

脑卒中与神经影像智能诊断调研报告

摘要

脑卒中作为全球范围内致死和致残的主要原因，其疾病负担日益加重，尤其在低收入和中等收入国家。在中国，脑卒中已成为国民首位死因，带来了严峻的公共卫生挑战和巨大的经济压力。在急性卒中的诊疗路径中，神经影像学扮演着无可替代的核心角色，其主要任务是在极短的时间窗内区分出血性与缺血性卒中、评估血管闭塞情况及脑组织损伤程度，从而指导溶栓、取栓等超急性期治疗。然而，以计算机断层扫描（CT）和磁共振成像（MRI）为代表的传统影像技术，在诊断效率、可及性与诊断精度之间存在固有的矛盾，即 CT 快速普及但对早期缺血不敏感，MRI 精准但耗时且昂贵。这一“速度与敏感度”的临床困境，成为制约卒中救治效率的关键瓶颈。

人工智能（AI），特别是以卷积神经网络（CNN）和 Transformer 模型为代表的深度学习技术，为破解这一困境提供了革命性的解决方案。本报告深入分析了 AI 在卒中神经影像领域的应用现状，其核心应用场景包括：1) 基于 CT/MRI 的病灶自动分割与定量，如精准计算梗死核心与缺血半暗带体积；2) 智能分诊与检测，如快速识别大血管闭塞（LVO）和颅内出血（ICH）；3) 定量评估，如自动计算 ASPECTS 评分以辅助治疗决策。这些应用旨在提升诊断的速度、准确性和标准化水平，有效弥补了传统影像解读的不足。

尽管技术发展迅速，AI 在临床的广泛应用仍面临三大瓶颈：1) **数据困境**：模型在不同医疗机构间的泛化能力不足、训练数据中固有的偏倚以及高质量标注数据集的稀缺，限制了算法的鲁棒性和公平性；2) **算法困境**：深度学习模型的“黑箱”特性导致其决策过程缺乏透明度，难以获得临床医生的充分信任；3) **应用困境**：将 AI 模型无缝整合到高压、快节奏的临床 workflows 中，面临技术、流程和人为因素的多重挑战。

为应对这些挑战，“可信赖 AI”（Trustworthy AI）已成为行业共识与未来发展的核心框架，强调公平性、鲁棒性、可解释性和安全性。在产业化方面，全球市场已形成清晰的竞争格局。以 Viz.ai、RapidAI 为代表的国际企业，聚焦于优化跨院区的协同救治流程，其解决方案在加速患者转运和治疗决策方面价值显著。而以数坤科技、推想医疗为代表的中国头部企业，则更侧重于为大型医疗中心提供覆盖多模态、全流程的“一站式”智能诊断平台。监管审批（如 FDA、NMPA 三类证）已成为该领域的核心竞争壁垒。

展望未来，脑卒中智能诊断将朝着三大方向演进：**1. 技术前沿**：从单一影像分析迈向融合电子病历、基因组学、生物信号等多模态数据的综合模型，并通过联邦学习技术在保护数据隐私的前提下，利用多中心数据解决泛化性难题；**2. 应用拓展**：AI 的应用范围将从院内急救延伸至院前预警、风险筛查和院后康复的全周期健康管理；**3. 生态构建**：行业将共同构建以可信赖 AI 为核心的伦理、法规和技术标准体系。最终，这些趋势将汇聚成一个以患者为中心的、精准、协同、可信的智能卒中诊疗新范式，其终极形态或将是为每位患者构建动态的“数字孪生”模型，实现从诊断辅助到全生命周期个性化管理的跨越。

1. 引言：脑卒中的严峻挑战与神经影像的临床核心地位

1.1. 全球及中国的脑卒中流行病学与疾病负担

脑卒中，通常被称为“中风”，是一种急性脑血管疾病，已成为全球公共卫生的重大威胁。根据世界卒中组织（WSO）的数据，脑卒中是全球范围内导致死亡和残疾的主要原因之一。其影响范围之广令人警醒：全球超过 25 岁的成年人中，四分之一的人将在其一生中经历一次卒中¹。每年，全球有超过 1200 万新发卒中病例，其中 650 万人因此死亡，超过 1 亿人曾罹患卒中¹。从疾病负担来看，卒中是全球第二大致死原因，也是导致残疾调

整生命年（DALYs）损失的第三大原因²。这一巨大的健康危机也带来了沉重的经济负担，据预测，到 2030 年，全球卒中相关的总成本将超过 1 万亿美元，占全球 GDP 的 0.66%¹。

卒中负担的分布呈现出显著的地域不均衡性。低收入和中等收入国家（LMICs）正面临着最严峻的挑战。这些国家的卒中发病率增长最快，而其医疗系统在提供有效的预防、治疗和康复服务方面往往能力有限¹。数据显示，LMICs 的卒中死亡率是高收入国家（HICs）的 3.6 倍²。根据《柳叶刀》神经病学委员会的预测，若当前趋势持续，到 2050 年，全球每年卒中死亡人数将从 2020 年的 660 万增至 970 万，其中 91% 的死亡将发生在 LMICs，这一比例高于 2020 年的 86%³。这种发展趋势揭示了一个深刻的“人口-经济悖论”：一方面，在部分 HICs，由于高血压等风险因素的有效控制，年龄标化的卒中发病率有所下降²；但另一方面，由于全球人口老龄化，卒中的绝对患病人数仍在持续攀升⁴。与此同时，疾病负担正不成比例地向医疗资源相对匮乏的 LMICs 转移。这一悖论催生了双重市场需求：HICs 需要能提升现有医疗系统效率、应对老龄化社会中不断增长的病例量的工具；而 LMICs 则迫切需要成本效益高、易于推广且能弥补专科医生短板的普惠性解决方案。AI 驱动的智能诊断技术，因其兼具提升诊疗水平和扩大优质医疗资源可及性的潜力，恰好能够满足这两类市场的核心诉求。

在中国，脑卒中的形势尤为严峻。自 2015 年以来，卒中已超越其他疾病，成为导致中国人群死亡和残疾的首要原因⁶。根据《中国脑卒中防治报告（2023）》及相关流行病学调查，2020 年中国估计有 1780 万成年人曾患卒中，当年新发病例达 340 万⁶。仅在 40 岁及以上人群中，现患人数就高达 1242 万⁹。这意味着在中国，平均每 10 秒就有一人初发或复发卒中，每 28 秒就有一人死于卒中⁹。中国的人口老龄化进程（2023 年 65 岁以上人口占比 15.8%¹²）以及高血压、糖尿病、高血脂等危险因素患病率的持续攀升且控制不佳，正进一步加剧卒中的疾病负担⁶。在所有卒中类型中，缺血性卒中（Ischemic Stroke, IS）占绝对主导地位，比例超过 80%⁶。此外，卒中发病呈现年轻化趋势也引起了广泛关注。全球数据显示，超过 60% 的卒中发生在 70 岁以下人群，16% 发生在 50 岁以下¹。中国的数据同样证实了这一趋势，在 15-49 岁的年轻成年人群体中，卒中同样造成

了严重的生命年损失，尽管其死亡率远低于老年人群¹¹。

1.2. 神经影像在急性卒中诊疗路径中的应用价值与固有局限

在与时间赛跑的急性卒中救治中，神经影像学检查处于绝对核心和无可替代的地位。对于所有出现卒中症状的患者，进行紧急的头部影像学检查是国际和国内诊疗指南的强制性要求¹⁵。其核心临床价值体现在以下几个方面：

1. **鉴别卒中类型**：首要任务是区分缺血性卒中与出血性卒中。这两者的治疗方案截然相反，前者可能需要溶栓或抗凝治疗，而后者则严禁使用此类药物。**CT 平扫**（NCCT）因其对血液的高敏感性，是排除颅内出血（ICH）的首选和金标准方法¹⁷。
2. **明确病因与指导治疗**：对于缺血性卒中，影像学需要进一步明确是否存在大血管闭塞（LVO），这是决定患者是否适合接受血管内治疗（机械取栓）的关键依据。**CT 血管成像（CTA）**和**磁共振血管成像（MRA）**是评估颅内外大血管状态的主要手段¹⁷。
3. **评估脑组织损伤**：影像学能够评估已发生不可逆损伤的脑组织（梗死核心）和仍有希望通过再灌注挽救的脑组织（缺血半暗带）的范围。**CT 灌注成像（CTP）**和**MRI 的弥散-灌注加权成像（DWI-PWI）**是评估这一“错配”区域的主流技术，为扩大治疗时间窗提供了重要依据¹⁷。

然而，支撑这些关键决策的传统影像技术本身存在着一个深刻的内在矛盾——即“速度与敏感度”的困境。这个两难选择构成了急性卒中影像诊断的核心痛点，也是 AI 技术最重要的价值切入点。

● 计算机断层扫描（CT）的优势与局限：

- **优势**：CT，尤其是 NCCT，是急诊科的“主力军”。其最大的优点是扫描速度快（通常在 5 分钟内完成）、设备普及率高、成本相对较低，且能快速、准确地排



