖自动化 ASPECT 评分软件的评估结果。

## 6 总结和展望

ASPECT评分是一种实用、可靠的评分工具,可用来评估AIS患者的病情严重程度,且可以结合多模式影像学检查辅助临床医师快速选择合适的治疗方式,以及准确地预测预后。自动化的ASPECT评分可以及时有效地筛选适合溶栓或取栓的患者人群,有助于改善预后情况,降低致残率与死亡率。在临床应用中,ASPECT评分也存在一定局限性。首先,ASPECT评分中10个区域各记1分,没有考虑到病灶位置不同对患者的病情严重程度的影响,故需进一步研究明确ASPECT评分中不同区域的权重问题。其次,目前还没有结合前后循环的ASPECT评分,对于合并前后循环脑梗死的病例,无法应用ASPECT评分进行评价,

故ASPECT评分在临床上的应用需进一步地探索。

### 利益冲突声明/Conflict of Interests

所有作者声明不存在利益冲突。

Both authors disclose no relevant conflict of interests.

### 作者贡献/Authors' Contributions

卫雪敏负责论文的写作,高成金负责论文的修改。所有作者均阅读并同意了最终稿件的提交。

The manuscript was drafted by WEI Xuemin and revised by GAO Chengjin. Both authors have read the last version of paper and consented for submission.

• Received: 2022-03-07

• Accepted: 2022-06-24

• Published online: 2022-07-28

## 参·考·文·献

- [1] 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(13): 1017-1025.
- [2] WARDLAW J M, DORMAN P J, LEWIS S C, et al. Can stroke physicians and neuroradiologists identify signs of early cerebral infarction on CT? [J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 1999, 67(5): 651-653.
- [3] BARBER P A, DEMCHUK A M, ZHANG J, et al. Validity and reliability of a quantitative computed tomography score in predicting outcome of hyperacute stroke before thrombolytic therapy[J]. Lancet, 2000, 355(9216): 1670-1674.
- [4] PUETZ V, SYLAJA P N, COUTTS S B, et al. Extent of hypoattenuation on CT angiography source images predicts functional outcome in patients with basilar artery occlusion[J]. Stroke, 2008, 39(9): 2485-2490.
- [5] OSPEL J M, MCDONOUGH R, DEMCHUK A M, et al. Predictors and clinical impact of infarct progression rate in the ESCAPE-NA1 trial[J]. J Neurointerv Surg, 2021. DOI: 10.1136/neurintsurg-2021-017994.
- [6] RIOU-COMTE N, GUILLEMIN F, GORY B, et al. Predictive factors of functional independence after optimal reperfusion in anterior circulation ischaemic stroke with indication for intravenous thrombolysis plus mechanical thrombectomy[J]. Eur J Neurol, 2021, 28(1): 141-151.
- [7] JADHAV A P, DESAI S M, BUDZIK R F, et al. First pass effect in patients with large vessel occlusion strokes undergoing neurothrombectomy: insights from the Trevo Retriever Registry[J]. J Neurointerv Surg, 2021, 13(7): 619-622.
- [8] WU X, PAYABVASH S, MATOUK C C, et al. Cost-effectiveness of endovascular thrombectomy in patients with low Alberta Stroke Program Early CT Scores (<6) at presentation[J]. J Neurosurg, 2021, 135(6): 1645-1655.
- [9] SONG K P, GUAN M, LI W X, et al. Acute ischemic stroke patients with diffusion-weighted imaging-Alberta stroke program early computed tomography score≤5 can benefit from endovascular treatment: a single-center experience and literature review[J]. Neuroradiology, 2019, 61(4): 451-459.
- [10] GOYAL M, MENON B K, VAN ZWAM W H, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials[J]. Lancet, 2016, 387(10029): 1723-1731.
- [11] MOKIN M, PENDURTHI A, LJUBIMOV V, et al. ASPECTS, large vessel occlusion, and time of symptom onset: estimation of eligibility for endovascular therapy[J]. Neurosurgery, 2018, 83(1): 122-127.
- [12] TEI H, UCHIYAMA S, USUI T, et al. Diffusion-weighted ASPECTS as an independent marker for predicting functional outcome[J]. J Neurol, 2011, 258(4): 559-565.
- [13] KIM S K, YOON W, PARK M S, et al. Outcomes are not different between patients with intermediate and high DWI-ASPECTS after stent-retriever embolectomy for acute anterior circulation stroke[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2016, 37(6): 1080-1085.
- [14] POWERS W J, RABINSTEIN A A, 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(12): e344-e418.
- [15] BROOCKS G, KNIEP H, SCHRAMM P, et al. Patients with low Alberta stroke program early CT score (ASPECTS) but good collaterals benefit from endovascular recanalization[J]. J Neurointerv Surg, 2020, 12(8): 747-752.
- [16] WANG Z X, WANG C, ZHANG P, et al. Effects of early changes in blood pressure during intravenous thrombolysis on the prognosis of acute ischemic stroke patients[J]. Front Aging Neurosci, 2020, 12: 601471.
- [17] INOUE M, OLIVOT J M, LABREUCHE J, et al. Impact of diffusion-weighted imaging Alberta stroke program early computed tomography score on the success of endovascular reperfusion therapy[J]. Stroke, 2014, 45(7): 1992-1998.
- [18] HOELTER P, MUEHLEN I, GOELITZ P, et al. Automated ASPECT scoring in acute ischemic stroke: comparison of three software tools[J].



