

论 著

MRI成像辅助预测卒中病变预后的价值研究*

汪建伟¹ 聂春焰^{2*}

1.南京医科大学第四附属医院(京新院区)急诊科(江苏南京 210000)

2.南京医科大学第四附属医院(京新院区)影像/介入科(江苏南京 210000)

【摘要】目的 本研究旨在基于MRI成像结合临床信息的卒中病变预后预测, 以期临床诊治提供参考。**方法** 回顾性分析本院于2022年8月至2023年8月期间收治的75名缺血性中风患者, 分为两组: 训练组(n=43)和测试组(n=32)。采集MRI成像信息, 每个患者还具有TICI评分、TSS、TTT和MRS评分的特征。**结果** 本研究显示了两个具有不同TICI评分的MRI图, 以及在90天的随访中从T2序列获得的手动分割。本研究显示了合并两个不同TICI评分的患者的临床信息的附加值: 一个是再灌注失败(TICI=0), 另一个是再灌注成功(TICI=3)。此外, 本研究显示了测试数据集中每种最先进方法获得的平均DSC分数和Hausdorff距离, 可以观察到基线方法的性能提升, 将其置于顶级评分方法组中。**结论** 基于MRI成像结合临床信息可以有效预测卒中病变预后, 值得临床参考使用。

【关键词】 MRI成像; 缺血性中风; 缺血再灌注; 卒中

【中图分类号】 R255.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 2020年度江苏省中医药科技发展计划项目(YB2020005)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.05.002

Research on Prognostic Prediction of Stroke Lesions Based on MRI Imaging Combined with Clinical Information*

WANG Jian-wei¹, NIE Chun-yan^{2,*}

1.Department of Emergency, the Fourth Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

2.Department of Imaging/Interventional Medicine, the Fourth Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective This study aims to predict the prognosis of stroke lesions based on MRI imaging combined with clinical information, in order to provide reference for clinical diagnosis and treatment. **Methods** A retrospective analysis was conducted on 75 ischemic stroke patients admitted to our hospital from August 2022 to August 2023, divided into two groups: the training group (n=43) and the testing group (n=32). Collect MRI imaging information, and each patient also has characteristics of TICI score, TSS, TTT, and MRS score. **Results** This study showed two MRI images with different TICI scores, as well as manual segmentation obtained from T2 sequences during a 90 day follow-up. This study showed the added value of clinical information for patients who combined two different TICI scores: one was reperfusion failure (TICI=0), and the other was reperfusion success (TICI=3). In addition, this study showed the average DSC score and Hausdorff distance obtained by each state-of-the-art method in the test dataset, and the performance improvement of the baseline method can be observed, placing it in the top scoring method group. **Conclusion** The combination of MRI imaging and clinical information can effectively predict the prognosis of stroke lesions, which is worthy of clinical reference.

Keywords: MRI Imaging; Ischemic Stroke; Ischemia Reperfusion; Apoplexy

中风是全球第二大死亡原因, 其中缺血性中风是最常见的类型。缺血性中风是由局部溶栓、血流动力学因素或血栓原因引起的动脉闭塞引起的^[1]。由于动脉闭塞, 周围区域突然出现血流量减少, 导致细胞进入略高于细胞死亡的短暂状态。低灌注区涉及有风险的组织, 也称为可挽救组织, 它可以最终达到不可行的故障点, 即使在流量恢复之后^[2]。因此, 卒中病变的特征可以是核心组织, 被脑死亡组织包围, 以及与可挽救组织相对应的半影区组织。卒中病变的时间演变可分为四个主要阶段: 超急性(初始事件)、急性(事件后6h)、亚急性(从24h开始)和慢性期(从2周开始)^[3]。