除颅内出血¹⁷。

- **局限：**NCCT 最致命的弱点在于对超早期（发病数小时内）的缺血性改变不敏感。脑组织缺血导致的密度减低等征象可能需要数小时甚至更长时间才能在 NCCT 上显现²¹。这导致在决定是否进行静脉溶栓的关键时间窗内，NCCT 可能呈现“假阴性”，从而延误治疗。虽然 CTA 和 CTP 能提供更多信息，但 CTA 需要注射造影剂，存在过敏和肾损伤风险；而 CTP 的图像后处理和解读复杂，对操作人员和判读医生要求高，且并非所有医院都能常规开展¹⁷。
- **磁共振成像（MRI）的优势与局限：**
 - **优势：**MRI，特别是其弥散加权成像（DWI）序列，是诊断急性缺血性卒中的“金标准”。DWI 能够在缺血发生后数分钟内就探测到异常信号，其诊断敏感性和特异性均接近 100%²⁰。对于后循环、脑干或微小梗死的显示，MRI 也远优于 CT²⁰。
 - **局限：**MRI 的临床应用受限于其固有的缺点。首先是可及性差，并非所有医院都配备 MRI，尤其是在基层和夜间急诊。其次是扫描时间长，一次完整的脑部 MRI 检查通常需要 15 分钟以上，远长于 CT²¹。此外，MRI 的成本更高，且存在更多的禁忌症，如体内有金属植入物（如心脏起搏器）的患者无法进行检查²¹。

这种“速度 vs. 敏感度”的临床困境，直接导致了卒中诊疗流程中的关键瓶颈。医生不得不在快速但可能“看不见”的 CT 与精准但可能“来不及”的 MRI 之间做出艰难选择。此外，影像的解读本身也高度依赖于放射科医生的经验水平，尤其是在判读 NCCT 上早期、细微的缺血征象或复杂的 CTP 图谱时，不同医生之间的判读结果存在显著差异（即观察者间差异性），这影响了诊断的标准化和同质化²⁶。因此，整个卒中影像诊断领域的核心诉求，是寻求一种能够打破这一困境的方案：既能利用 CT 的快速和普及性，又能赋予其接近 MRI 的早期缺血诊断能力，同时还能将复杂的影像分析过程标准化、自动化，减少对个人经验的依赖。这正是 AI 技术得以大展身手的根本原因，其核心价值主张在于，通过算法赋能，弥合 CT 与 MRI 之间的诊断鸿沟。

2. 研究现状：人工智能赋能神经影像诊断

面对传统神经影像在卒中诊疗中的局限性，人工智能技术，特别是深度学习，正以前所未有的深度和广度重塑这一领域。AI 的核心目标是直接应对上一章节中提出的“速度与敏感度”困境以及解读标准化难题。其发展呈现出清晰的技术演进路线和紧贴临床痛点的应用场景布局，旨在将卒中影像诊断推向更快速、更精准、更智能的新阶段。

2.1. 核心技术：从卷积神经网络到 Transformer 模型

驱动卒中影像智能分析的算法模型经历了快速的迭代演进，从经典的卷积神经网络

（CNN）发展到更前沿的 Transformer 架构，并出现了两者结合的混合模型。这一技术路径的演变，反映了 AI 解决的临床问题从“是什么、在哪里”的感知量化，向“会怎样、为什么”的预后预测和深层理解的战略升级。

- **卷积神经网络（CNN）及其变体**：CNN 是当前医学影像分析的基石技术。其通过模拟人类视觉皮层的层级结构，能够自动从图像像素中学习和提取从低级（如边缘、纹理）到高级（如病灶形状、结构）的复杂特征，非常适合图像分类和分割任务²⁸。
 - **U-Net 架构**：在卒中影像领域，U-Net 及其变体是最具影响力的 CNN 架构。U-Net 由一个用于捕捉上下文信息的“编码器”（下采样路径）和一个用于精确定位的“解码器”（上采样路径）组成，并通过独特的“跳跃连接”（Skip Connections）将编码器和解码器的对应层连接起来。这种设计使其能够同时兼顾图像的全局语境和局部细节，在生物医学图像分割任务中取得了巨大成功³⁰。在卒中研究中，U-Net 被广泛应用于在 CT 和 MRI 图像上自动分割梗死核心、缺血半暗带和出血区域。例如，研究人员利用改进的 3D U-Net 模型，在 ISLES 2018 等公开数据集上取得了优异的卒中病灶分割效果³¹。一些更先进的变体，如

引入注意力机制的 Attention U-Net，在 MRI 分割任务上能够达到 0.9021 的 Dice 相似系数（DSC），展现了极高的分割精度³⁰。

- **视觉 Transformer (ViT) 模型**：ViT 是从自然语言处理（NLP）领域借鉴而来的一种新型网络架构，正迅速在计算机视觉领域获得关注。与 CNN 的局部感受野不同，ViT 将图像分割成一系列小块（Patches），并将这些块的序列输入到模型中。其核心是“自注意力机制”（Self-Attention），该机制能够计算图像中任意两个小块之间的相互关系，从而捕捉长距离的全局依赖性³⁴。这种全局建模能力使其在理解复杂、弥散性病变方面具有天然优势³⁴。
 - **应用探索**：在卒中领域，ViT 正被用于更复杂的分析任务。例如，有研究利用 ViT 对 CT 图像进行三分类（缺血性卒中、出血性卒中、无卒中），取得了超过 98% 的准确率²⁹。更前沿的应用是利用 ViT 分析包含时间维度的四维 CTP 数据，以预测最终的梗死体积，这超越了简单的病灶识别，进入了预后预测的范畴³⁶。
- **混合模型 (Hybrid Models)**：为了融合 CNN 和 ViT 的各自优势，研究者们开始探索混合架构。这类模型通常利用 CNN 强大的局部特征提取能力作为前端，再将提取的特征序列输入到 Transformer 中进行全局或时序关系建模³⁵。这种“强强联合”的策略在处理如 4D CTP 这类复杂的时空数据时，展现出比单一模型更优的性能，代表了未来算法发展的一个重要方向。

2.2. 关键应用场景：病灶分割、智能分诊与定量评估

AI 在卒中影像中的应用场景，是针对临床痛点的直接回应。每一个主流应用，都旨在解决一个或多个传统影像诊断流程中的瓶颈问题。

- **病灶自动分割 (Lesion Segmentation)**：这是目前最常见、最成熟的 AI 应用方向³²。其核心目标是替代耗时、繁琐且主观性强的手动勾画，实现病灶的自动化、标准化 delineation。

- **临床价值**：自动分割能够精准地量化脑损伤的体积，例如在 DWI 或 CTP 图像上识别并计算梗死核心的大小，在灌注图上勾画出缺血半暗带的范围，或是在 NCCT 上测量出血肿的体积²⁸。这些定量的结果是评估病情严重程度、指导治疗决策（如是否取栓、是否需要外科手术）以及预测患者预后的关键生物标志物³¹。
- **技术实现**：主要依赖 U-Net 等分割网络，通过在大量专家手动标注的“金标准”数据上进行训练，模型能够学习到病灶的影像学特征，并自动在新图像上完成分割。性能通常使用 DSC 或 IoU 等重叠度量指标进行评估³⁰。
- **智能分诊与检测（Intelligent Triage & Detection）**：这类应用旨在将 AI 打造为急诊放射科医生的“前哨”，在海量影像数据中自动、快速地识别出需要紧急关注的阳性病例，并提升其在工作流中的优先级。
 - **大血管闭塞（LVO）检测**：这是最具临床价值和商业潜力的应用之一。AI 算法自动分析 CTA 图像，在数分钟内检测出颅内颈内动脉（ICA）、大脑中动脉（MCA）M1 或 M2 段等主要血管的闭塞，并通过移动端 App 或 PACS 系统向卒中团队发出警报⁴⁰。这极大地缩短了从影像检查到启动机械取栓流程的时间，对于“时间就是大脑”的 LVO 救治至关重要。多家商业公司的产品在此领域已获得监管批准，并报告了高达 90% 以上的敏感性和特异性⁴²。
 - **颅内出血（ICH）检测**：AI 系统能够快速分析 NCCT 平扫图像，自动识别并标记疑似颅内出血的区域，实现出血性卒中的快速分诊¹⁸。这对于快速鉴别卒中类型、避免对出血患者进行错误的溶栓治疗具有决定性意义。
- **定量评估（Quantitative Assessment）**：AI 不仅能“看到”病灶，更能“量化”病灶。它将医生主观、半定量的评估方式，转变为客观、可重复的自动化测量。
 - **ASPECTS 自动评分**：艾伯塔卒中项目早期 CT 评分（ASPECTS）是一种评估大脑中动脉供血区早期缺血性改变范围的 10 分制评分系统。传统的人工评分耗时且观察者间差异巨大，严重影响了其在急诊环境下的可靠性²⁷。AI 算法通过学习 NCCT 图像上的细微密度变化，能够自动完成 10 个脑区的评估并给出 ASPECTS 总分，为临床医生提供快速、客观、一致的决策支持，尤其是在判断大面积脑梗

