

综述

自发性脑出血预后研究进展*

郭影 高波 赵俊果

沈桂权*

贵州医科大学附属医院影像科

(贵州 贵阳 550004)

【摘要】自发性脑出血(SICH)患病率约占整个脑卒中的10%~15%，具有高患病率、高死亡率、高死亡率的特点。脑出血(ICH)患者预后的预测是近年来研究热点。多种临床量表、影像征象、影像组学模型均可以对其临床预后进行评估，可以有效指导临床进行个体化治疗，降低病死/致残率及减轻家庭和社会负担。

【关键词】自发性脑出血；预后；影像组学

【中图分类号】R743.34

【文献标识码】A

【基金项目】国家自然科学基金面上项目(81871333)
贵州省第七批“千人创新创业人才”
(GZQ202007086)
贵州省科技支撑计划
(黔科[2020]4Y159)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.06.059

Research Progress in Prognosis of Spontaneous Intracerebral Hemorrhage*

GUO Ying, GAO Bo, ZHAO Jun-guo, SHEN Gui-quan*

Department of Medical Imaging, Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang 550004, Guizhou Province, China

ABSTRACT

The prevalence of spontaneous intracerebral hemorrhage (SICH) accounts for about 10%~15% of the total stroke, which is characterized by high prevalence, high mortality and high mortality. Prediction of prognosis of intracerebral hemorrhage (ICH) is a hot topic in recent years. A variety of clinical scales, imaging signs and radiomics models can be used to evaluate the clinical prognosis, which can effectively guide the clinical individualized treatment, reduce the mortality/disability rate and reduce the burden of family and society.

Keywords: Spontaneous Intracerebral Hemorrhage; Prognosis; Radiomics

SICH指的是非创伤性血管破裂，导致血液在脑组织内积聚^[1]。有研究报道^[2-3]，ICH患者发病后30天内死亡率约为40%，1年内死亡率约为54%，仅仅12%~39%的患者可以获得长期的神经功能独立。脑出血预后量表是一种临床评估工具，它主要是通过对出现较差或良好结果的预测因子加以罗列、赋值，然后再通过所统计的分值来评价ICH病人的预后。此外还有多种传统影像征象及新兴的影像组学都用来评估ICH患者的预后。这些评估方案，根据观察终点分类可以包括死亡率预后和功能转归预后两大类；根据预测时间，可以分为短期预测模型(用于住院期间和发病30d内)、中期预测模型(3个月病情转归)和长期预测模型(6个月到1年病情转归)。本文将对近年来评估ICH预后的临床-影像模型的研究进展进行综述。

