人工智能在脑卒中管理中的研究进展

于长申　巫嘉陵

【摘要】 人工智能作为一种新兴技术，已应用于脑卒中预防、诊治和康复等多领域，并突显出巨大的潜力。人工智能与大数据相结合，可用于脑卒中高危人群的精准识别、自动化病因分型、辅助脑卒中急性期和二级预防策略的制定，从而提高脑卒中患者康复治疗效果。本文综述人工智能在脑卒中预防、诊治和康复中的研究进展。

【关键词】 卒中；　人工智能；　一级预防；　二级预防；　神经康复；　综述

Research progress of artificial intelligence in stroke management

YU Chang-shen, WU Jia-ling
Department of Neurorehabilitation, Tianjin Huanhu Hospital; Tianjin Key Laboratory of Cerebral Vascular and Neurodegenerative Diseases, Tianjin 300350, China
Corresponding author: WU Jia-ling (Email: wywjl2009@hotmail.com)

【Abstract】 As a new science and technology, artificial intelligence (AI) has been applied to the prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation of stroke, and shows great potential. The combination of artificial intelligence and big data can accurately identify high-risk subjects, classify stroke subtype, and assist in the formulate of therapeutic strategies in acute period and prevention strategy of stroke. Sequentially, it can improve the effect of rehabilitation. This paper reviews the research progress of artificial intelligence in the prevention, diagnosis, treatment and rehabilitation of stroke.

【Key words】 Stroke;　Artificial intelligence;　Primary prevention;　Secondary prevention;　Neurological rehabilitation;　Review

Conflicts of interest: none declared

脑卒中已成为全球第二位致残性和致死性疾病，全球疾病负担2016（GBD2016）数据表明，全球脑卒中死亡病例约550万例，患病例数8010万例，伤残调整寿命年（DALY）高达11 640万例[1]。约80%的脑卒中负担集中在低中收入国家[2-3]，我国是脑卒中负担最重的国家之一，每年新发脑卒中病例约240万例，死亡病例约为110万例，幸存病例达1110万例[4]。脑卒中负担日趋严峻和医疗资源相对不足，给脑卒中管理带来巨大挑战。随着人工智能（AI）技术的迅猛发展，其核心技术如语音识别技术、计算机视觉技术、自然语言处理技术、机器学习（ML）、智能机器人、虚拟现实（VR）和增强现实（AR）等逐渐应用于诸多传统领域。目前，人工智能已应用于医学领域的基因测序[5]、辅助诊断[6]、医疗机器人[7]、医学影像[8]、药物研发[9]等诸多方面，通过大数据分析，推动医疗体系向高效率、高层次发展。本文拟围绕人工智能在脑卒中预防、诊治和康复方面的研究进展进行系统综述。

一、人工智能在脑卒中一级预防中的应用

超过90%的脑卒中负担归因于可干预的危险因素，包括行为因素、代谢因素和环境因等[10]，故识别并评估脑卒中危险因素对一级预防至关重要。流行病学调查显示，北京居民对高血压的知晓率约为50.8%，对血脂异常的知晓率为13.0%[11]；湖南省衡阳市衡阳县水乡农民对脑卒中危险因素，包括高血压、糖尿病、心脏病、吸烟、酗酒、肥胖、家族史等的总体知晓率仅约16.7%[12]。医疗资源不均衡是导致上述慢性疾病知晓率偏低的重要原因之一。

人工智能参与脑卒中危险因素的管理，可以突破医疗资源不均衡的现状，降低漏诊率和误诊率。（1）高血压：人工智能可通过大数据准确预测高血

---

doi：10.3969/j.issn.1672-6731.2021.01.004

作者单位：300350 天津市环湖医院神经康复科 天津市脑血管与神经变性重点实验室

通讯作者：巫嘉陵，Email：wywjl2009@hotmail.com

压并评估血压值[13]，筛查出血压变异性（BPV）较高的患者[14]，制定有效的降压方案[15]；同时，还可以通过智能手表的数据分析预测高血压及其影响因素，有助于高血压的预防与治疗[16]。（2）糖尿病：人工智能已广泛应用于糖尿病的预测、饮食和运动指导、胰岛素注射指导、并发症监测和自我管理等[17]，减少人力成本。（3）房颤：人工智能识别房颤具有快速、及时、费用低廉等优势[18]。Asgari等[19]研究采用平稳小波变换（SWT）和支持向量机（SVM）方法自动化检测房颤，受试者工作特征（ROC）曲线下面积（AUC）为0.995，灵敏度为97.0%、特异度97.1%，使房颤检出率显著提高。此外，人工智能平台的应用还实现了远程监控，并提供了临床决策支持和个体化指导，增强脑卒中危险因素的管理，进而提高一级预防效果[20]。