患者是否适合取栓时²⁷。已有研究表明，AI 评分系统的表现不劣于甚至优于普通放射科医生²⁷。

- **出血体积与中线移位测量**：对于 ICH，血肿体积和中线移位程度是预测患者死亡率和功能预后的两个最重要指标。AI 工具能够自动分割血肿，精确计算其体积，并测量中线移位的距离，将过去繁琐的手动或半自动测量过程完全自动化，为神经外科的干预决策提供可靠的量化依据¹⁸。

综上所述，AI 在卒中影像诊断领域的研究现状呈现出技术快速迭代和应用深度聚焦的特点。从技术上看，算法正从擅长感知的 CNN 向能够进行更深层次逻辑推理的 Transformer 及混合模型演进。从应用上看，AI 正精准地切入传统影像诊断的每一个痛点：用 ASPECTS 自动评分对抗 NCCT 的低敏感性，用 LVO 自动检测对抗时间延迟，用病灶自动分割对抗人工判读的主观性和低效率。这种技术与临床需求的紧密结合，预示着 AI 必将在未来的卒中诊疗中扮演越来越重要的角色。

3. 技术瓶颈与临床挑战

尽管人工智能在卒中神经影像诊断领域展现出巨大的潜力，但从实验室的研究成果走向广泛、可靠的临床应用，仍需跨越一系列严峻的技术瓶颈和实践挑战。这些挑战并非孤立存在，而是相互关联，形成了一个从数据源头到临床应用的“不信任链条”。只有系统性地解决这些问题，才能真正释放 AI 的临床价值。整个行业也因此逐渐形成共识，将目标从追求单一的“高精度 AI”转向构建全面的“可信赖 AI”框架。

3.1. 数据困境：泛化性、偏倚与高质量数据集的稀缺

数据是训练深度学习模型的基石，而当前 AI 在医疗领域面临的最大挑战正是源于数据本

身。

- **泛化性失败 (Generalization Failure)** : 这是将 AI 模型从研究推向临床应用时最常遇到的“滑铁卢”。一个在 A 医院的数据集上训练出来的模型, 即使内部测试表现优异, 当部署到 B 医院时, 其性能也可能急剧下降⁴⁹。这种现象被称为“泛化性差”或“域移”(Domain Shift) 问题。其根本原因在于不同医疗机构之间在病人人群(如年龄、种族分布)、扫描设备(不同厂商、型号)、成像参数(层厚、对比剂方案)等方面存在巨大差异⁴⁹。模型在训练时可能学到了特定于训练数据的“快捷方式”, 而非普适的病理学规律, 导致其无法适应新的、分布不同的数据。目前, 绝大多数已发表的研究缺乏在真正独立的、异构的外部数据集上的严格验证, 这使得其报告的性能指标可能过于乐观⁵⁰。
- **数据偏倚与公平性 (Bias and Fairness)** : AI 模型如同一个勤奋但没有批判性思维的学生, 会忠实地学习并放大训练数据中存在的任何偏倚⁵⁰。这些偏倚主要来自:
 - **类别不平衡 (Class Imbalance)** : 在卒中数据集中, 正常影像的数量远超阳性影像, 或者某种罕见的卒中亚型样本量极少。这会导致模型倾向于将新样本预测为多数类, 从而对少数类(如罕见病)的诊断性能不佳⁵⁰。
 - **人群偏倚 (Demographic Bias)** : 如果训练数据主要来源于某一特定种族、性别或年龄段的人群, 模型可能对其他人群的诊断效果不佳, 这不仅是技术问题, 更可能加剧现有的医疗不平等, 带来严重的伦理风险⁵⁰。
 - **标注者偏倚 (Annotator Bias)** : AI 模型的训练依赖于专家手动标注的“金标准”数据。然而, 即便是专家, 在勾画病灶边界或判读模糊影像时也存在主观性和观察者间差异³⁸。这种不一致性会作为“噪声”被模型学习, 从而影响其最终的稳定性和准确性。
- **高质量数据集的稀缺 (Scarcity of High-Quality Datasets)** : 构建一个大规模、多样化、经过高质量标注的医疗影像数据集是一项极其耗时且成本高昂的工作³⁸。尽管存在一些公开数据集, 如 ISLES (用于病灶分割挑战)、ATLAS (卒中后病灶解剖追踪) 和 AISD (急性缺血性卒中数据集)³¹, 以及像 OpenNeuro 这样的数据共享平台⁵³, 但这些数据集的规模和多样性往往仍不足以训练出能够应对真实世界复杂性的、

高度鲁棒的 AI 模型。

3.2. 算法困境：“黑箱”问题与临床信任的建立

即使模型在技术上表现完美，其内在的不可解释性也构成了临床采纳的巨大心理障碍。

- **“黑箱”本质（The Black Box Nature）**：深度学习模型，尤其是结构复杂的模型，其内部决策逻辑极其复杂，以至于开发者和用户都难以理解模型究竟是依据哪些特征做出了具体的诊断判断⁵⁴。这种不透明性，即“黑箱”问题，是临床医生对 AI 持保留态度的核心原因。医生对一个无法解释其推理过程的工具难以产生信任，尤其是在事关生死的医疗决策中⁵⁶。
- **可解释 AI（XAI）的需求与挑战**：为了打开这个“黑箱”，可解释 AI（Explainable AI, XAI）应运而生。XAI 旨在提供技术手段，让模型的决策过程变得透明和可理解⁵⁸。
 - **主流技术**：目前，最常见的 XAI 技术是生成“显著性图”（Saliency Map）或“热力图”（Heatmap）。方法如梯度加权类激活映射（Grad-CAM）、LIME 和 SHAP，能够高亮显示输入图像中对模型最终决策贡献最大的区域⁵⁴。例如，在卒中诊断中，热力图可以显示出模型是关注在真实的病灶区域，还是错误地关注在了图像伪影上。
 - **核心目标与局限**：XAI 的目标是建立医生对 AI 的信任，帮助他们识别和拒绝模型的错误判断，并促进更有效的人机协同决策⁵⁸。然而，当前 XAI 技术本身也面临挑战。生成的解释是否忠实于模型的真实逻辑、是否对临床医生真正有帮助、是否可能产生误导，这些问题仍在深入研究中。仅提供一张热力图，距离医生所期望的、符合临床思维逻辑的“解释”仍有差距⁵⁶。

3.3. 应用困境：从技术验证到临床工作流的无缝整合

一个在实验室里表现优异的算法，如果不能无缝融入临床实践，其价值便无从谈起。

- **超越准确率的考量**：临床应用成功与否，远不止是算法准确率这一个指标。AI 工具必须能够适应医院高压、快节奏、对错误零容忍的特殊环境⁴¹。如果一个 AI 工具虽然准确但操作繁琐，或者其结果呈现方式不直观，减慢了医生的工作流程，那么它在临床上就是失败的⁶²。
- **系统集成挑战**：将 AI 软件部署到医院，需要解决复杂的技术集成问题。这包括与医院现有的影像归档和通信系统（PACS）、电子病历系统（EHR）进行稳定、高效的数据对接；确保 AI 的分析处理速度足够快，不能成为新的时间瓶颈；设计出简洁明了、信息重点突出、符合医生阅读习惯的用户界面⁴¹。
- **人因工程与流程再造**：AI 的引入不仅仅是增加一个工具，更是对现有工作流程的再造。它改变了放射科医生、神经科医生和急诊科医生的角色和协作方式。这需要对所有相关人员进行充分的培训，让他们了解 AI 的能力边界和局限性，并建立新的标准操作流程（SOP）²⁶。此外，还必须警惕“自动化偏见”（Automation Bias），即过度信赖和依赖 AI，可能导致医生忽略 AI 未能识别的罕见或不典型病例，从而产生新的医疗风险。

这些瓶颈共同构成了阻碍 AI 落地的“信任鸿沟”。从数据层面开始，数据偏倚和泛化性不足导致了模型在真实世界中的表现不可靠；这种不可靠性，叠加算法本身的“黑箱”特性，进一步催生了临床医生的不信任；而一个不被信任的工具，自然难以被有效地整合进分秒必争的临床工作流中。因此，解决这些挑战需要一个系统性的、全局的视野。这正是“可信赖 AI”框架兴起的背景。该框架不再孤立地看待准确性、公平性或可解释性，而是将它们视为一个有机整体，要求 AI 系统在整个生命周期中——从数据收集、模型设计、验证测试到临床部署和后期监控——都必须满足公平、通用、可追溯、可用、鲁棒和可解释等一系列综合性要求⁶⁴。这标志着行业发展理念的成熟，即未来的成功不仅取决于技术能达到多高的“天花板”，更取决于其安全和信任的“底板”有多牢固。