1 临床预后量表研究进展

ICH量表最先由Hemphill^[4]于2001年提出，主要是一种包含了GCS评分(Glasgow Coma Scale, GCS)、ICH出血量、脑室出血、出血部位和年龄总分为6分的评分系统，即为脑出血评分(Intracerebral hemorrhage score, ICH)。此量表一经提出，其对于预计脑出血发病30d的死亡率的准确度就迅速获得了普遍肯定，但对于预测功能预后的准确度却较差。2003年Cheung和Zou^[5]在ICH量表基础上以NIHSS评分代替GCS评分，并按照NIHSS评分、血肿是否突破脑室、血肿是否扩散至蛛网膜下腔、病人入院时体温、脉压这五种指标作为对30d死亡事件和良好预后情况的独立预测因素纳入量表，从而构建了nICH评分(new intracerebral hemorrhage score, nICH)。2008年Rost NS^[6]等首先将脑出血前是否患有认知障碍等作为一项指标并进行赋值提出FUNC评分(Functional Outcome score, FUNC)量表，试图通过脑出血患者急性期各方面的客观临床指标评估其功能预后，并且提到无论患者是否转诊及中断治疗，FUNC评分预测90天功能结果的能力保持不变。Lii等^[7]通过对227例ICH患者开展回顾性分析之后得出的结论是：病人年龄、血糖、白细胞计数和GCS评分等因素与入院治疗期间病死率具有相关性，据此提出了脑出血指数(intracerebral hemorrhage index, ICHI)；18分<ICHI<28分时病死率明显增加，ICHI≥28分时患者病死率能够达到100%。该评分量表曾在国内的某项临床研究中受到过证实，被视为能够在未获取详细影像学指标情况下能够更为精确地预估ICH患者短期死亡风险^[8]。Sembill^[9]通过前瞻性研究分析583例脑出血患者，建立了患者12个月功能预后的独立预测因子的max-ICH评分，其中包括NIHSS得分、年龄、脑室内出血、口服抗凝、脑叶出血体积。与ICH评分相比，max-ICH评分显示了较高的预测效度，同时将治疗限制造成的混淆最小化，使其成为ICH患者病情严重程度评估的有用工具。2018年Farzad等^[10]构建了改良新脑出血评分量表(modified Intracerebral hemorrhage score scale, mICH)，与nICH评分量表的区别是新提出了改良Rankin评分(modified rankin scale, mRS)这一概念并认为mRS评分较NIHSS评分能更好地评价ICH预后神经功能的恢复。Lun等^[11]发现使用24小时成像后计算ICH评分、FUNC评分和mRS评分，在预测3个月死亡率方面比在就诊时计算的结果有更好的预后价值。Wen-Song Yang等^[12]在ICH评分基础上又研究并提出动态颅内出血评分(dynamic ICH, dICH)及超早期脑出血(ultra-early ICH, uICH)评分。以上多种临床评分量表在在预测不良功能结果方面表现良好。

2 传统影像特征预测脑出血预后

血肿扩张(Hematoma expansion, HE)定义为入院首次影像学检查与24h内的影像学复查之间血肿量的增多，尽管当下对于HE的标准，尚缺乏一致性的认识，但通常认为，血肿容积相对于基线血肿增加了6ml或高于基线血肿容积33%，就可看作是血肿扩大^[13]。据报道HE发生在近30%脑出血病人，每增加1mL血肿，不良预后的风险就会增加5%，

【第一作者】郭影，女，住院医师，主要研究方向：神经影像学。E-mail: 17585245609@163.com

【通讯作者】沈桂权，男，主任医师，主要研究方向：神经影像学。E-mail: 13985132152@163.com

所以HE被认为是ICH病人死亡率和不良预后的独立预测因子^[14]。准确预测HE将对临床早期干预、实施个体化治疗带来帮助。

作为最早被广泛研究和普遍认可的成像标志,CT血管造影(CTA)“斑点征”是HE的可靠有效预测指标^[15],代表造影剂自微血管向外持续渗漏,预示血肿有进一步扩大的风险,并有报道称其可作为血肿扩大的独立预测因子^[16]。2016年,Orito^[17]在“斑点征”基础上通过对脑出血患者进行2期CTA扫描,把血肿内ROI延迟期CT值增高>10%这种征象称为“渗漏征”阳性,其敏感性和特异性分别为93.3%、88.9%。

但对于脑出血病人而言,非增强CT扫描(NCCT)是一种重要且快捷的影像检查方式^[18],总结评估脑出血预后的NCCT征象有:2009年Barras^[19]首次研究了NCCT的血肿形态与密度对于HE的影像学预测价值。在Barras研究的基础上,Fujii等^[20]指出,按形状将血肿分为规则型和不规则型,不规则血肿常提示血管多处破裂渗血所致,极易出现HE,通常预后也更差。国内有研究提出不规则血肿的HE发生率是规则血肿的2倍以上^[21]。其他预测HE的CT征象,尚有“低密度”征、“混合”征、“黑洞”征、“卫星”征和“李琦岛”征等^[22-23],以上均是根据血肿密度或形状特征来判断HE的发生。