二、人工智能在脑卒中早期治疗和二级预防中的应用

1. 缺血性卒中　急性缺血性卒中的快速识别与诊治对预后的影响至关重要[21-23]，神经影像学为其早期诊治提供了重要依据。人工智能通过自然语言处理技术、计算机视觉技术等对神经影像学和电子病历资料进行快速分析，实现缺血性卒中的鉴别诊断、确定发病时间、判断梗死灶体积，利于血管再通治疗和二级预防。（1）诊断与鉴别诊断：人工智能可早期辅助鉴别诊断真性脑卒中与假性脑卒中、快速区分缺血性卒中与出血性卒中，以为治疗方案的制定提供重要依据。Abedi等[24]采用FABS评分系统以基于反向传播技术的学习算法进行人工神经网络训练，再进行10倍交叉验证，以鉴别诊断发病4.5小时内的急性缺血性卒中与假性脑卒中，该方法诊断急性缺血性卒中的灵敏度为80.0%、特异度86.2%，准确度为85.2%，诊断假性脑卒中的准确度为81.1%。Guo等[25]基于微波成像技术的脑卒中分类研究显示，机器学习区分发病4小时内的缺血性卒中与出血性卒中的敏感性和特异性均较高，采用k均值聚类和支持向量机算法的准确度达88.0%，灵敏度为91.0%、特异度87.0%。（2）血管再通治疗：静脉溶栓是目前最主要的血管再通治疗方法，可有效挽救发病3.0～4.5小时内急性缺血性卒中患者的缺血半暗带，使其发病后3个月美国国立卫生研究院卒中量表（NIHSS）评分和改良Rankin量表（mRS）评分降低[26-28]。机器学习可辅助确定发病时间，以尽早筛选出能从静脉溶栓治疗中获益病例。既往临床主要采用DWI-FLAIR不匹配判断发病时间不确定的急性缺血性卒中患者是否具有静脉溶栓的适应证，这种人工方法确定发病4.5小时内的急性缺血性卒中的灵敏度仅为48.5%；而机器学习则具有更高的敏感性，随机森林（RF）算法的灵敏度为72.7%，逻辑回归（LR）和支持向量机算法可达75.8%，且这3种机器学习算法并未使其特异性下降[29]。目前，越来越多的证据显示，血管内介入治疗是急性大血管闭塞再通和改善临床预后的重要方法[22,30-33]。人工智能可自动化识别闭塞血管和梗死核心体积，为血管内介入治疗提供必要的影像学信息。Sheth等[34]的研究显示，DeepSymNet新型卷积神经网络（CNN）可通过CTA自动化识别大动脉闭塞，ROC曲线下面积达0.88（95%CI：0.83～0.92）；通过CT灌注成像（CTP）识别梗死核心体积≤30 ml和≤50 ml的ROC曲线下面积分别为0.88（95%CI：0.82～0.99）和0.90（95%CI：0.82～0.96），与经典的CTP-RAPID软件测量结果呈高度一致性（$r = 0.63 \sim 0.75$，$P < 0.0001$）。Kim等[35]的研究发现，外部校正中编解码器卷积神经网络分割DWI和表观扩散系数（ADC）与手动分割结果表现出较高的组内相关系数（$ICC = 1.0$，95%CI：0.99～1.00），且其平均差值仅为-0.19 ml，与RAPID软件结果高度一致（$ICC = 0.99$，95%CI：0.98～0.99）。（3）病因分型与二级预防：对缺血性卒中进行病因分型有助于判断预后、指导药物治疗和选择二级预防措施[23]。人工智能辅助病因分型具有较高的准确性。Garg等[36]将自然语言处理和机器学习算法应用于电子健康记录（EHR），实现了缺血性卒中的自动化TOAST分型，与评分者之间存在良好的一致性（$\kappa = 0.72$）。通过机器学习进行不同病因分型的效果不同，其中心源性栓塞（CE）型和大动脉粥样硬化（LAA）型与人工TOAST分型的一致性较高，而不明原因（SUE）型较低。Chung等[37]采用监督机器学习模型分析梯度回波序列（GRE），可快速识别血栓成分，准确预测心源性卒中，为抗栓药物的选择提供依据。缺血性卒中的病因分型有助于抗血小板药物或抗凝药物的选择，进而提高二级预防药物应用的依从性，降低缺血性卒中的复发率和病死率[38]。人工智能结合语音随访可以提高患者定期随访率和服药依从性，节省就诊时间。Schweitzer和Hoerbst[39]通过智能机器人辅助系统提醒患者服药、监测药物之间相互作用、记录服药依从性并协助患者完成服药的整个过

程。然而该系统应用于临床实践尚待进一步研究。

2.出血性卒中　(1)分型：出血性卒中包括脑实质出血、脑室出血、硬膜下出血、硬膜外出血和蛛网膜下腔出血共5种类型。影像学是诊断脑出血的重要手段，尤其头部CT检查是诊断早期脑出血的“金标准”。深度学习算法可以准确识别CT影像异常，减少诊断时间并加快治疗速度，降低病死风险。Chilamkurthy等[40]采用自然语言处理算法识别不同类型脑出血患者的CT图像，发现其检出脑出血的ROC曲线下面积为0.94(95%CI：0.92～0.97)，其中，脑实质出血曲线下面积为0.95(95%CI：0.93～0.98)、脑室出血为0.93(95%CI：0.87～1.00)、硬膜下出血为0.95(95%CI：0.91～0.99)、硬膜外出血为0.97(95%CI：0.91～1.00)、蛛网膜下腔出血为0.96(95%CI：0.92～0.99)；且在高灵敏度阈值上，该算法与放射科医师诊断的灵敏度差异无统计学意义($P > 0.05$)。Ye等[41]对新型三维联合卷积神经网络和递归神经网络(CNN-RNN)在脑出血及其5种亚型检测中的效能进行评估，结果显示，该算法确定脑出血的ROC曲线下面积≥0.98，预测5种亚型的曲线下面积均>0.80，优于初级放射科医师的诊断效能。深度学习算法不仅可对出血性卒中进行准确分型，同时还可快速测量脑出血体积和周围水肿体积[42]，为精准药物治疗和手术治疗提供数据支持。Ironside等[43-44]采用卷积神经网络推导出一种全自动分割算法，与手动分割和半自动分割相比，该算法全自动分割脑出血体积的Dice相似性系数(DCS)分别为0.894 ± 0.264和0.905 ± 0.254，且扫描速度[(12.0 ± 2.7)秒]快于手动分割[(201.5 ± 92.2)秒，$P < 0.001$]和半自动分割[(288.6 ± 160.3)秒，$P < 0.001$]；该算法自动分割周围水肿体积的Dice相似性系数分别为0.838 ± 0.294和0.843 ± 0.293，并且扫描速度[(18.0 ± 1.8)秒]亦明显快于手动分割[(316.4 ± 168.8)秒，$P < 0.001$]和半自动分割[(480.5 ± 295.3)秒，$P < 0.001$]。(2)治疗：出血性卒中的治疗包括药物治疗和外科手术治疗。对于病情危重或存在继发性原因且有手术适应证的患者，应积极施行手术，以达到快速清除血肿、缓解颅内高压、解除机械压迫之目的。医疗手术机器人是一种计算机辅助新型人机外科手术平台，通过空间导航技术、医学影像技术和机器人技术精准定位病灶，辅助外科医师进行相应的手术操作。2007年，法国Medtech公司设计研发了手术机器人辅助系统ROSA，该系统可快速、准确地进行颅内血肿微创引流，使手术时间和术后拔管时间显著缩短，且降低术后再出血率和感染率，有利于术后功能康复[45-47]。解放军总医院第六医学中心与北京航空航天大学合作研发的神经外科手术机器人Remebot可以精准定位血肿，并根据血肿形状设计穿刺路径，为脑出血提供了一种微创、安全、便利的治疗方法[48]。