4. 产业化进程：从实验室到临床应用的商业版图

随着 AI 技术的成熟和临床需求的日益明确，脑卒中智能影像诊断领域已经迅速从学术研究走向商业化落地，形成了活跃且竞争激烈的全球市场。国际和中国市场的主要参与者，在产品布局和市场策略上展现出不同的特点，但都将获得监管机构的批准视为进入市场的关键。

4.1. 国际市场头部企业与产品布局

国际市场的领导者，尤其是来自美国、英国和以色列的公司，其产品战略普遍超越了单纯的影像分析，更加强调构建一个能够优化整个卒中救治链条的协同平台。这种策略的背后，是对欧美医疗体系特点的深刻洞察，特别是患者在不同级别医院之间转运（如从初级卒中中心 PSC 到综合卒中中心 CSC）所带来的时间延误这一核心痛点。

- **Viz.ai（美国）**：作为该领域的先行者，Viz.ai 在 2018 年就通过 FDA 的 De Novo 途径获得了突破性的上市许可⁶⁶。其核心产品是一个智能化的卒中护理协调平台。当系统通过 AI 算法分析 CT/CTA 影像，检测到疑似 LVO 或颅内出血时，会立即通过移动应用程序向整个卒中团队（包括神经科医生、介入医生等）推送警报和关键影像⁴²。这种“信息找人”的模式，旨在打破院内、院际的沟通壁垒，极大缩短了从诊断到决策、再到转运和治疗的时间。近年来，Viz.ai 不断扩展其产品线，推出了能自动量化硬膜下血肿和脑内血肿体积的模块（Viz Subdural Plus, Viz ICH Plus），进一步深化其在出血性卒中领域的应用⁴⁷。其核心价值主张在于通过 AI 驱动的工作流优化来加速救治。
- **RapidAI（美国）**：是另一家市场领导者，其产品在多项定义了现代卒中治疗标准的里程碑式临床试验（如 DAWN, DEFUSE-3）中被用作筛选患者的核心影像分析工具，为其产品建立了极高的临床信誉⁶⁸。RapidAI 提供了一套非常全面的缺血性卒中

解决方案，包括 LVO 检测、CTP 灌注分析（自动计算梗死核心和半暗带）、ASPECTS 自动评分以及基于 NCCT 的早期缺血评估等⁶⁹。公司非常注重临床验证，在一些头对头的比较研究中，其 LVO 检测性能表现突出⁷¹。近期，RapidAI 的 AngioFlow（用于介入手术室内的灌注成像）和 Lumina 3D（用于自动三维血管重建）也相继获得 FDA 批准，显示其技术正向治疗端延伸⁷²。

- **Brainomix（英国）**：该公司提供名为 Brainomix 360 的卒中 AI 平台，已获得欧盟 CE 认证和美国 FDA 批准⁷⁴。其产品组合包括 e-ASPECTS（NCCT 评分）、e-CTA（侧支循环评估和 LVO 检测）和 e-CTP（灌注分析）⁷⁴。Brainomix 发布的真实世界研究数据表明，其平台的使用能够显著提升机械取栓率（提升超过 50%）并大幅缩短院际转运时间（DIDO 时间减少近 50 分钟），有力地证明了其临床价值⁷⁶。
- **Aidoc（以色列）**：Aidoc 的策略是构建一个覆盖全身多部位急性病的 AI 辅助诊断平台，其“Always-on AI”理念强调 AI 在后台持续不断地分析所有影像，自动将急症病例在放射科医生的工作列表上优先排序⁷⁸。在卒中领域，Aidoc 拥有 FDA 批准的 ICH 和 LVO 检测解决方案。值得注意的是，其 LVO 产品是首批获得 FDA 批准用于检测包括大脑中动脉远端分支在内的中等血管闭塞（MeVO）的工具之一，拓宽了潜在的介入治疗人群⁷⁸。
- **Avicenna.AI（法国）**：提供 CINA 系列 AI 产品，已获得 FDA 对 LVO、ICH 和 ASPECTS 评分的批准⁸¹。Avicenna.AI 的一个显著特点是其产品被归类为计算机辅助诊断（CADx），这意味着其功能不仅是简单的分诊提示（triage），还包括对疾病严重程度的量化评估，向临床决策支持迈进了一步⁸¹。

4.2. 中国市场主要玩家与解决方案

与国际市场相比，中国 AI 医疗影像公司的发展路径和市场策略呈现出不同特点。由于中国医疗体系以大型三甲医院为核心，患者流量巨大，因此国内厂商更倾向于打造功能全面、覆盖多模态影像的“一站式”解决方案，以满足单个大型医疗中心对脑血管病诊疗的全

面需求。

- **数坤科技 (Shukun Technology)**：作为中国医疗 AI 领域的领军企业，数坤科技将其脑血管病 AI 产品线命名为“数字脑”，定位为覆盖筛查、诊断、治疗规划全流程的一站式解决方案⁸²。公司在监管审批方面取得了瞩目的成就，是全球首家获得头颈 CTA AI 产品 NMPA 三类医疗器械注册证的公司⁸³。数坤科技也是全球少数在心、脑、胸三大关键领域均拥有 NMPA 三类证的企业之一，显示了其强大的技术平台和研发实力⁸³。截至目前，公司已累计获得数十张 NMPA 三类证及多项欧盟 MDR CE 认证，产品矩阵丰富⁸⁴。
- **推想医疗 (InferVision)**：是另一家采取多病种平台化战略的头部公司。其卒中解决方案同样覆盖缺血性与出血性卒中，提供包括 ICH 检测、CTP 分析、CTA 分析在内的全套 CT 解决方案⁸⁶。推想医疗的一个突出特点是其全球化布局，其肺结节和脑卒中 AI 产品均获得了中国 NMPA 三类证和美国 FDA 的双重认证，这表明其产品质量和临床验证达到了国际标准，为其进入全球市场奠定了坚实基础⁸⁶。
- **强联智创 (UnionStrong)**：与前两家平台型公司不同，强联智创自成立之初就高度聚焦于脑血管病领域，致力于成为“脑血管疾病智能诊疗一体化解决方案提供商”⁹⁰。公司的核心竞争力在于其构建的国内规模最大、最完整的覆盖出血性和缺血性脑卒中的专病数据库，包含了超过 10 万例 CT、MR、DSA 多模态影像和超过 4 万例患者的诊疗数据⁹¹。基于这一高质量数据库，公司开发了覆盖筛查、诊断、手术规划等全流程的 AI 产品矩阵，并获得了红杉中国、保利资本等顶级投资机构的多轮融资⁹⁰。
- **其他参与者**：中国市场还涌现出一批在特定细分领域取得突破的公司。例如，**医未医疗 (Yiwu Medical)** 的颅内出血分诊软件获得了 NMPA 三类证¹⁸，**深睿医疗 (Deepwise Healthcare)** 则在颅内动脉瘤 AI 检测领域取得了国内首个 NMPA 三类证，并构建了包含 ASPECTS 评分、CTP、脑出血等在内的脑卒中综合解决方案⁹⁰。

表 1：全球主要脑卒中 AI 解决方案提供商对比分析

为了更直观地展现全球市场的竞争格局，下表对上述主要公司的关键信息进行了梳理和对比。

公司名称	总部所在地	核心产品/平台	技术与战略焦点	主要监管批准 (NMPA, FDA, CE)
Viz.ai	美国	Viz.ai One 平台 (LVO, ICH, SDH)	AI 驱动的跨院区 护理协调与工作 流加速，通过移 动端实时警报缩 短救治时间。	FDA (De Novo, 510k), CE ⁴⁷
RapidAI	美国	RapidAI 平台 (NCCT Stroke, ASPECTS, LVO, CTP, AngioFlow, Lumina 3D)	全面的缺血性卒 中影像分析套 件，深度参与临 床试验验证，强 调临床决策支 持。	FDA (510k), CE, 日本认证 ⁶⁹
Brainomix	英国	Brainomix 360 平台 (e- ASPECTS, e- CTA, e-CTP)	提供从 NCCT 到 CTP 的全流程 AI 分析，强调真实 世界证据和对治 疗率的提升。	FDA (510k), CE ⁷⁴
Aidoc	以色列	Aidoc AI 平台 (ICH, LVO, MeVO, AD)	“Always-on”全 天候 AI 分诊，覆 盖全身多部位急 症，强调提升放 射科整体工作效 率。	FDA (510k), CE ⁷⁸
Avicenna.AI	法国	CINA (ICH, LVO, ASPECTS)	计算机辅助诊断 (CADx)，不仅分	FDA (510k), CE ⁸¹

			诊，还提供疾病严重程度的量化评估。	
数坤科技 (Shukun)	中国	数字脑 (CerebralDoc)	覆盖脑血管病筛查、诊断、治疗规划的“一站式”解决方案，产品线全面。	NMPA (三类), CE ⁸³
推想医疗 (InferVision)	中国	脑卒中 CT 一站式 AI 解决方案	全球化战略，产品同时获得中美两国监管批准，构建多病种 AI 平台。	NMPA (三类), FDA (510k) ⁸⁶
强联智创 (UnionStrong)	中国	U-Pixel 脑卒中 AI 诊疗云平台	深度垂直聚焦脑血管病，依托大规模专病数据库构建诊疗一体化解决方案。	NMPA (二类、三类创新通道) ⁹⁰