神经成像在卒中的诊断和治疗中起着至关重要的作用, 其中CT和MRI是首选的成像方式^[4]。然而, 由于MRI的多光谱特性, 它可以更好地检测和评估潜在的可挽救组织。在通过神经影像采集对中风病变进行诊断和评估后, 临床医生需要计划治疗阶段^[5]。这一阶段包括机械血栓切除或溶栓, 以使低血流组织血运重建, 这仅适用于亚急性期。因此, 在短时间内, 专家医生必须仔细评估临床干预的相关风险和益处, 即潜在可挽救的低血流组织的体积与导致出血或其他并发症的风险。如果进行了再通治疗, 则通过标准化的脑梗塞溶栓(TICI)评分来评估再通成功^[6]。根据病变的性质预测卒中病变的预后(即随访3个月时)以及治疗的潜在疗效, 对指导医生的决策具有很大的潜力。一种自动的中风组织结果预测方法将帮助医生在这种时间关键的决策过程中^[7]。因此, 本研究基于MRI成像结合临床信息的卒中病变进行预后预测, 以期临床诊治提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究资料 回顾性分析本院于2022年8月至2023年8月期间收治的75名缺血性中风患者, 分为两组: 训练组(n=43)和测试组(n=32), 他们接受了机械性血栓切除术。对于每个受试者, 采集MRI成像信息, 每个患者还具有TICI评分、TSS、TTT和MRS评分的特征。

1.2 研究方法 所有影像由两位专科医生重新审阅, 对于每个受试者, 使用统一的随机抽样方案, 提取了大约500个大小为88×88的模块。使用ADAM优化器进行训练, 所有测试都在配备了8 GB GeForce GTX 1070的工作站上进行。对于每个患者来说, 预测大约需要15秒^[3]。本研究使用扩散图和灌注图, 增加了六个MRI参数图: 扩散ADC图和灌注相对脑血流量(RCBF)、相对脑血容量(RCBV)、平均通过时间(MTT)、到达峰值时间(TTP)和Tmax图。当考虑低TICI评分的病例时, 预测组织丢失的最大程度简化了临床决策过程, 因此减少了组织因低灌注量而死亡的机会^[6]。在这种情况下, 随着TICI评分的加入, 本研究目标是推动模型预测卒中病变结果的最坏情况。相反, 在TICI得分较高的情况下, 本研究更倾向于预测恢复的成功地实现了由于再灌注而导致的组织低灌注, 保持了与以前相同的原则。

1.3 统计学方法 所有数据分析用SPSS 26.0软件进行, P值<0.05被认为具有统计学意义。分类变量用绝对值和频率记录, 连续变量用均值±标准差记录。对分类变量进行适当的 χ^2 分析, 对正态分布的连续变量进行独立t检验。

【第一作者】汪建伟, 男, 主治医师, 主要研究方向: 卒中。E-mail: guojing38@163.com

【通讯作者】聂春焰, 男, 副主任医师, 主要研究方向: 外周血管疾病的介入治疗。E-mail: cynie80@163.com

2 结果

2.1 TICl评分0-3中风患者的MRI参数图分析 具体如图1、图2所示，显示了两个具有不同TICl评分的MRI图，以及在90天的随访中从T2序列获得的手动分割。

2.2 再灌注失败和成功的MRI参数图分析 具体如图3、图4中所示，本研究显示了合并两个不同TICl评分的患者的临床信息

的附加值：一个是再灌注失败(TICl=0)，另一个是再灌注成功(TICl=3)。

2.3 测试数据集分析 具体如图5所示，本研究显示了测试数据集中每种最先进方法获得的平均DSC分数和Hausdorff距离，可以观察到基线方法的性能提升，将其置于顶级评分方法组中。