三、人工智能在脑卒中康复治疗中的应用

脑卒中的病残率较高，有70%～80%的新发脑卒中患者因残疾无法独立生活[49]。人工智能技术用于脑卒中患者神经功能评估，不仅可以辅助康复医师制定康复方案、提高诊疗效率，还可降低康复医师和治疗师的工作负担。基于机器人辅助的运动学和动力学测量可以准确预测临床量表评分[mRS评分的交叉验证$R^2 = 0.60$，NIHSS评分的交叉验证$R^2 = 0.63$，Fugl-Meyer运动量表(FMMS)评分的交叉验证$R^2 = 0.73$，运动功量(MP)的交叉验证$R^2 = 0.75$]，选取恰当的评估参数，当与人工神经网络相结合时，基于机器人辅助的测量可显示出更高的灵敏度(标准化效应增加1.47)[50]。上肢机器人通过位置觉匹配任务、运动觉匹配任务和本体感觉阈值测试，可以对上肢本体感觉进行更为客观、量化和精细评估[51-53]。此外有研究显示，采用基于改良Ashworth量表评分、关节运动和阻力量化参数的人工神经网络评估痉挛程度时，与康复医师和治疗师评价具有较强的相关性(相关系数为0.825)[54]。

人工智能具有强大的记忆力、准确的执行力，以及快速的信息处理和推理能力[55]，与人类智能相互融合，可实现人机智能协同，发挥互补优势，促进脑卒中患者的康复。脑机接口是人-机混合智能发展的核心，通过解码神经元活动信号获取思维信息，再控制外部设备，以实现患者与外部环境之间的互动[56]。多项研究显示，重复应用脑机接口可以触发神经网络重塑，进而改善脑卒中患者的运动功能[56-58]。Ramos-Murguialday等[59]将其纳入的32例慢性脑卒中患者随机分为脑机接口组和对照组，脑机接口组可控制病灶同侧感觉运动节律的脑活动，并转化为附着在瘫痪肢体上的矫形器运动，而对照组仅随机发生矫形器运动且与感觉运动节律控制无关；经(17.8 ± 1.4)天的康复训练后，脑机接口组Fugl-Meyer上肢评价量表(FMA-UE)评分高于对照组(评分差值为3.41 ± 0.56，$P = 0.018$)，且脑机接口组患者在执行手部运动时运动皮质和运动前皮质

的脑活动偏侧化差异与FMA-UE评分呈正相关（$r = 0.550$，$P = 0.05$）；治疗后6个月，基于脑机接口的治疗效果仍十分显著。

机器人辅助技术不仅提供了有效的评估和治疗手段，而且也为深入研究人体运动康复规律，以及脑和肢体的控制和影响关系提供了另一种途径，从而提高了治疗效率和训练强度，是较常规康复方法更具发展潜力的技术。Lo等[60]对127例发病时间>6个月的脑卒中患者分别施以常规康复治疗和机器人辅助康复治疗，结果显示，治疗第12周时，机器人辅助治疗组脑卒中影响量表（SIS）评分（评分差值为7.64，95%CI：2.03～13.24）和FMMS评分（评分差值为2.17，95%CI：-0.23～4.58）均高于常规治疗组；治疗第36周时，机器人辅助治疗组FMMS评分仍高于常规治疗组（评分差值为2.88，95%CI：0.57～5.18）。Veerbeek等[61]的Meta分析纳入38项临床研究计1206例脑卒中患者，结果显示，机器人辅助康复治疗可以有效改善上肢运动控制，提高FMA-UE评分（$MD = 2.23$，95%CI：0.87～3.59；$P = 0.001$）。然而，最近一项多中心随机对照临床试验结果显示，与常规康复治疗（$aOR = 1.17$，98.3%CI：0.70～1.96）或剂量匹配的增强上肢康复治疗（$aOR = 0.78$，98.3%CI：0.48～1.27）相比，机器人辅助康复治疗并不能改善上肢功能[上肢动作研究测验量表（ARAT）评分][62]。上述研究结论的差异，推测与脑卒中发病时间、治疗强度和治疗方法不同有关，机器人辅助康复治疗结合其他康复治疗方法有可能成为改善脑卒中患者功能结局的有效措施。