分析这张表格可以发现，监管批准是所有公司商业化进程中的一个决定性因素。获得 NMPA 三类证、FDA 510(k)或 De Novo 许可以及 CE 标志，不仅是产品安全性和有效性的证明，更是企业建立市场准入壁垒、形成竞争优势的关键¹⁸。这些审批过程漫长且成本高昂，需要大量的临床试验证据支持，因此成功获批的企业无疑在市场上占据了先发优势。这道“护城河”使得新进入者难以在短期内构成威胁，也解释了为何头部公司都将获得更多、更高等级的监管批准作为其核心战略目标之一。

5. 未来展望：迈向精准、协同与可信的智能卒中诊疗

脑卒中智能影像诊断的未来发展，将不再局限于提升单一任务的算法精度，而是朝着一个更加整合、全面和可信赖的系统化方向演进。技术的前沿探索、应用的场景拓展以及产业生态的构建，共同描绘了一幅从院内急救辅助工具到覆盖全生命周期的个性化健康管理平台的宏伟蓝图。这一演进的核心驱动力，是将分散的技术趋势融合成一个统一的愿景——为每一位患者构建一个动态的“数字孪生”模型，实现真正意义上的精准卒中医学。

5.1. 技术前沿：多模态融合、联邦学习与可解释 AI

未来的 AI 技术将打破当前主要依赖单一影像模态的局限，通过融合更多维度的数据，并借助创新的学习范式来解决核心技术瓶颈。

- **多模态融合 (Multimodal Fusion)**：这是未来精准诊断与预测的必然趋势。AI 模型将不再仅仅分析 CT 或 MRI 影像，而是整合来自不同源头的海量数据，构建一个关于患者的、更加立体和全面的数字画像⁶⁸。这些数据源包括：
 - **影像数据**：融合 CT、MRI、CTA、CTP、超声等不同影像模态的信息⁹⁸。
 - **临床数据**：整合电子病历 (EHR) 中的人口学信息、既往病史、实验室检查结果、生命体征等结构化和非结构化数据¹⁰⁰。
 - **生物组学数据**：纳入基因组学、蛋白质组学、代谢组学等信息，从分子层面揭示卒中风险和病理机制⁶⁸。
 - **新型生物标志物**：探索如视网膜成像等低成本、无创的检查手段。由于视网膜与大脑在胚胎学和解剖学上的紧密联系，其影像可能成为反映脑血管健康的“窗口”。已有研究表明，融合视网膜 OCT 图像和临床数据的多模态模型在卒中风险预测方面优于单一模态模型¹⁰³。

通过融合这些异构数据，AI 能够发现单一数据源无法揭示的复杂关联，从而在卒

中风险分层、病因溯源、治疗反应预测和预后判断等方面实现更高的精准度 99。

- **联邦学习 (Federated Learning, FL)**：这是解决“数据孤岛”和“泛化性差”两大难题的关键技术。联邦学习是一种分布式的机器学习范式，它允许不同医疗机构在不共享原始敏感患者数据的前提下，协同训练一个全局共享的 AI 模型¹⁰⁶。其基本流程是：中央服务器将初始模型分发给各参与机构，各机构利用本地数据进行模型训练，然后仅将加密后的模型参数更新（而非原始数据）上传至服务器进行聚合，形成一个更优的全局模型，再分发给各方进行下一轮迭代¹⁰⁹。
 - **核心价值**：FL 的价值在于，它能够在严格遵守 GDPR、HIPAA 等数据隐私法规的同时，让模型接触到来自不同地域、不同设备、不同人群的大规模、多样化真实世界数据，从而极大地提升模型的鲁棒性和泛化能力¹⁰⁷。研究已证实，联邦学习训练出的模型性能显著优于任何单一机构训练的模型，并能接近于将所有数据集中训练的理想效果¹⁰⁶。这为构建真正可靠的多模态 AI 模型提供了可行的技术路径。然而，数据异质性、通信效率和模型更新过程中的隐私安全等问题，仍是联邦学习需要持续优化的挑战¹⁰⁸。
- **可解释 AI (XAI) 的深化与普及**：XAI 将从一个学术研究热点，转变为临床应用产品的“标配”。为了赢得临床的最终信任，AI 必须能够对其决策过程给出合乎逻辑的解释⁵⁵。未来的发展方向将超越目前简单的热力图，转向更深层次的解释。例如，开发“自解释 AI” (Self-Explainable AI, S-XAI) 模型，将可解释性作为模型内在的一部分进行设计和训练，使其生成的解释与模型的内部逻辑高度一致¹¹³。同时，研究将更关注解释的临床可用性，即确保 AI 的解释能够被医生理解，并能有效地辅助其进行临床决策，而不是成为新的信息负担¹¹⁴。

5.2. 应用拓展：从院内急救到全周期健康管理

AI 在卒中领域的应用场景将突破医院的围墙，向预防和康复两端延伸，构建一个覆盖患

者全生命周期的管理闭环。

- **院前预警与风险筛查：**AI 将成为卒中防治的第一道防线。
 - **可穿戴设备与智能终端：**集成 AI 算法的智能手表、手环或智能手机，可通过内置的传感器（如加速度计、陀螺仪）持续监测用户的步态、肢体活动和平衡能力，或通过语音识别分析言语的流畅性和清晰度。一旦检测到符合卒中特征的突发性变化（如一侧肢体无力、言语含糊），系统可自动向用户或紧急联系人发出警报，从而大大缩短从症状发生到呼叫急救的时间¹¹⁵。
 - **智能调度：**AI 算法可用于分析紧急呼叫中心的通话内容，通过语音识别和自然语言处理技术，更早、更准确地识别出潜在的卒中呼叫，从而优化急救资源的调度，并提前通知接诊医院¹¹⁵。
- **个性化康复与预后管理：**AI 将在卒中患者的长期恢复过程中扮演关键角色。
 - **智能康复设备：**AI 驱动的康复机器人、外骨骼和虚拟现实（VR）/增强现实（AR）系统，能够根据患者的实时表现和功能恢复情况，动态调整训练的难度和内容，提供精准、自适应的个性化康复治疗¹¹⁶。
 - **预后预测与目标设定：**基于多模态数据的机器学习模型，能够更准确地预测患者在特定时间点（如出院后 3 个月或 1 年）的功能恢复水平（如 mRS 评分）。这有助于医生、患者和家属共同设定切合实际的康复目标，并制定更具针对性的康复计划¹¹⁶。
- **二级预防与风险管理：**对于卒中幸存者，预防复发至关重要。基于长期监测数据（来自可穿戴设备、定期随访等）的多模态 AI 模型，能够持续评估患者的复发风险，并对生活方式干预、药物依从性等提供个性化建议和提醒，实现动态的二级预防管理¹⁰³。

5.3. 生态构建：构建可信赖 AI 的伦理与监管框架

技术的进步和应用的拓展，必须以一个健全、可信的生态系统为支撑。未来，行业的竞争

焦点将从单纯的技术性能，转向系统的可信赖程度。

- **“可信赖 AI”框架的落地：**以欧盟的 AI 法案和 FUTURE-AI 等国际共识为代表，一个全面的可信赖 AI 框架正在形成⁶⁴。该框架要求 AI 系统在整个生命周期中都必须满足一系列核心原则，包括技术鲁棒性与安全性、隐私与数据治理、透明度、多样性、非歧视性与公平性、以及问责制⁶⁴。这为开发者提供了设计指南，也为监管机构和使用者提供了评估标准。
- **从原则到实践的挑战：**未来的核心挑战是如何将这些高层次的伦理原则，转化为可执行、可验证、可衡量的具体技术规范 and 监管流程¹²²。这需要：
 - **持续的利益相关者参与：**AI 的开发和部署不能是技术专家的闭门造车，而必须持续地让临床医生、患者代表、伦理学家、法律专家和监管者参与进来，共同定义需求、识别风险、评估影响⁶⁴。
 - **强化数据治理与安全：**建立严格的数据隐私保护措施（如差分隐私、加密技术）和网络安全防御机制，防止数据泄露和恶意攻击⁶⁴。
 - **透明、公正的验证与监管：**建立独立的第三方评估机制和标准化的测试数据集，对 AI 产品的性能、公平性和鲁棒性进行上市前和上市后的持续评估与监督¹²²。

最终，这些发展趋势将使 AI 在卒中诊疗中的角色发生根本性转变。它将不再是一个孤立的、用于解读单次影像的诊断工具，而是演变为一个整合了患者历史数据、实时生理信号、基因背景和环境因素的、持续学习和演化的“数字孪生”健康模型。这个模型能够实现从大众的早期风险预警，到高危人群的精准筛查，再到急性发作时的快速诊断与决策支持，最后延伸至康复期的个性化指导和长期的复发风险监控。在这个未来的图景中，技术的先进性固然重要，但赢得市场和临床信任的关键，将越来越取决于谁能构建起最安全、最公平、最透明、最可靠的“可信赖 AI”生态系统。