2011年Rodriguez-Luna等^[24]首次提出超早期血肿增长(ultra-early hematoma growth, uHG)是基于入院6h内NCCT上的血肿体积与OTT的比率这一概念,并得出结论:uHG不仅可以独立被预测ICH患者中期预后,并且uHG为4.7mL/h的临界值可用于识别具HE高风险的ICH患者。uHG与ICH预后之间关系在其他研究中得以验证^[25-26]。2019年Miguel Quintas-Neves等^[27]研究目的是分析ICH患者不同NCCT标记物对血肿增长(hematoma growth, HG)的预测。这项研究的主要发现是,在随访NCCT中,“低密度”和“漩涡”征是HG的独立预测因子,“血肿形态不规则”和“卫星”征是ICH患者30天死亡事件的独立预测因子。最近的一项研究表明,NCCT标记物和众所周知的CTA“斑点”征的结合可以提供HG风险的最佳分层^[28],国内学者宋杨君^[29]发现“岛”征,“黑洞”征及“混合”征可有效预测自发性脑出血早期血肿扩张,但三种CT平扫征象联合预测的临床价值更高。

血肿周围水肿(perihematoma oedema, PHE)的发展主要发生在三个不同的阶段,其产生机制非常复杂,通常认为PHE是凝血酶积累、炎症介质内流及红细胞溶解的共同终点^[30]。在影像上,PHE是血肿周围低密度区(Hounsfield值范围为5~33),被认为是ICH后继发性损伤的影像学标志物^[31]。近年来许多研究评估了PHE与ICH患者预后的相关性。yao等^[32]开发并验证了一种基于CT影像组学预测基底节区脑出血周围水肿和预后的新方法。Murthy, Robert Hurford^[33]对ICH患者预后与PHE容积指标(即PHE绝对容积和延伸距离)的关系进行研究并认为72h的PHE增长率/水肿延伸距离的增加是ICH的死亡率和不良结局的独立预测指标。但Bastian等^[34]提到,由于PHE体积在发病后8~12d才可以达到峰值,所以如果只分析发病后72h PHE的改变可能得到有限的结果,从而认为峰值PHE是ICH患者中期预后的独立预测因素,而峰值PHE与年龄、血肿体积、开始第3天的PHE升高及炎症指标有关。宦仁正^[35]首次量化了单位体积的PHE程度,并证明了72h PHE平均 Hounsfield 值与ICH的不良预后密切相关,发现平均 Hounsfield 值这一指标具有更好的预测能力。

3 影像组学预测脑出血预后

2012年Lambin等^[36]正式推出了影像组学的定义,即即通过高通量的影像学图片中提取数据特征,并通过全自动或半自动分析方法将数据特征转换为可数据挖掘的高维数据库。基于体素的影像组学能够获取更多客观的、量化的、肉眼无法识别的图像特性。机器学习(ML)可以使用算法从具有多个变量的大数据集自动优化模型,像逻辑回归、支持向量机、随机森林和贝叶斯等算法已经在放射学领域得到了广泛应用^[37]。影像组学和机器学习的结合大大提高模型的预测能力,并被广泛用于癌症检测和实体瘤的表型亚型分类^[38]。影像组学在脑出血方面的研究尚处于起步阶

段。

最近的报道通过基于NCCT图像的影像组学来预测ICH后的HE,并且这些研究中的所有模型都获得了良好的预测性能^[39-40]。Shen等^[41]将纹理分析首先运用到评估HE方面,认为方差、均匀度等纹理参数可以独立预测HE。Kornelia M.李惠等^[42]利用纹理分析进一步指出基于GLRLM算法的特征值LRLGE能够作为早期HE的预测因子。Jawed Nawabi^[43]提出基于机器学习的定量影像组学特征在评估ICH预后方面提供了与多维临床评分系统相同的辨别能力。国内学者杨俊等^[44]通过对212例患者的NCCT图像分析最终筛选共得到18个特征,通过把这些影像特征与支持向量机算法(SVM)结合起来构建了早期预后预测模型,测得模型的敏感性、特异性及ROC曲线下面积分别为92.5%、83.5%和0.928。国内研究者Xinghua Xu等^[45]提出利用CT影像组学和机器学习结合的优势,建立了精确的ICH患者的长期预后预测模型,其中随机森林模型和极端梯度增强(XGBoost)模型的准确度最高。李青润、韩雷等^[46]探究影像组学模型与NCCT征象(初始血肿体积、“血肿形态不规则”、“漩涡”征、“混合”征和“岛”征)在预测ICH病人早期HE方面的作用时,得到的结论是影像组学模型与传统影像征象模型相比在预测ICH患者早期HE方面具有较高性能。宋祖华教授等^[47]通过回顾性分析261例ICH患者,从患者住院病历中记录的临床特征及NCCT图像中提取的传统影像学征象和放射组学特征被用于构建多种模型以辨别早期HE,其中联合模型是鉴别早期HE危险的脑出血患者的最佳推荐模型,其在训练集和验证集中ROC曲线下面积分别为0.960和0.867。