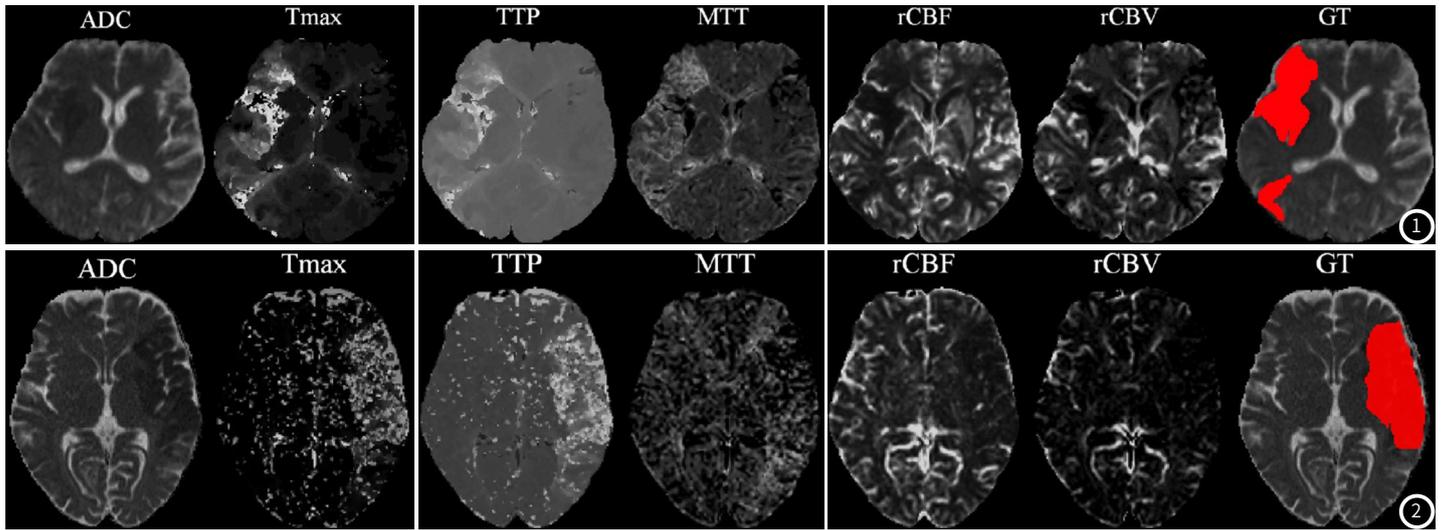


图1 TICl评分为0的中风患者的MRI参数图，以及相应的手动分割。只定义了一个类别，同时描述了梗死区和半影区。

图2 TICl评分为3的中风患者的MRI参数图，以及相应的手动分割。

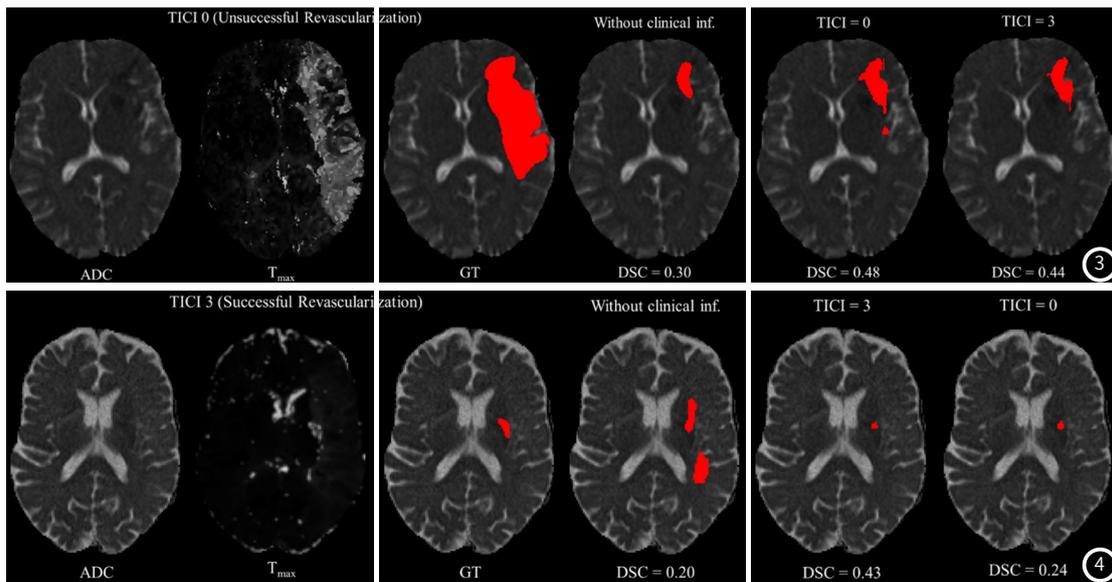


图3 预测未成功再通患者的卒中损伤结果。为了便于描述，本研究给出了ADC和Tmax图以及GT。在有临床信息的情况下，本研究显示了两种可能的结果：不成功(TICl=0)和成功再通(TICl=3)。

图4 成功再通患者中有无影像临床信息的卒中损伤预后预测实例。本研究给出了ADC和Tmax图以及GT。在有临床信息的情况下，本研究显示了两种可能的结果：成功(TICl=3)和不成功(TICl=0)。