结论

本报告对脑卒中与神经影像智能诊断领域进行了系统性的调研与分析，从临床背景、技术现状、产业格局到未来趋势，揭示了该领域正经历一场由人工智能驱动的深刻变革。

首先，脑卒中巨大的、且仍在不断增长的全球性疾病负担，构成了 AI 技术应用的根本驱动力。特别是中国等发展中国家面临的严峻挑战，以及全球人口老龄化带来的病例数绝对增长，共同催生了对更高效、更普及、更精准的卒中诊断工具的迫切需求。传统神经影像在速度与精度之间的固有矛盾，为 AI 提供了明确的价值切入点。

其次，以深度学习为核心的 AI 技术，已在卒中影像诊断的关键环节展现出强大的赋能潜力。从基于 CNN 的病灶自动分割和 ASPECTS 评分，到基于 Transformer 的复杂病因分类和预后预测，AI 正逐步将过去依赖主观经验的影像判读，转变为客观、定量、标准化的智能分析。这些应用不仅有望大幅提升诊断效率，更有可能通过赋能基层医疗、优化救治流程，从根本上改善患者的临床结局。

然而，从技术潜力到临床价值的转化之路并非坦途。数据泛化性不足、算法“黑箱”问题以及与临床工作流的整合难题，是当前制约 AI 广泛应用的三大核心瓶颈。这些瓶颈相互交织，共同构成了临床信任的壁垒。为此，行业正从单纯追求算法性能转向构建全面的“可信赖 AI”体系，这已成为未来技术研发和产业竞争的制高点。

在产业化层面，全球市场已初步形成差异化竞争格局。国际领先企业更侧重于通过 AI 优化跨机构的协同救治网络，而中国头部企业则倾向于为大型医院打造一站式的综合解决方案。无论何种模式，获得权威监管机构的批准（如 NMPA、FDA）都是企业建立核心竞争力的关键，构成了坚实的市场准入壁垒。

展望未来，脑卒中智能诊断将朝着更加整合化、个性化和全周期化的方向发展。技术的演进将聚焦于多模态数据融合和联邦学习，以构建更全面、更鲁棒的患者模型。应用场景将从院内急救延伸至院前预警和院后康复，实现对卒中风险的全程管理。而这一切都将建立在一个以可信赖 AI 为基石的伦理、法规和技术生态之上。

综上所述，人工智能正在深刻地重塑脑卒中诊疗的全貌。它不仅仅是一种提升影像判读效

率的工具，更有潜力成为连接预防、诊断、治疗与康复各个环节的智能中枢。未来的胜利将属于那些不仅拥有顶尖技术，更能构建起临床医生、患者和监管机构所信赖的、安全、公平、透明的智能医疗生态系统的创新者。这场变革的最终目标，是利用数据和智能的力量，为全球数以亿计的卒中患者带来更早的预警、更快的救治、更好的预后和更高的生命质量。

引用的著作

1. Impact of Stroke - World Stroke Organization, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.world-stroke.org/world-stroke-day-campaign/about-stroke/impact-of-stroke>
2. Global Burden of Stroke: A Comprehensive Analysis of Global Trends from 1990 to 2021 | AHA Blogs, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/blog.20250404.116605>
3. THE LANCET NEUROLOGY: Stroke could cause nearly 10 million deaths annually by 2050, mostly in LMICs, and cost up to US\$2 trillion per year, new report warns | EurekAlert!, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.eurekalert.org/news-releases/1003831>
4. Stroke, Cerebrovascular accident | Health topics - EMRO, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.emro.who.int/health-topics/stroke-cerebrovascular-accident/index.html>
5. expert reaction to a study in The Lancet Neurology looking at the global burden of stroke, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.sciencemediacentre.org/expert-reaction-to-a-study-in-the-lancet-neurology-looking-at-the-global-burden-of-stroke/>
6. China stroke surveillance report 2021 - PubMed, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37468952/>
7. China stroke surveillance report 2021 - PMC - PubMed Central, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10355019/>
8. China Stroke Surveillance Report 2021 - DigitalCommons@TMC, 访问时间为 六月 26, 2025, https://digitalcommons.library.tmc.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2275&context=uthmed_docs
9. 我国每年有 220 万人因这种病致残！这 3 类人是高危人群, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://hqtime.huangniu.com/article/4K2YlvLpf39>
10. 北大全健院开展实地访谈研究中国脑卒中患者康复依从性, 访问时间为 六月 26,



- 2025, <https://ccher.nsd.pku.edu.cn/zxdt/534671.htm>
11. 如何安度脑血管疾病“魔鬼季”？ - 中国妇女报, 访问时间为 六月 26, 2025, https://epaper.cnwomen.com.cn/html5/2024-12/04/content_7_1368.htm
 12. China - WHO Data, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://data.who.int/countries/156>
 13. 中国心血管健康与疾病报告 2023, 访问时间为 六月 26, 2025, [https://www.fuwai.com/Sites/Uploaded/File/2024/12/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E5%BF%83%E8%A1%80%E7%AE%A1%E5%81%A5%E5%BA%B7%E4%B8%8E%E7%96%BE%E7%97%85%E6%8A%A5%E5%91%8A\(2023\)-%20%E6%9C%80%E5%90%8E%E7%89%88.pdf](https://www.fuwai.com/Sites/Uploaded/File/2024/12/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E5%BF%83%E8%A1%80%E7%AE%A1%E5%81%A5%E5%BA%B7%E4%B8%8E%E7%96%BE%E7%97%85%E6%8A%A5%E5%91%8A(2023)-%20%E6%9C%80%E5%90%8E%E7%89%88.pdf)
 14. National and Subnational Trends of Mortality and Years of Life Lost Due to Stroke and Its Subtypes in Young Adults in China, 2005–2020 - Neurology.org, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.neurology.org/doi/10.1212/WNL.0000000000209982>
 15. Diagnosis of Acute Stroke - AAFP, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2015/0415/p528.html>
 16. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019 - 中华神经科杂志, 访问时间为 六月 26, 2025, https://cmab.yiigle.com/uploads/guide_html/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E5%90%84%E7%B1%BB%E4%B8%BB%E8%A6%81%E8%84%91%E8%A1%80%E7%AE%A1%E7%97%85%E8%AF%8A%E6%96%AD%E8%A6%81%E7%82%B92019%20-%20%E4%B8%AD%E5%8D%8E%E7%A5%9E%E7%BB%8F%E7%A7%91%E6%9D%82%E5%BF%97.html
 17. Imaging in Acute Stroke - PMC - PubMed Central, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3088377/>
 18. 医未 AI 卒中获批 NMPA 三类证 - 中国新闻网, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://m.chinanews.com/wap/detail/chs/zw/316337.shtml>
 19. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南 2018 - 中风 120, 访问时间为 六月 26, 2025, <http://stroke120.org/wp-content/uploads/2019/08/%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E6%80%A5%E6%80%A7%E7%BC%BA%E8%A1%80%E6%80%A7%E8%84%91%E5%8D%92%E4%B8%AD%E8%AF%8A%E6%B2%BB%E6%8C%87%E5%8D%972018.pdf>
 20. Magnetic Resonance Imaging in Acute Ischemic Stroke Treatment, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.j-stroke.org/journal/view.php?doi=10.5853/jos.2014.16.3.131>
 21. CT vs MRI in stroke - radlines.org, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://radlines.org/CT vs MRI in stroke>
 22. Priorities for Advancements in Neuroimaging in the Diagnostic Workup of Acute Stroke, 访问时间为 六月 26, 2025,

23. Neuroimaging of Acute Ischemic Stroke: Multimodal Imaging Approach for Acute Endovascular Therapy - :: Journal of Stroke, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STROKEAHA.123.044985>
24. Moving From CT to MRI Paradigm in Acute Ischemic Stroke: Feasibility, Effects on Stroke Diagnosis and Long-Term Outcomes - American Heart Association Journals, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.j-stroke.org/journal/view.php?doi=10.5853/jos.2022.03286>
25. Magnetic Resonance Imaging or Computed Tomography Before Treatment in Acute Ischemic Stroke - American Heart Association Journals, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STROKEAHA.123.045154>
26. Functional Neuroimaging Studies of Motor Recovery After Stroke in Adults, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.str.0000071761.36075.a6>
27. Deep Learning-Based Automatic Detection of ASPECTS in Acute Ischemic Stroke: Improving Stroke Assessment on CT Scans, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9457228/>
28. Deep Learning in Ischemic Stroke Imaging Analysis: A Comprehensive Review - PMC, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9678444/>
29. Vision Transformer Model for Efficient Stroke Detection in Neuroimaging | Request PDF, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/377538065_Vision_Transformer_Model_for_Efficient_Stroke_Detection_in_Neuroimaging
30. U-Net-Based Models for Precise Brain Stroke Segmentation - DergiPark, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4459057>
31. (PDF) Modified UNet Model for Brain Stroke Lesion Segmentation on Computed Tomography Images - ResearchGate, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/357906081_Modified_UNet_Model_for_Brain_Stroke_Lesion_Segmentation_on_Computed_Tomography_Images
32. Deep Learning Applications in Imaging of Acute Ischemic Stroke: A Systematic Review and Narrative Summary - RSNA Journals, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.240775>
33. Enhanced Ischemic Stroke Lesion Segmentation in MRI Using Attention U-Net with Generalized Dice Focal Loss - MDPI, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.mdpi.com/2076-3417/14/18/8183>
34. Transformer Architectures for Automated Brain Stroke Screening from MRI