列线图(Alignment Diagram),又称诺莫图(Nomogram图),就是在多因素回归分析方法的基础上,通过给各个影响因素进行整合,按照其贡献程度赋分,然后再将各个评分汇总及相关函数关系转换,从而得到该个体结局事件的预测值。列线图是临床上常用来预测肿瘤预后的一种工具^[48],可以更直观、个性化地预测癌症患者的存活率,但在脑出血的预测模型中较为少见。Yao X, Xu Y等^[49]首先提出开发一种可在超急性期快速用于预测HE风险的分级工具,构建的血肿扩张预测(Hematoma Expansion Prediction, HEP)评分由6个因素组成(从发病到基线CT时间、痴呆史、吸烟、抗血小板使用、GCS评分、基线扫描时是否合并蛛网膜下腔出血),并用列线图的形式来表示;最终结论是HEP总评分为>为3的患者发生HE的风险最大。Mingfei Yang等^[50]也报道了包含基线血肿体积、到基线CT时间、脑室内出血、“漩涡”征、“混合”征、“岛状”征和糖尿病史的血肿诺莫图。Chao Zhang^[51]提出旨在基于简单的影像学、实验室和流行病学特征开发一种可行且准确的HE预测列线图,并前瞻性地验证建立的多因素列线图在脑出血中的有效性^[52]。这种实用的预后列线图可以帮助临床医生对临床实践和临床研究的设计做出决策。Zuhua Song^[53]将包括来自NCCT图像的影像组学特征加入到临床模型中,开发了一个临床-影像组学列线图(由6个独立的预测因子开发的,即中线偏移、OTT、GCS评分、血清葡萄糖、尿酸和影像组学评分(Rad-score),该图在训练队列中对ICH患者90天功能不良预后的鉴别效果明显优于临床模型。这种临床-影像组学列线图不仅能在入院诊断的基础上完成,并且可以在脑出血的超急性期进行评估。此外,该方法简单可行,并且易于使用,不需要丰富的影像学经验,适合经验不足的一线临床医师使用。

4 结论

ICH病人一般起病急、病情重,因此患者在入院期间的临床应用量表往往是目前临床中比较常见的判断预后的一个方法。不过目前,尚没有哪个脑出血量表能够全面包括人口学、影像学、实验室指标、临床神经功能评分等信息。当今大多数NCCT征象是在样本量相对较小的单中心队列研究中报道的,但由于部分影像征象缺少前瞻性标准,同时易受工作经验等主观因素影响,其预测预后的准确度及稳定性也不是很理想。影像组学能从常规影像中发掘出大量有价值的特征,结合多种机器学习算法从而准确预测ICH患者预后,推动了精准医疗的发展。但多数研究仍是单