虚拟现实技术结合计算机图形、图像处理与模式识别、智能技术、传感器技术、语言处理与音响技术等多门学科，生成一种交互式三维动态视景，可以提供受试者各种感官模拟，进行可视化操作和互动。Mirelman等[63]的研究显示，机器人-虚拟现实系统与单独机器人辅助康复治疗相比，可延长训练时间（492分钟对451分钟，$P = 0.002$），延缓过早疲劳；经过4周的康复训练，机器人-虚拟现实组步速提高24%、6分钟步行距离增加21%，而单独机器人辅助治疗组步速和步距仅提高2%和0.5%，且这一疗效可持续3个月。由此可见，虚拟现实技术结合其他康复治疗方法，可显著增强脑卒中患者运动学习能力，改善上肢运动功能[64]、平衡功能和步态[65]，提高日常生活活动能力[66]。

综上所述，人工智能技术在脑卒中预防、诊治与康复中的作用日益突显。将人工智能技术应用于脑卒中管理，有助于减轻我国不断加剧的脑卒中负担，具有广阔的应用前景。

利益冲突　无

参考文献

[1] GBD 2016 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016[J]. Lancet Neurol, 2019, 18:439-458.

[2] Kaji R. Global burden of neurological diseases highlights stroke[J]. Nat Rev Neurol, 2019, 15:371-372.

[3] Krishnamurthi RV, Ikeda T, Feigin VL. Global, regional and country - specific burden of ischaemic stroke, intracerebral haemorrhage and subarachnoid haemorrhage: a systematic analysis of the global burden of disease study 2017[J]. Neuroepidemiology, 2020, 54:171-179.

[4] Wang W, Jiang B, Sun H, Ru X, Sun D, Wang L, Wang L, Jiang Y, Li Y, Wang Y, Chen Z, Wu S, Zhang Y, Wang D, Wang Y, Feigin VL; NESS - China Investigators. Prevalence, incidence, and mortality of stroke in China: results from a nationwide population - based survey of 480 687 adults[J]. Circulation, 2017, 135:759-771.

[5] Sahraeian SME, Liu R, Lau B, Podesta K, Mohiyuddin M, Lam HYK. Deep convolutional neural networks for accurate somatic mutation detection[J]. Nat Commun, 2019, 10:1041.

[6] Shortliffe EH, Sepúlveda MJ. Clinical decision support in the era of artificial intelligence[J]. JAMA, 2018, 320:2199-2200.

[7] Panesar S, Cagle Y, Chander D, Morey J, Fernandez-Miranda J, Kliot M. Artificial intelligence and the future of surgical robotics[J]. Ann Surg, 2019, 270:223-226.

[8] Langlotz CP, Allen B, Erickson BJ, Kalpathy-Cramer J, Bigelow K, Cook TS, Flanders AE, Lungren MP, Mendelson DS, Rudie JD, Wang G, Kandarpa K. A roadmap for foundational research on artificial intelligence in medical imaging: from the 2018 NIH/RSNA/ACR/The Academy Workshop[J]. Radiology, 2019, 291:781-791.

[9] Griffen EJ, Dossetter AG, Leach AG, Montague S. Can we accelerate medicinal chemistry by augmenting the chemist with big data and artificial intelligence[J]? Drug Discov Today, 2018, 23:1373-1384.

[10] Feigin VL, Roth GA, Naghavi M, Parmar P, Krishnamurthi R, Chugh S, Mensah GA, Norrving B, Shiue I, Ng M, Estep K, Cercy K, Murray CJL, Forouzanfar MH; Global Burden of Diseases, Injuries and Risk Factors Study 2013 and Stroke Experts Writing Group. Global burden of stroke and risk factors in 188 countries, during 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013[J]. Lancet Neurol, 2016, 15:913-924.

[11] Zhang F, Yu JM, Ding RJ, Zhang LJ, Li SC, Zhan YQ, Hu DY. Analysis of risk factors and cognition status of stroke in residents of Beijing[J]. Zhongguo Shi Yong Nei Ke Za Zhi, 2011, 31:116-118.[张芬, 余金明, 丁荣晶, 张李军, 李社昌, 战义强, 胡大一. 北京市居民脑卒中危险因素及认知情况分析[J]. 中国实用内科杂志, 2011, 31:116-118.]

[12] Zhou Y, Li JM, Liu Y. Investigation on awareness for risk factors of stroke in primary farmers[J]. Xian Dai Sheng Wu Yi Xue Jin Zhan, 2009, 9:3722-3725.[周毅, 李建明, 刘燕. 基层农民对脑卒中危险因素知晓率的调查分析[J]. 现代生物医学进展, 2009, 9:3722-3725.]

[13] Miao F, Fu N, Zhang YT, Ding XR, Hong X, He Q, Li Y. A

novel continuous blood pressure estimation approach based on data mining techniques[J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2017, 21:1730-1740.

[14] Tsoi KKF, Chan NB, Yiu KKL, Poon SKS, Lin B, Ho K. Machine learning clustering for blood pressure variability applied to systolic blood pressure intervention trial (SPRINT) and the Hong Kong Community Cohort[J]. Hypertension, 2020, 76:569-576.