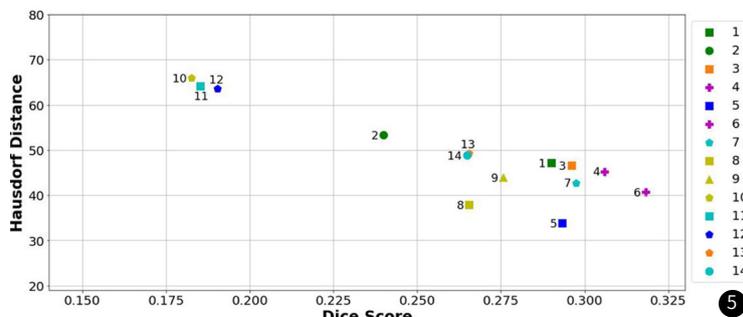


图5 测试数据库中Hausdorff距离与概率得分。即越靠近水平轴，越远离原点越好(即高概率和低Hausdorff)。

3 讨论

由于组织的外观、大小和形状差异很大,因此组织结局预测是一项具有挑战性的任务。在这项研究中,本研究表明了神经网络中拥有非成像临床信息的重要性,以表征主支循环血流动力学并获得更好的预测结果^[8]。与基线相比,本研究方案能够获得更高的DSC和更低的Hausdorff距离,显示了将TICI评分纳入神经网络的附加值。这表明通过描绘低灌注区组织的逐渐变化,具有更高的预测卒中病变结果的能力^[9]。本研究假设,使模型意识到病变生长或缩小的内在生物学现象(依赖于TICI)会导致更准确的预测,这是由较低的距离度量值和较高的DSC评分支持的。

然而,在临床实践中,只有在血管再通后才能获得TICI评分。因此,在亚急性期,在90天的随访中预测卒中损害需要考虑不同的再灌注情景。当评估两种情况时,在决策过程中,如果进行了机械性血栓切除术,本研究方法可以向临床医生提供有关挽救组织的额外信息^[10]。在图3、图4中,本研究显示了合并两个不同TICI评分的患者的临床信息的附加值:一个是再灌注失败(TICI=0),另一个是再灌注成功(TICI=3)。对于每个病例,本研究提出了有和没有非影像临床信息的组织结果预测。在没有TICI评分的情况下,对于这两种情况,组织结果预测都比本研究建议更差^[11]。本研究建议能够利用TICI评分来产生更好的预测,这得到了更高的评分的证实,但也提供了一个在生理上更可信的结果^[12]。对照基线观察本研究建议的卒中损伤预后预测,可以注意到后者存在生理上不可行的孤立区域。此外,本研究还测试了本研究方法是否能够通过改变TICI评分来预测不同的病变结果。当改变TICI评分时,本研究为每个患者获得了不同的病变结果^[13]。此外,符合预期结果的这些场景描述了每个TICI评分(例如,通过将TICI评分从3改为0,观察到了更大的病变结果体积)。从后一项研究中,本研究发现研究方案已经意识到了无灌流和完全灌流的情况。这种能力可以为临床医生提供有用的洞察力,了解与机械血栓切除术相关的好处和风险^[14]。此外,它还可以用来预测康复,这对患者的治疗和与患者恢复相关的完整标准护理非常重要。为了证实本研究定性分析,包含了每个病例的基本真实病变体积,以及分别针对原始TICI评分和相反情况下的预测体积结果^[15]。

本研究显示了TICI评分在本研究提案中的影响。当改变TICI评分时,本研究观察到不同的卒中病变结果预测,与再灌注成功相一致^[16]。当增加TICI评分时,挽救的低灌注组织的体积变得更大,这对应于卒中病变的缩小。当TICI=0时,情况显示了这种行为。在将TICI评分增加到TICI=3之后,本研究获得了较小的卒中病变体积。AS对于TICI=3的病例42,当本研究将TICI评分从TICI=3降低到TICI=0时,预测量描述了相反的现象。当TICI=0时,低灌注组织丢失较高,组织预后预测体积较大^[17]。从这两种情况下,观察到的组织结果预测体积的变化表明,TICI评分能够驱动组织结果预测场景,并根据每个TICI评分的生理动态同时给予病变的生长或缩小,并且没有不可行的孤立区域^[18]。与基线相比,通过建议的自定义损失函数和额外的TICI通道合并临床信息导致更高的性能。本研究建议能够从非成像数据中提取信息,并将其训练和测试阶段推向更好的预测。因此,在损失函数中同时加入再灌注状态作为附加特征,可以提高分类器的性能^[19]。此外,本研究还展示了本研究建议具有更高的泛化能力,因为建议在两个数据集上的性能指标变化较小。虽然之前的一项工作已经研究了使用非成像临床信息来进行机器学习方法的训练,但这些信息并没有在深度学习方法的背景下直接进行评估^[6]。有研究结果表明^[8],在训练阶段隐性地非成像临床信息纳入深度学习架