中心小样本量研究, 需要多中心、大样本数据做支撑。

参考文献

- [1] 中华医学会神经外科学分会中国医师协会急诊医师分会中华医学会神经病学分会脑血管病学组国家卫健委脑卒中筛查与防治工程委员会高血压性脑出血中国多学科诊治指南. [J]. 中国急救医学2020, 40(8): 689-702.
- [2] Wu S, B Wu, M Liu, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management. *Lancet Neurol*, 2019, 18(4): 394-405.
- [3] Burns J D, Fisher J L, Cervantes-Arslanian A M. Recent Advances in the Acute Management of Intracerebral Hemorrhage [J]. *Neurosurgery Clinics of North America*, 2018, 29(2): 263-272. 5.
- [4] Tuhrim S, The ICH score-A simple, reliable grading scale for intracerebral hemorrhage-Editorial Comment. *Stroke*, 2001, 32(4): 897-897.
- [5] Cheung R T F, Zou L Y. Use of the Original, Modified, or New Intracerebral Hemorrhage Score to Predict Mortality and Morbidity After Intracerebral Hemorrhage [J]. *Stroke*, 2003, 34(7): 1717-1722.
- [6] Rost N S, Smith E E, Chang Y, et al. Prediction of functional outcome in patients with primary intracerebral hemorrhage: the FUNC score. [J]. *Stroke*, 2008, 39(8): 2304-2309.
- [7] Li Y F, Jing L, Qian L, et al. A New Simple Model for Prediction of Hospital Mortality in Patients with Intracerebral Hemorrhage [J]. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 2012, 18(6): 482-486.
- [8] 成涛, 杨柳, 郭庚, 等. 脑出血指数对急性脑出血病人预后评估的临床价值. 中西医结合心脑血管病杂志, 2016, 14(23): 4.
- [9] Sembill J A, Gerner S T, Volbers B, et al. Severity assessment in maximally treated ICH patients: The max-ICH score. [J]. *Neurology*, 2017; 10.1212
- [10] Farzad, Rahmani, Reza, et al. Predicting 30-day mortality in patients with primary intracerebral hemorrhage: Evaluation of the value of intracerebral hemorrhage and modified new intracerebral hemorrhage scores. [J]. *Iranian journal of neurology*, 2018.
- [11] Lun R, Yogendrakumar V, Demchuk A M, et al. Calculation of Prognostic Scores Using Delayed Imaging Outperform Baseline Assessments in Acute Intracerebral Hemorrhage [J]. *Stroke*, 2020, 51(4): STROKEAHA119027119.
- [12] Yang W S, Shen Y Q, Wei X, et al. New Prediction Models of Functional Outcome in Acute Intracerebral Hemorrhage: The dICH Score and uICH Score. *Front Neurol*. 2021, 12: 655800. Published 2021 May 5.
- [13] Dowlatsahi D, Demchuk A M, Flaherty M L, et al. Defining hematoma expansion in intracerebral hemorrhage: Relationship with patient outcomes [J]. *Neurology*, 2011, 76(14): 1238-1244.
- [14] Delcourt C, Huang Y, Arima H, et al. Hematoma growth and outcomes in intracerebral hemorrhage: The INTERACT1 study. [J]. *Neurology*, 2012, 79(4): 314-319.
- [15] Wada R, Aviv R I, Fox A J, et al. CT Angiography "Spot Sign" Predicts Hematoma Expansion in Acute Intracerebral Hemorrhage Ryan Wada, Richard I. Aviv, Allan J. Fox, Demetrios J. Sahlas, David J. Gladstone, George Tomlinson and Sean P. Symons [J]. *Stroke*, 2007, 38(4): 1257-1262.
- [16] 库洪彬, 张颜礼, 张卫民, 等. CTA和CTP点征在中等量高血压性基底节区出血超早期手术方式选择中的应用价值 [J] 中国临床神经. 2020, 25(5): 3.
- [17] Murai, Yasuo. Letter by Murai Regarding Article, "Leakage Sign for Primary Intracerebral Hemorrhage: A Novel Predictor of Hematoma Growth" [J]. *Stroke; a journal of cerebral circulation*, 2016, 47(8): e211-e211.
- [18] 钟浩, 李嘉华, 王玉召, 等. CT检查对高血压性脑出血的诊断及临床预后评估价值分析 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(7): 3.