- Neuroradiology, 2020, 62(10): 1231-1238.
- [19] DENG P P, WU N, CHEN X J, et al. NIHSS-the Alberta stroke program early CT score mismatch in guiding thrombolysis in patients with acute ischemic stroke[J]. *J Neurol*, 2022, 269(3): 1515-1521.
- [20] WU H M, LEE I H, LUO C B, et al. Clinical-CT mismatch defined NIHSS $\geq$ 8 and CT-ASPECTS $\geq$ 9 as a reliable marker of candidacy for intravenous thrombolytic therapy in acute ischemic stroke[J]. *PLoS One*, 2021, 16(4): e0251077.
- [21] CLARK W, LUTSEP H, BARNWELL S, et al. The penumbra pivotal stroke trial: safety and effectiveness of a new generation of mechanical devices for clot removal in intracranial large vessel occlusive disease[J]. *Stroke*, 2009, 40(8): 2761-2768.
- [22] VAN HORN N, KNIEP H, LEISCHNER H, et al. Predictors of poor clinical outcome despite complete reperfusion in acute ischemic stroke patients[J]. *J NeuroInterv Surg*, 2021, 13(1): 14-18.
- [23] YOSHIMOTO T, INOUE M, YAMAGAMI H, et al. Use of diffusion-weighted imaging-Alberta stroke program early computed tomography score (DWI-ASPECTS) and ischemic core volume to determine the malignant profile in acute stroke[J]. *J Am Heart Assoc*, 2019, 8(22): e012558.
- [24] LIN S F, CHEN C N, HU H H, et al. Predicting functional outcomes of posterior circulation acute ischemic stroke in first 36 h of stroke onset[J]. *J Neurol*, 2018, 265(4): 926-932.
- [25] GUILLAUME M, LAPERGUE B, GORY B, et al. Rapid successful reperfusion of basilar artery occlusion strokes with pretreatment diffusion-weighted imaging posterior-circulation ASPECTS $\leq$ 8 Is associated with good outcome[J]. *J Am Heart Assoc*, 2019, 8(10): e010962.
- [26] ZHANG W Y, XIANG S F, YANG S J, et al. The application of computed tomography perfusion in the Alberta stroke program early computed tomography score for endovascular treatment of acute ischemic stroke in the anterior circulation[J]. *Int J Gen Med*, 2021, 14: 1865-1871.
- [27] VOLETI S, VIDOVIH J, CORCORAN B, et al. Correlation of Alberta stroke program early computed tomography score with computed tomography perfusion core in large vessel occlusion in delayed time windows[J]. *Stroke*, 2021, 52(2): 498-504.
- [28] KUANG H, NAJM M, CHAKRABORTY D, et al. Automated ASPECTS on noncontrast CT scans in patients with acute ischemic stroke using machine learning[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2019, 40(1): 33-38.
- [29] ALBERS G W, WALD M J, MLYNASH M, et al. Automated calculation of Alberta stroke program early CT score: validation in patients with large hemispheric infarct[J]. *Stroke*, 2019, 50(11): 3277-3279.
- [30] SOUN J E, CHOW D S, NAGAMINE M, et al. Artificial intelligence and acute stroke imaging[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2021, 42(1): 2-11.
- [31] NAGANUMA M, TACHIBANA A, FUCHIGAMI T, et al. Alberta stroke program early CT score calculation using the deep learning-based brain hemisphere comparison algorithm[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2021, 30(7): 105791.
- [32] SALAZAR A J, USECHE N, GRANJA M, et al. Reliability and accuracy of individual Alberta stroke program early CT score regions using a medical and a smartphone reading system in a telestroke network[J]. *J Telemed Telecare*, 2021, 27(7): 436-443.
- [33] NAGEL S, WANG X, CARCEL C, et al. Clinical utility of electronic Alberta stroke program early computed tomography score software in the ENCHANTED trial database[J]. *Stroke*, 2018, 49(6): 1407-1411.
- [34] WOLFF L, BERKHEMER O A, VAN ES ACGM, et al. Validation of automated Alberta stroke program early CT score (ASPECTS) software for detection of early ischemic changes on non-contrast brain CT scans[J]. *Neuroradiology*, 2021, 63(4): 491-498.
- [35] HAUSSEN D C, DEHKHARGHANI S, RANGARAJU S, et al. Automated CT perfusion ischemic core volume and noncontrast CT ASPECTS (Alberta stroke program early CT score): correlation and clinical outcome prediction in large vessel stroke[J]. *Stroke*, 2016, 47(9): 2318-2322.
- [36] NEUHAUS A, SEYEDSAADAT S M, MIHAL D, et al. Region-specific agreement in ASPECTS estimation between neuroradiologists and e-ASPECTS software[J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12(7): 720-723.
- [37] GUBERINA N, DIETRICH U, RADBRUCH A, et al. Detection of early infarction signs with machine learning-based diagnosis by means of the Alberta stroke program early CT score (ASPECTS) in the clinical routine[J]. *Neuroradiology*, 2018, 60(9): 889-901.
- [38] DO L N, BAEK B H, KIM S K, et al. Automatic assessment of ASPECTS using diffusion-weighted imaging in acute ischemic stroke using recurrent residual convolutional neural network[J]. *Diagnostics*, 2020, 10(10): 803.
- [39] MAEGERLEIN C, FISCHER J, MÖNCH S, et al. Automated calculation of the Alberta stroke program early CT score: feasibility and reliability[J]. *Radiology*, 2019, 291(1): 141-148.

[本文编辑] 瞿麟平