构,并通过额外的渠道明确地纳入患者特定信息的好处。

与最先进的方法相比,本研究建议可以达到具有竞争力的结果,跻身于顶级评分方法之列。对于单一模型方法,本研究建议产生了排名前五的方法以及集成方法。在同一组中,本研究方法达到了最高的召回率,但准确率较低。对于距离度量,本研究建议可以提供具有竞争力的ASSD分数,标准差很小,并且在顶级方法中具有Hausdorff距离^[2]。本研究强调,作为后处理步骤,本研究方法只应用了简单的形态去除小的连通分量。因此,精心设计的后处理方案,如条件随机场或甚至加权集成方案,可以提高此类方法的性能。即使在这种情况下,本研究方法在卒中病变结果描述方面也提供了良好的稳健性和精确度^[7]。为了加强图5中的分析,本研究显示了测试数据集中每种最先进方法获得的平均DSC分数和Hausdorff距离。除了本研究建议外,本研究还包括了基线方法。从图5中,本研究可以观察到本研究建议相对于基线方法的性能提升,将其置于顶级评分方法组中。预测卒中病变的结果有可能帮助干预者评估与机械血栓切除术相关的风险和益处^[20]。因此,拥有这样的工具可以在临床决策过程中提供有用的信息。本研究建议在两个不同的架构级别集成了临床信息。第一级考虑人群领域知识,通过开发自定义损失函数来描述TICI评分和组织结果预测之间的关系^[21]。第二层考虑特定于患者的域,其中TICI被编码到体系结构的输入通道中。从后一个层面来看,本研究方案能够描述成功再通不成功再通的不同结果。这种方法本身就是一种突破性的工具,有可能获得与机械血栓切除术相关的风险和好处。本研究观察到,所提出的方法得益于成像和非成像信息的结合^[22]。此外,当与最先进的方法进行比较时,本研究观察到,具有更少参数的单一体系结构(如本研究体系结构)产生的性能度量类似于更精细和/或集成的方法。然而,仍有改进的空间,因为目前最先进的方法都不能提供临床实践所需的稳健性和准确性^[23]。在未来,希望研究增加其他临床信息,如TTT和TSS^[24]。

综上所述,在这项工作中,本研究提出了一个新的深度学习体系结构,它超越了以前提出的体系结构,以一种原则性的方式整合了临床信息。

参考文献

- [1] 张小乐. 评估rt-PA联合尿激酶静脉溶栓治疗急性缺血性脑卒中预后动态监测血栓弹力图的临床意义[J]. 罕少疾病杂志, 2025, 32(4): 9-11, 62.
- [2] Beekman R, Hirsch K G. Expanding beyond ischemic stroke: a qualitative MRI score that facilitates outcome prediction in patients with hypoxic ischemic brain injury[J]. Resuscitation, 2023, 187: 109800.
- [3] Ben A I, Limam H, Kraiem T. Automatic triaging of acute ischemic stroke patients for reperfusion therapies using artificial intelligence methods and multiple MRI features: a review[J]. Clin Imaging, 2023, 104: 109992.
- [4] Cetinkaya E, Aralasmak A, Goksungur G, et al. Comparing perfusion data of CE-MRI, SWI, and CTA with MR perfusion in stroke[J]. Curr Med Imaging, 2023, 19(2): 136-141.
- [5] Chung J J, Jin T. Average saturation efficiency filter ASEF-CEST MRI of stroke rodents[J]. Magn Reson Med, 2023, 89(2): 565-576.
- [6] Chung J, Sun D, Hitchens T K, et al. Dual contrast CEST MRI for pH-weighted imaging in stroke[J]. Magn Reson Med, 2024, 91(1): 357-367.
- [7] Civrny J, Sedlackova Z, Malenak T, et al. Comparison of semi-quantitative and visual assessment of early MRI signal evolution in acute ischaemic stroke[J]. Eur J Radiol Open, 2023, 10: 100488.
- [8] D'Anna L, Searle G, Harvey K, et al. Time course of neuroinflammation after human stroke - a pilot study using co-registered PET and MRI[J]. BMC Neurol, 2023, 23(1): 193.