- [19] Ba Rras C D, Tress B M, Christensen S, et al. Density and Shape as CT Predictors of Intracerebral Hemorrhage Growth [J]. *Stroke; a journal of cerebral circulation*, 2009, 40(4): 1325.
- [20] Fujii Y, Multivariate analysis of predictors of hematoma enlargement in spontaneous intracerebral hemorrhage. *Stroke*, 1998, 29(6): 1160-6.
- [21] 彭佳华, 龙少好, 黄兰青, 等. 自发性脑出血患者血肿形态分析对早期血肿扩大的预测与诊断价值 [J]. 中华急诊医学杂志, 2020, 29(4): 8.
- [22] Li Q, Island Sign: An Imaging Predictor for Early Hematoma Expansion and Poor Outcome in Patients With Intracerebral Hemorrhage. *Stroke*, 2018. 48(11): 3019.
- [23] Boulouis G, Dumas A, Betensky R A, et al. Anatomic pattern of intracerebral hemorrhage expansion: relation to CT angiography spot sign and hematoma center. [J]. *Stroke; a journal of cerebral circulation*, 2014, 45(4): 1154.
- [24] Rodriguez-Luna D, Rubiera M, Ribo M, et al. Ultraearly hematoma growth predicts poor outcome after acute intracerebral hemorrhage [J]. *Neurology*, 2011, 77(17): 1599-604
- [25] Xiang Y, Zhang T, Li Y, et al. Comparison of Ultra-Early Hematoma Growth and Common Noncontrast Computed Tomography Features in Predicting Hematoma Enlargement in Patients with Spontaneous Intracerebral Hemorrhage-ScienceDirect [J]. *World Neurosurgery*, 2020, 134.
- [26] Yuan L, Shen Y Q, Xie X F, et al. Combination of Ultra-Early Hematoma Growth and Blend Sign for Predicting Hematoma Expansion and Functional Outcome [J]. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 2019, 189: 105625.
- [27] Quintas-Neves M, Marques L, Silva L, et al. Noncontrast computed tomography markers of outcome in intracerebral hemorrhage patients [J]. *Neurological Research*, 2019, 41(12): 1-7.
- [28] Morotti A, Boulouis G, Charidimou A, et al. Integration of Computed Tomographic Angiography Spot Sign and Noncontrast Computed Tomographic Hypodensities to Predict Hematoma Expansion [J]. *Stroke*, 2018, 49(9): 2067-2073.
- [29] 宋杨君. CT平扫影像学征象预测自发性脑出血患者早期血肿扩张的临床价值分析 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(11): 3.
- [30] Ironside N, Chen C J, Ding D, et al. Perihematomal Edema After Spontaneous Intracerebral Hemorrhage [J]. *Stroke*, 2019.
- [31] Ayres, Alison, M, et al. Rate of Peri-Hematomal Edema Expansion Predicts Mortality after Intracerebral Hemorrhage [J]. *Annals of neurology*, 2014, 76(Suppl. 18): S88-S88.
- [32] Yao X, Liao L, Han Y, et al. Computerized Tomography Radiomics Features Analysis for Evaluation of Perihematomal Edema in Basal Ganglia Hemorrhage [J]. *Journal of Craniofacial Surgery*, 2019, 30(8): e768-e771.
- [33] Hurford R, Vail A, Heal C, et al. Oedema extension distance in intracerebral haemorrhage: Association with baseline characteristics and long-term outcome [J]. *European Stroke Journal*, 2019, 4(3): 263-270.
- [34] Simona, Lattanzi, Mauro, et al. Reader response: Peak perihemorrhagic edema correlates with functional outcome in intracerebral hemorrhage. [J]. *Neurology*, 2018.
- [35] 宦仁正. 血肿周围水肿的Hounsfield值与脑出血不良预后相关性研究. 2021.
- [36] Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *European journal of cancer: official journal for European Organization for Research and Treatment of Cancer (EORTC) and European Association for Cancer Research (EACR)*, 2012.