- Images - Bright Publisher, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://bright-journal.org/Journal/index.php/JADS/article/download/736/423>
35. Hybrid UNet transformer architecture for ischemic stroke segmentation with MRI and CT datasets - PMC, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10723803/>
36. Hybrid Spatio-Temporal Transformer Network for Predicting Ischemic Stroke Lesion Outcomes from 4D CT Perfusion Imaging | MICCAI 2022 - Accepted Papers and Reviews, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://conferences.miccai.org/2022/papers/246-Paper1120.html>
37. Stroke Lesion Segmentation and Deep Learning: A Comprehensive Review - MDPI, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.mdpi.com/2306-5354/11/1/86>
38. Major expansion of open-source neuroimaging data set to boost stroke recovery research, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://keck.usc.edu/news/major-expansion-of-open-source-neuroimaging-data-set-to-boost-stroke-recovery-research/>
39. Diagnostics | Special Issue : Artificial Intelligence in Stroke Imaging - MDPI, 访问时间为 六月 26, 2025, https://www.mdpi.com/journal/diagnostics/special_issues/Artificial_Intelligence_Stroke_Imaging
40. A comprehensive review for artificial intelligence on neuroimaging in rehabilitation of ischemic stroke - PMC - PubMed Central, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11007047/>
41. Accuracy of Automated Computer-Aided Diagnosis for Stroke Imaging: A Critical Evaluation of Current Evidence, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STROKEAHA.121.036204>
42. Real World Experience With Viz.AI Automated Large Vessel Occlusion Detection, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.viz.ai/publications/experience-with-automated-lvo-detection>
43. Automated Detection and Location Specification of Large Vessel Occlusion on Computed Tomography Angiography in Acute Ischemic Stroke - American Heart Association Journals, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/SVIN.121.000158>
44. Deep learning derived automated ASPECTS on non-contrast CT scans of acute ischemic stroke patients - PubMed, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35357053/>
45. Deep-ASPECTS: A Segmentation-Assisted Model for Stroke Severity Measurement - Qure.ai, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.quire.ai/evidence/deep-aspects-a-segmentation-assisted-model->



[for-stroke-severity-measurement](#)

46. Clinical evaluation of a deep-learning model for automatic scoring of the Alberta stroke program early CT score on non-contrast CT | Journal of NeuroInterventional Surgery, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://jn.is.bmj.com/content/16/1/61>
47. Viz.ai Receives First and Only FDA 510(k) Clearance for Subdural Measurements, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.viz.ai/news/viz-ai-receives-first-and-only-fda-510k-clearance-for-subdural-measurements>
48. Viz.ai Receives FDA 510(k) Clearance for Artificial Intelligence Algorithm for the Quantification of Intracerebral Hemorrhage, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.viz.ai/news/viz-ai-receives-fda-510k-clearance-for-artificial-intelligence-algorithm-for-the-quantification-of-intracerebral-hemorrhage>
49. Toward Generalizability in the Deployment of Artificial Intelligence in Radiology: Role of Computation Stress Testing to Overcome Underspecification, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8637230/>
50. Understanding and Mitigating Bias in Imaging Artificial Intelligence | RadioGraphics, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/rq.230067>
51. USC releases open-source MRI stroke dataset, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://agingcenters.org/news/usc-releases-open-source-mri-stroke-dataset/>
52. GriffinLiang/AISD: Acute ischemic stroke dataset - GitHub, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://github.com/GriffinLiang/AISD>
53. OpenNeuro, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://openneuro.org/>
54. Explainable Artificial Intelligence Model for Stroke Prediction Using EEG Signal - MDPI, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/24/9859>
55. Evaluating Explainable Artificial Intelligence (XAI) techniques in chest radiology imaging through a human-centered Lens | PLOS One, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0308758>
56. Explainable AI in Diagnostic Radiology for Neurological Disorders: A Systematic Review, and What Doctors Think About It - PubMed, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39857052/>
57. Explainable AI in Medical Imaging: An overview for clinical practitioners – Saliency-based XAI approaches | Request PDF - ResearchGate, 访问时间为 六月 26, 2025, https://www.researchgate.net/publication/369425926_Explainable_AI_in_Medical_Imaging_An_overview_for_clinical_practitioners_-_Saliency-based_XAI_approaches
58. Full article: A comprehensive evaluation of explainable Artificial Intelligence



- techniques in stroke diagnosis: A systematic review, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23311916.2023.2273088>
59. (PDF) Explainable AI for Stroke Prediction: A Comprehensive Approach to Enhancing Transparency and Interpretability - ResearchGate, 访问时间为 六月 26, 2025, https://www.researchgate.net/publication/391277890_Explainable_AI_for_Stroke_Prediction_A_Comprehensive_Approach_to_Enhancing_Transparency_and_Interpretability
60. Artificial Intelligence Algorithms Need to Be Explainable—or Do They?, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://jnm.snmjournals.org/content/64/6/976>
61. RSNA-MICCAI PANEL, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.miccai2021.org/en/RSNA-MICCAI-PANEL.html>
62. Imaging AI in Practice: A Demonstration of Future Workflow Using Integration Standards | Radiology: Artificial Intelligence - RSNA Journals, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/ryai.2021210152>
63. Machine Learning-Enabled Automated Large Vessel Occlusion Detection Improves Transfer Times at Primary Stroke Centers - American Heart Association Journals, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/SVIN.123.001119>
64. FUTURE-AI: international consensus guideline for trustworthy and deployable artificial intelligence in healthcare | The BMJ, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.bmj.com/content/388/bmj-2024-081554>
65. Fostering Trustworthy Artificial Intelligence in Medical Imaging - Frontiers, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.frontiersin.org/research-topics/71850/fostering-trustworthy-artificial-intelligence-in-medical-imaging>
66. FDA permits marketing of clinical decision support software for alerting providers of a potential stroke in patients, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/fda-permits-marketing-clinical-decision-support-software-alerting-providers-potential-stroke>
67. FDA clears advanced AI model for detecting, quantifying bleeding strokes, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://cardiovascularbusiness.com/topics/artificial-intelligence/fda-clears-advanced-ai-model-detecting-quantifying-bleeding-strokes>
68. Incorporating Artificial Intelligence Into Stroke Care and Research, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STROKEAHA.120.031295>
69. RapidAI Receives First and Only FDA 510(k) Clearance of Non-Contrast CT



- Imaging Product to Accelerate Acute Stroke Triage, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.rapidai.com/press-release/ncct-stroke>
70. RapidAI Stroke Imaging Solutions | Advanced AI for Ischemic Stroke, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.rapidai.com/neurovascular/ischemic-stroke>
71. RapidAI Outperforms VizAI in Detecting Large Vessel Occlusion - NeurologyLive, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.neurologylive.com/view/rapidai-outperforms-vizai-detecting-large-vessel-occlusion>
72. RapidAI Secures FDA Clearance for Perfusion Imaging in the Angiography Suite, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.businesswire.com/news/home/20240506146461/en/RapidAI-Secures-FDA-Clearance-for-Perfusion-Imaging-in-the-Angiography-Suite>
73. RapidAI Secures FDA 510(k) Clearance for Groundbreaking AI 3D Head and Neck CTA Imaging: Lumina 3D™ - Business Wire, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.businesswire.com/news/home/20250203212584/en/RapidAI-Secures-FDA-510k-Clearance-for-Groundbreaking-AI-3D-Head-and-Neck-CTA-Imaging-Lumina-3D>
74. e-CTP | AI Decision Support Software for CT Perfusion Interpretation - Brainomix, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.brainomix.com/stroke/e-ctp/>
75. e-ASPECTS | AI Decision Support for Stroke Signs on NCCT Brain Scan - Brainomix, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.brainomix.com/stroke/e-aspects/>
76. AI-Enabled Decision Support for Stroke Assessment - Brainomix 360, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.brainomix.com/stroke/>
77. Brainomix announces CE Mark Certification for new e-CTA software e-CTA provides fast, automated collateral assessment, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.brainomix.com/media/5rwlw4jc/announcing-e-cta.pdf>
78. Aidoc - Wikipedia, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/Aidoc>
79. New FDA Clearances | Faster and More Accurate Triage - Aidoc, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.aidoc.com/about/news/aidoc-secures-new-fda-clearances-for-cardio-and-neuro-conditions/>
80. AI Saving Brain: FDA Clears Aidoc's Complete AI Stroke Package, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.aidoc.com/about/news/ai-saving-brain-fda-clears-aidocs-complete-ai-stroke-package/>
81. AI Radiology - Avicenna.AI Secures Two FDA Clearances For Stroke Assessment And Opportunistic PE - Avicenna.AI, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://avicenna.ai/fda-clearances-aspects-and-ipe/>
82. 全球首张头颈 CTA AI 三类证获批！3min 智能完成全流程，一站式解决卒中诊疗痛