[15] Koren G, Nordon G, Radinsky K, Shalev V. Machine learning of big data in gaining insight into successful treatment of hypertension[J]. Pharmacol Res Perspect, 2018, 6:e00396.

[16] Koshimizu H, Kojima R, Okuno Y. Future possibilities for artificial intelligence in the practical management of hypertension[J]. Hypertens Res, 2020, 43:1327-1337.

[17] Li J, Huang J, Zheng L, Li X. Application of artificial intelligence in diabetes education and management: present status and promising prospect[J]. Front Public Health, 2020, 8:173.

[18] Attia ZI, Noseworthy PA, Lopez-Jimenez F, Asirvatham SJ, Deshmukh AJ, Gersh BJ, Carter RE, Yao X, Rabinstein AA, Erickson BJ, Kapa S, Friedman PA. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction[J]. Lancet, 2019, 394:861-867.

[19] Asgari S, Mehrnia A, Moussavi M. Automatic detection of atrial fibrillation using stationary wavelet transform and support vector machine[J]. Comput Biol Med, 2015, 60:132-142.

[20] Meneu T, Martínez-Romero Á, Martínez-Millana A, Guillén S. An integrated advanced communication and coaching platform for enabling personalized management of chronic cardiovascular diseases[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2011, 2011:1563-1566.

[21] Logallo N, Novotny V, Assmus J, Kvistad CE, Alteheld L, Rønning OM, Thommessen B, Amthor KF, Ihle-Hansen H, Kurz M, Tobro H, Kaur K, Stankiewicz M, Carlsson M, Morsund Å, Idicula T, Aamodt AH, Lund C, Næss H, Waje-Andreassen U, Thomassen L. Tenecteplase versus alteplase for management of acute ischaemic stroke (NOR-TEST): a phase 3, randomised, open-label, blinded endpoint trial[J]. Lancet Neurol, 2017, 16:781-788.

[22] Yang P, Zhang Y, Zhang L, Zhang Y, Treurniet KM, Chen W, Peng Y, Han H, Wang J, Wang S, Yin C, Liu S, Wang P, Fang Q, Shi H, Yang J, Wen C, Li C, Jiang C, Sun J, Yue X, Lou M, Zhang M, Shu H, Sun D, Liang H, Li T, Guo F, Ke K, Yuan H, Wang G, Yang W, Shi H, Li T, Li Z, Xing P, Zhang P, Zhou Y, Wang H, Xu Y, Huang Q, Wu T, Zhao R, Li Q, Fang Y, Wang L, Lu J, Li Y, Fu J, Zhong X, Wang Y, Wang L, Goyal M, Dippel DWJ, Hong B, Deng B, Roos YBWEM, Majoie CBLM, Liu J; DIRECT-MT Investigators. Endovascular thrombectomy with or without intravenous alteplase in acute stroke[J]. N Engl J Med, 2020, 382:1981-1993.

[23] Chinese Society of Neurology, Chinese Stroke Society. Chinese guideline for diagnosis and treatment of acute ischemic stroke 2018[J]. Zhonghua Shen Jing Ke Za Zhi, 2018, 51:666-682.[中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国急性缺血性脑卒中诊治指南2018[J]. 中华神经科杂志, 2018, 51:666-682.]

[24] Abedi V, Goyal N, Tsivgoulis G, Hosseinichimeh N, Hontecillas R, Bassaganya-Riera J, Elijovich L, Metter JE, Alexandrov AW, Liebeskind DS, Alexandrov AV, Zand R. Novel screening tool for stroke using artificial neural network[J]. Stroke, 2017, 48:1678-1681.

[25] Guo L, Abbosh A. Stroke localization and classification using microwave tomography with k-means clustering and support vector machine[J]. Bioelectromagnetics, 2018, 39:312-324.

[26] National Institute of Neurological Disorders and Stroke rt-PA Stroke Study Group. Tissue plasminogen activator for acute ischemic stroke[J]. N Engl J Med, 1995, 333:1581-1587.

[27] Hacke W, Kaste M, Bluhmki E, Brozman M, Dάvalos A, Guidetti D, Larrue V, Lees KR, Medeghri Z, Machnig T, Schneider D, von Kummer R, Wahlgren N, Toni D; ECASS Investigators. Thrombolysis with alteplase 3 to 4.5 hours after acute ischemic stroke[J]. N Engl J Med, 2008, 359:1317-1329.

[28] Lees KR, Emberson J, Blackwell L, Bluhmki E, Davis SM, Donnan GA, Grotta JC, Kaste M, von Kummer R, Lansberg MG, Lindley RI, Lyden P, Murray GD, Sandercock PA, Toni D, Toyoda K, Wardlaw JM, Whiteley WN, Baigent C, Hacke W, Howard G; Stroke Thrombolysis Trialists′ Collaborators Group. Effects of alteplase for acute stroke on the distribution of functional outcomes: a pooled analysis of 9 trials[J]. Stroke, 2016, 47:2373-2379.

[29] Lee H, Lee EJ, Ham S, Lee HB, Lee JS, Kwon SU, Kim JS, Kim N, Kang DW. Machine learning approach to identify stroke within 4.5 hours[J]. Stroke, 2020, 51:860-866.

[30] Albers GW, Marks MP, Kemp S, Christensen S, Tsai JP, Ortega-Gutierrez S, McTaggart RA, Torbey MT, Kim-Tenser M, Leslie-Mazwi T, Sarraj A, Kasner SE, Ansari SA, Yeatts SD, Hamilton S, Mlynash M, Heit JJ, Zaharchuk G, Kim S, Carrozzella J, Palesch YY, Demchuk AM, Bammer R, Lavori PW, Broderick JP, Lansberg MG; DEFUSE 3 Investigators. Thrombectomy for stroke at 6 to 16 hours with selection by perfusion imaging[J]. N Engl J Med, 2018, 378:708-718.