- [37] Khalaf M H, Sundaram V, Mohammed M A, et al. A Predictive Model for Postembolization Syndrome after Transarterial Hepatic Chemoembolization of Hepatocellular Carcinoma [J]. *Radiology*, 2018, 290.
- [38] Ginsburg S B, Algohary A, Pahwa S, et al. Radiomic features for prostate cancer detection on MRI differ between the transition and peripheral zones: Preliminary findings from a multi-institutional study [J]. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 2016.
- [39] Xie H, Ma S, Wang X, et al. Noncontrast computer tomography-based radiomics model for predicting intracerebral hemorrhage expansion: preliminary findings and comparison with conventional radiological model [J]. *European Radiology*, 2019.
- [40] Ma C, Y Zhang, Niyazi T, et al. Radiomics for predicting hematoma expansion in patients with hypertensive intraparenchymal hematomas [J]. *European Journal of Radiology*, 2019, 115: 10-15.
- [41] Shen Q, Shan Y, Hu Z, et al. Quantitative parameters of CT texture analysis as potential markers for early prediction of spontaneous intracranial hemorrhage enlargement [J]. *European Radiology*, 2018.
- [42] 李惠, 王翔, 张树桐, 等. CT纹理分析对高血压性脑出血早期扩大的预测价值 [J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(10): 1564-1567, 1578.
- [43] Nawabi J, H Kniep, S Elsayed, et al. Imaging-Based Outcome Prediction of Acute Intracerebral Hemorrhage. *Translational Stroke Research*, 2021.
- [44] 杨俊, 侯自明, 王浩, 等. 影像组学模型对高血压脑出血早期血肿扩大的预测作用研究. 中华神经医学杂志, 2019. 18(1): 6.
- [45] Xu X, Zhang J, Yang K, et al. Prognostic prediction of hypertensive intracerebral hemorrhage using CT radiomics and machine learning [J]. *Brain and Behavior*, 2021.
- [46] 李青润, 韩雷, 陈红日, 等. 影像组学模型对自发性脑出血早期血肿扩大的预测及与常规影像征象的比较 [J]. 中国医学计算机成像杂志, 2021, 27(2): 91-96.
- [47] Song Z, Guo D, Tang Z, et al. Noncontrast Computed Tomography-Based Radiomics Analysis in Discriminating Early Hematoma Expansion after Spontaneous Intracerebral Hemorrhage [J]. *Korean Journal of Radiology*, 2020, 21(3).
- [48] Dasgupta A, Gupta T, Pungavkar S, et al. Nomograms based on preoperative multiparametric magnetic resonance imaging for prediction of molecular subgrouping in medulloblastoma: Results from a radiogenomics study of 111 patients [J]. *Neuro-Oncology*, 2019, 21(1).
- [49] The HEP Score: A Nomogram-Derived Hematoma Expansion Prediction Scale [J]. *Neurocritical Care*, 2015, 23(2): 179-187.
- [50] Yang M, Du C, Zhang Q, et al. Nomogram Model for Predicting Hematoma Expansion in Spontaneous Intracerebral Hemorrhage: Multicenter Retrospective Study - ScienceDirect [J]. *World Neurosurgery*, 2020, 137.
- [51] Zhang C, Ge H, Zhong J, et al. Development and validation of a nomogram for predicting hematoma expansion in intracerebral hemorrhage-ScienceDirect [J]. *Journal of Clinical Neuroscience*, 2020, 82: 99-104.
- [52] Xu W, Ding S, Shan Y, et al. A Nomogram Model of Radiomics and Satellite Sign Number as Imaging Predictor for Intracranial Hematoma Expansion [J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2020, 14: 491.
- [53] Song Z, Tang Z, Liu H, et al. A clinical-radiomics nomogram may provide a personalized 90-day functional outcome assessment for spontaneous intracerebral hemorrhage [J]. *European Radiology*, 2021: 1-11.

(收稿日期: 2022-02-25)

(校对编辑: 孙晓晴)