- 点 - 新华日报, 访问时间为 六月 26, 2025,
http://jres2023.xhby.net/jr/gsxw/202204/t20220420_7511293.shtml
83. 数坤科技获全球首张头颈 CTA 医疗 AI 三类证 - 新华网, 访问时间为 六月 26, 2025,
<http://www.xinhuanet.com/healthpro/20220415/7bc01de8de9f40e2a8531be0b4976986/c.html>
84. 数坤科技携“数字人体 3.0”亮相 CMEF2024 - 新华网, 访问时间为 六月 26, 2025,
<http://www.news.cn/health/20240415/b39f71b062654c4a8ea3d879ef336e0f/c.html>
85. 数坤科技官方网站, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.shukun.com/>
86. 启明星| 推想医疗脑卒中 AI 产品获 NMPA 三类证 - 启明创投, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.qimingvc.com/cn/news/20220706-QMPortfolio-01>
87. 一月三证, 推想医疗再度拓宽影像 AI 的能力边界, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://www.phirda.com/artilce_34646.html
88. 海淀创业园推想医疗脑卒中 AI 产品获 NMPA 三类证成国内首个斩获 NMPA 与 FDA“中美双认证”产品 - 国际科技创新中心, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://www.ncsti.gov.cn/kjdt/scyq/zgckxc/zgcdt/202207/t20220714_88741.html
89. 启明星| 推想医疗脑卒中 AI 产品斩获 FDA 第二证, 正式获批美国市场准入, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.qimingvc.com/cn/news/%E5%90%AF%E6%98%8E%E6%98%9F-%E6%8E%A8%E6%83%B3%E5%8C%BB%E7%96%97%E8%84%91%E5%8D%92%E4%B8%AD%E4%BA%A7%E5%93%81%E6%96%A9%E8%8E%B7%E7%AC%AC%E4%BA%8C%E8%AF%81%E7%BC%8C%E6%AD%A3%E5%BC%8F%E8%8E%B7%E6%89%B9%E7%BE%8E%E5%9B%BD%E5%B8%82%E5%9C%BA%E5%87%86%E5%85%A5>
90. 强联智创®完成数亿元 C 轮融资, 深耕脑卒中诊疗一体化的 AI 解决方案 - 联想之星, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.legendstar.com.cn/news/437976577201766052>
91. 「强联智创®」完成数亿元 C 轮系列融资, 保利资本助力 AI 医疗影像技术发展, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.polycapital.com.cn/list/post/25/>
92. 榜上有名| 祝贺深睿医疗成为“人工智能医疗器械创新任务揭榜挂帅优胜单位” - 科技频道, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://tech.chinadaily.com.cn/a/202408/16/WS66bf197fa310054d254ed396.html>
93. 2021 年中国人工智能医学影像企业发展报告, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://pdf.dfcfw.com/pdf/H3_AP202108051508251311_1.pdf
94. 海淀创业园推想医疗脑卒中 AI 产品获 NMPA 三类证成国内首个斩获 NMPA 与



- FDA“中美双认证”产品_中关村科技园区海淀园|海淀区招商|海淀区厂房 - 投促中国, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://hdstp.investchn.com/news/detail/id/281506.html>
95. Brainomix earns new FDA nod for stroke imaging tech - MassDevice, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.massdevice.com/brainomix-new-fda-nod-stroke-imaging-tech/>
96. Artificial intelligence in ischemic stroke images: current applications and future directions - Frontiers, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2024.1418060/full>
97. The future of multimodal artificial intelligence models for integrating imaging and clinical metadata: a narrative review - Diagnostic and Interventional Radiology, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.dirjournal.org/articles/the-future-of-multimodal-artificial-intelligence-models-for-integrating-imaging-and-clinical-metadata-a-narrative-review/doi/dir.2024.242631>
98. Combining artificial intelligence assisted image segmentation and ultrasound based radiomics for the prediction of carotid plaque stability - PMC, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11917087/>
99. Multimodal Machine Learning for Stroke Prognosis and Diagnosis: A Systematic Review, 访问时间为 六月 26, 2025,
[https://www.researchgate.net/publication/383309531 Multimodal Machine Learning for Stroke Prognosis and Diagnosis A Systematic Review](https://www.researchgate.net/publication/383309531_Multimodal_Machine_Learning_for_Stroke_Prognosis_and_Diagnosis_A_Systematic_Review)
100. AI-based stroke disease prediction module using multimodal bio-signals. - ResearchGate, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://www.researchgate.net/figure/AI-based-stroke-disease-prediction-module-using-multimodal-bio-signals_fig4_360115364
101. Abstract WMP105: Multimodal Deep Learning for Ischemic Stroke Prediction by Integrating Demographic, Clinical, and Atrial Phenotypic and Genotypic Data, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/str.56.suppl_1.WMP105
102. Predicting stroke outcome: A case for multimodal deep learning methods with tabular and CT Perfusion data - PubMed, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38184355/>
103. [2505.02677] Multimodal Deep Learning for Stroke Prediction and Detection using Retinal Imaging and Clinical Data - arXiv, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://arxiv.org/abs/2505.02677>
104. Multimodal Deep Learning for Stroke Prediction and Detection using Retinal



- Imaging and Clinical Data - arXiv, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://arxiv.org/html/2505.02677v1>
105. Multimodal Deep Learning for Stroke Prediction and Detection using Retinal Imaging and Clinical Data - ResearchGate, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/391461617_Multimodal_Deep_Learning_for_Stroke_Prediction_and_Detection_using_Retinal_Imaging_and_Clinical_Data
106. Federated Learning for MRI-based BrainAGE: a multicenter study on post-stroke functional outcome prediction - arXiv, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://arxiv.org/pdf/2506.15626>
107. Medical Imaging Applications of Federated Learning - PMC - PubMed Central, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10572559/>
108. Federated learning for medical imaging radiology - Oxford Academic, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://academic.oup.com/bjr/article/96/1150/20220890/7498927>
109. [2506.15626] Federated Learning for MRI-based BrainAGE: a multicenter study on post-stroke functional outcome prediction - arXiv, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://arxiv.org/abs/2506.15626>
110. Real-time stroke detection using deep learning and federated learning - SPIE Digital Library, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/13000/130000L/Real-time-stroke-detection-using-deep-learning-and-federated-learning/10.1117/12.3012948.full>
111. (PDF) Prediction of Brain Stroke Using Federated Learning - ResearchGate, 访问时间为 六月 26, 2025,
https://www.researchgate.net/publication/389070386_Prediction_of_Brain_Stroke_Using_Federated_Learning
112. Federated Learning for Healthcare: A Comprehensive Review - MDPI, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://www.mdpi.com/2673-4591/59/1/230>
113. Self-eXplainable AI for Medical Image Analysis: A Survey and New Outlooks - arXiv, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://arxiv.org/html/2410.02331v1>
114. Explainable artificial intelligence (XAI) in radiology and nuclear medicine: a literature review, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.frontiersin.org/journals/medicine/articles/10.3389/fmed.2023.1180773/full>
115. Artificial intelligence to enhance prehospital stroke diagnosis and triage: a perspective, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11096539/>



116. Artificial intelligence in stroke rehabilitation: From acute care to long-term recovery - PubMed, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/40068721/>
117. Machine Learning in Action: Stroke Diagnosis and Outcome Prediction - Frontiers, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2021.734345/full>
118. AI Revolutionizing Stroke Diagnosis and Care: Breakthrough Advances - Vanchilingam Hospital Thanjavur, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.dr.vanchilingamhospital.com/ai-revolutionizing-stroke-diagnosis-and-care-breakthrough-advances/>
119. Application of Artificial Intelligence in Acute Ischemic Stroke: A Scoping Review, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://neurointervention.org/journal/view.php?number=455>
120. Trustworthy AI in Medical Imaging - 1st Edition - Elsevier Shop, 访问时间为 六月 26, 2025, <https://shop.elsevier.com/books/trustworthy-ai-in-medical-imaging/lorenzi/978-0-443-23761-4>
121. Trustworthy AI in Medical Imaging, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://trustworthy-ai-healthcare.github.io/>
122. A trustworthy AI reality-check: the lack of transparency of artificial intelligence products in healthcare - Frontiers, 访问时间为 六月 26, 2025,
<https://www.frontiersin.org/journals/digital-health/articles/10.3389/fdgth.2024.1267290/full>