[31] Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, Bonafe A, Budzik RF, Bhuva P, Yavagal DR, Ribo M, Cognard C, Hanel RA, Sila CA, Hassan AE, Millan M, Levy EI, Mitchell P, Chen M, English JD, Shah QA, Silver FL, Pereira VM, Mehta BP, Baxter BW, Abraham MG, Cardona P, Veznedaroglu E, Hellinger FR, Feng L, Kirmani JF, Lopes DK, Jankowitz BT, Frankel MR, Costalat V, Vora NA, Yoo AJ, Malik AM, Furlan AJ, Rubiera M, Aghaebrahim A, Olivot JM, Tekle WG, Shields R, Graves T, Lewis RJ, Smith WS, Liebeskind DS, Saver JL, Jovin TG; DAWN Trial Investigators. Thrombectomy 6 to 24 hours after stroke with a mismatch between deficit and infarct[J]. N Engl J Med, 2018, 378:11-21.

[32] Saver JL, Goyal M, Bonafe A, Diener HC, Levy EI, Pereira VM, Albers GW, Cognard C, Cohen DJ, Hacke W, Jansen O, Jovin TG, Mattle HP, Nogueira RG, Siddiqui AH, Yavagal DR, Baxter BW, Devlin TG, Lopes DK, Reddy VK, du Mesnil de Rochemont R, Singer OC, Jahan R; SWIFT PRIME Investigators. Stent-retriever thrombectomy after intravenous t-PA vs. t-PA alone in stroke[J]. N Engl J Med, 2015, 372:2285-2295.

[33] Saver JL, Jahan R, Levy EI, Jovin TG, Baxter B, Nogueira RG, Clark W, Budzik R, Zaidat OO; SWIFT Trialists. Solitaire flow restoration device versus the Merci Retriever in patients with acute ischaemic stroke (SWIFT): a randomised, parallel-group, non-inferiority trial[J]. Lancet, 2012, 380:1241-1249.

[34] Sheth SA, Lopez-Rivera V, Barman A, Grotta JC, Yoo AJ, Lee S, Inam ME, Savitz SI, Giancardo L. Machine learning-enabled automated determination of acute ischemic core from computed tomography angiography[J]. Stroke, 2019, 50:3093-3100.

[35] Kim YC, Lee JE, Yu I, Song HN, Baek IY, Seong JK, Jeong HG, Kim BJ, Nam HS, Chung JW, Bang OY, Kim GM, Seo WK. Evaluation of diffusion lesion volume measurements in acute ischemic stroke using encoder-decoder convolutional network[J]. Stroke, 2019, 50:1444-1451.

[36] Garg R, Oh E, Naidech A, Kording K, Prabhakaran S. Automating ischemic stroke subtype classification using machine learning and natural language processing[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2019, 28:2045-2051.

[37] Chung JW, Kim YC, Cha J, Choi EH, Kim BM, Seo WK, Kim GM, Bang OY. Characterization of clot composition in acute cerebral infarct using machine learning techniques[J]. Ann Clin Transl Neurol, 2019, 6:739-747.

[38] Chen YX, Jiang Y, Li ZX, Pan YS, Ji RJ, Wang YL, Wang YJ, Wang C. Current status of medication compliance in secondary prevention for ischemic stroke or transient ischemic attack[J]. Zhongguo Zu Zhong Za Zhi, 2018, 13:686-691.[陈艳雪, 姜悦, 李子孝, 潘岳松, 冀瑞俊, 王伊龙, 王拥军, 王晨. 中国急性缺血性卒中及短暂性脑缺血发作二级预防药物依从性的现状[J]. 中国卒中杂志, 2018, 13:686-691.]

[39] Schweitzer M, Hoerbst A. Robotic assistance in medication management: development and evaluation of a prototype[J]. Stud Health Technol Inform, 2016, 225:422-426.

[40] Chilamkurthy S, Ghosh R, Tanamala S, Biviji M, Campeau NG, Venugopal VK, Mahajan V, Rao P, Warier P. Deep learning algorithms for detection of critical findings in head CT scans: a retrospective study[J]. Lancet, 2018, 392:2388-2396.

[41] Ye H, Gao F, Yin Y, Guo D, Zhao P, Lu Y, Wang X, Bai J, Cao K, Song Q, Zhang H, Chen W, Guo X, Xia J. Precise diagnosis of intracranial hemorrhage and subtypes using a three-dimensional joint convolutional and recurrent neural network[J]. Eur Radiol, 2019, 29:6191-6201.

[42] Dhar R, Falcone GJ, Chen Y, Hamzehloo A, Kirsch EP, Noche RB, Roth K, Acosta J, Ruiz A, Phuah CL, Woo D, Gill TM, Sheth KN, Lee JM. Deep learning for automated measurement of hemorrhage and perihematomal edema in supratentorial intracerebral hemorrhage[J]. Stroke, 2020, 51:648-651.

[43] Ironside N, Chen CJ, Mutasa S, Sim JL, Marfatia S, Roh D, Ding D, Mayer SA, Lignelli A, Connolly ES. Fully automated segmentation algorithm for hematoma volumetric analysis in spontaneous intracerebral hemorrhage[J]. Stroke, 2019, 50:3416-3423.

[44] Ironside N, Chen CJ, Mutasa S, Sim JL, Ding D, Marfatiah S, Roh D, Mukherjee S, Johnston KC, Southerland AM, Mayer SA, Lignelli A, Connolly ES. Fully automated segmentation algorithm for perihematomal edema volumetry after spontaneous intracereral hemorrhage[J]. Stroke, 2020, 51:815-823.

[45] Alan N, Lee P, Ozpinar A, Gross BA, Jankowitz BT. Robotic stereotactic assistance (ROSA) utilization for minimally invasive placement of intraparenchymal hematoma and intraventricular catheters[J]. World Neurosurg, 2017, 108:996.

[46] Sun X, Tao YQ, Xu F, Yang XW, Wang Y, Xu MT, Wang JH, Fei S, Wang TT. Superiority and feasibility of Robot of Stereotactic Assistant system for the treatment of hypertensive cerebral hemorrhage[J]. Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2017, 22:51-53.[孙霄, 陶英群, 许峰, 杨兴旺, 王宇, 徐梦婷, 王俊和, 费爽, 王婷婷. ROSA辅助治疗高血压脑出血的优越性及可行性研究[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2017, 22:51-53.]

[47] Xu F, Tao YQ, Sun X, Yang XW, Wang Y, Xu MT, Wang JH, Fei S, Wang TT. Robot of Stereotactic Assistant system assisted stereotactic surgery for the treatment of hypertensive brainstem hemorrhage[J]. Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2017, 22:54-56.[许峰, 陶英群, 孙霄, 杨兴旺, 王宇, 徐梦婷, 王俊和, 费爽, 王婷婷. ROSA辅助定向手术治疗高血压性脑干出血[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2017, 22:54-56.]

[48] Wang T, Zhao QJ, Gu JW, Shi TJ, Yuan X, Wang J, Cui SJ. Neurosurgery medical robot remebot for the treatment of 17 patients with hypertensive intracerebral hemorrhage[J]. Int J Med Robot, 2019, 15:e2024.

[49] Seciety of Neurology of Chinese Medical Association, Neurorehabilitation group of Seciety of Neurology of Chinese Medical Association, Cerebrovascular group of Seciety of Neurology of Chinese Medical Association. Chinese guideline for early rehabilitation of stroke[J]. Zhonghua Shen Jing Ke Za Zhi, 2017, 50:405-412.[中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会神经康复学组, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国脑卒中早期康复治疗指南[J]. 中华神经科杂志, 2017, 50:405-412.]

[50] Krebs HI, Krams M, Agrafiotis DK, DiBernardo A, Chavez JC, Littman GS, Yang E, Byttebier G, Dipietro L, Rykman A, McArthur K, Hajjar K, Lees KR, Volpe BT. Robotic measurement of arm movements after stroke establishes biomarkers of motor recovery[J]. Stroke, 2014, 45:200-204.

[51] Bengtson MC, Mrotek LA, Stoeckmann T, Ghez C, Scheidt RA. The arm motion detection (AMD) test[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2014:5349-5352.

[52] Deblock-Bellamy A, Batcho CS, Mercier C, Blanchette AK. Quantification of upper limb position sense using an exoskeleton and a virtual reality display[J]. J Neuroeng Rehabil, 2018, 15:24.

[53] Semrau JA, Herter TM, Scott SH, Dukelow SP. Inter-rater reliability of kinesthetic measurements with the KINARM robotic exoskeleton[J]. J Neuroeng Rehabil, 2017, 14:42.

[54] Park JH, Kim Y, Lee KJ, Yoon YS, Kang SH, Kim H, Park HS. Artificial neural network learns clinical assessment of spasticity in modified Ashworth scale[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2019, 100:1907-1915.

[55] Ghahramani Z. Probabilistic machine learning and artificial intelligence[J]. Nature, 2015, 521:452-459.

[56] Chaudhary U, Birbaumer N, Ramos-Murguialday A. Brain-computer interfaces for communication and rehabilitation[J]. Nat Rev Neurol, 2016, 12:513-525.

[57] Coscia M, Wessel MJ, Chaudary U, Millán JDR, Micera S, Guggisberg A, Vuadens P, Donoghue J, Birbaumer N, Hummel FC. Neurotechnology-aided interventions for upper limb motor rehabilitation in severe chronic stroke[J]. Brain, 2019, 142:2182-2197.

[58] Mrachacz-Kersting N, Jiang N, Stevenson AJ, Niazi IK, Kostic V, Pavlovic A, Radovanovic S, Djuric-Jovicic M, Agosta F, Dremstrup K, Farina D. Efficient neuroplasticity induction in chronic stroke patients by an associative brain-computer interface[J]. J Neurophysiol, 2016, 115:1410-1421.

[59] Ramos-Murguialday A, Broetz D, Rea M, Läer L, Yilmaz O, Brasil FL, Liberati G, Curado MR, Garcia-Cossio E, Vyziotis A, Cho W, Agostini M, Soares E, Soekadar S, Caria A, Cohen LG, Birbaumer N. Brain-machine interface in chronic stroke rehabilitation: a controlled study[J]. Ann Neurol, 2013, 74:100-108.

[60] Lo AC, Guarino PD, Richards LG, Haselkorn JK, Wittenberg GF, Federman DG, Ringer RJ, Wagner TH, Krebs HI, Volpe BT, Bever CT Jr, Bravata DM, Duncan PW, Corn BH, Maffucci AD, Nadeau SE, Conroy SS, Powell JM, Huang GD, Peduzzi P. Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke[J]. N Engl J Med, 2010, 362:1772-1783.

[61] Veerbeek JM, Langbroek-Amersfoort AC, van Wegen EE, Meskers CG, Kwakkel G. Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2017, 31:107-121.

[62] Rodgers H, Bosomworth H, Krebs HI, van Wijck F, Howel D, Wilson N, Aird L, Alvarado N, Andole S, Cohen DL, Dawson J,

Fernandez-Garcia C, Finch T, Ford GA, Francis R, Hogg S, Hughes N, Price CI, Ternent L, Turner DL, Vale L, Wilkes S, Shaw L. Robot assisted training for the upper limb after stroke (RATULS): a multicentre randomised controlled trial [J]. Lancet, 2019, 394:51-62.

[63] Mirelman A, Bonato P, Deutsch JE. Effects of training with a robot-virtual reality system compared with a robot alone on the gait of individuals after stroke[J]. Stroke, 2009, 40:169-174.

[64] Faria AL, Cameirão MS, Couras JF, Aguiar JRO, Costa GM, Bermúdez I Badia S. Combined cognitive-motor rehabilitation in virtual reality improves motor outcomes in chronic stroke: a pilot study[J]. Front Psychol, 2018, 9:854.

[65] Cano Porras D, Siemonsma P, Inzelberg R, Zeilig G, Plotnik M. Advantages of virtual reality in the rehabilitation of balance and gait: systematic review[J]. Neurology, 2018, 90:1017-1025.

[66] Laver KE, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2015:CD008349.

（收稿日期：2021-01-14）
（本文编辑：彭一帆）

·小词典·

中英文对照名词词汇（二）

6分钟步行试验	6 Minute Walking Test（6MWT）
STARFlex封堵器对卵圆孔未闭患者难治性偏头痛效果试验	Migraine Intervention with STARFlex® Technology（MIST）trial
改良衰弱指数	modified Frailty Index（mFI）
高分辨率磁共振成像	high-resolution magnetic resonance imaging（HRMRI）
功能性电刺激术	functional electrical stimulation（FES）
共同空间模式	common spatial patterns（CSP）
灌注成像	perfusion-weighted imaging（PWI）
CT灌注成像	CT perfusion imaging（CTP）
国际颅内外动脉搭桥试验	Extracranial-Intracranial Bypass Trial（EC-IC）
国际头痛协会	International Headache Society（HIS）
宏基因组测序	metagenomic next-generation sequencing（mNGS）
华法林-阿司匹林治疗症状性颅内动脉狭窄研究	Warfarin-Aspirin Symptomatic Intracranial Disease（WASID）
黄素单加氧酶3	flavin monooxygenase 3（FMO3）
机器学习	machine learning（ML）
基于脑机接口的软体机器人手套	brain-computer interface-based soft robotic glove（BCI-SRG）
计算流体力学	computational fluid dynamics（CFD）
交叉验证	cross validation（CV）
近红外光谱	near infrared spectroscopy（NIRS）
经颅彩色多普勒超声	transcranial color Doppler ultrasonography（TCCD）
颈内动脉和大脑中动脉M1段闭塞致急性脑卒中患者使用与不使用静脉组织型纤溶酶原激活剂的血管内治疗随机研究	the Randomized Study of Endovascular Therapy with Versus without Intravenous Tissue Plasminogen Activator in Acute Stroke with ICA and M1 Occlusion（SKIP）study
静态脑血流自动调节	static cerebral autoregulation（sCA）
卷积神经网络	convolution neural network（CNN）
决策树	decision tree（DT）
可逆性后部白质脑病综合征	posterior reversible leukoencephalopathy syndrome（PRES）
快速傅里叶变换	fast Fourier transform（FFT）
扩大的血管周围间隙	enlarged perivascular space（EPVS）
［扩大的Virchow-Robin间隙	dilated Virchow-Robin space（dVRS）］
扩散和灌注成像评价脑卒中进展研究	Diffusion and Perfusion Imaging Evaluation for Understanding Stroke Evolution（DEFUSE）study
扩散加权成像	diffusion weighted image（DWI）
离散傅里叶变换	discrete Fourier transform（DFT）
良性阵发性位置性眩晕	benign paroxysmal positional vertigo（BPPV）
临床痴呆评价量表	Clinical Dementia Rating Scale（CDR）
颅内动脉粥样硬化性狭窄	intracranial atherosclerotic stenosis（ICAS）
颅内压	intracranial pressure（ICP）
卵圆孔未闭	patent foramen ovale（PFO）
脉搏波传导速度	pulse wave velocity（PWV）
慢性脑低灌注	chronic cerebral hypoperfusion（CCH）
慢性阻塞性肺病	chronic obstructive pulmonary disease（COPD）
梅尼埃病	Ménière's disease（MD）
美国国立卫生研究院卒中量表	National Institutes of Health Stroke Scale（NIHSS）
美国心脏协会	American Heart Association（AHA）
美国卒中协会	American Stroke Association（ASA）
免疫荧光染色	immunofluorescence assay（IFA）
脑白质病变	white matter lesion（WML）
脑白质高信号	white matter hyperintensity（WMH）
脑淀粉样血管病	cerebral amyloid angiopathy（CAA）
脑灌注压	cerebral perfusion pressure（CPP）
脑机接口	brain-computer interface（BCI）
脑微出血	cerebral microbleeds（CMBs）
脑小血管病	cerebral small vessel disease（CSVD）
脑血管反应性	cerebrovascular reactivity（CVR）
脑血流量	cerebral blood flow（CBF）
脑血流自动调节	cerebral autoregulation（CA）