

功能近红外光谱成像技术评估运动想象疗法 对脑卒中患者脑功能的影响

刘鸿鑫, 刘晓旭, 陈志天, 张小丽, 严兴科

摘要 **目的:**利用功能近红外光谱成像技术(fNIRs)探讨运动想象疗法对上肢功能障碍的脑卒中患者脑功能的影响。**方法:**将卒中后上肢功能障碍患者20例随机分为治疗组和对照组,每组各10例。对照组患者予以常规药物、常规运动康复训练;治疗组在对照组基础上予以运动想象训练。于治疗前、治疗4周、8周后,采用功能独立性评定量表(FIM)和Fugl-Meyer上肢功能评定量表(FMA-U)评估疗效,同时采用fNIRs采集系统检测大脑组织氧合血红蛋白(Oxy-Hb)相对变化,以探讨特定脑区激活模式和响应特征。**结果:**治疗前,2组患者FIM、FMA-U评分差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗4周、8周后,2组患者FIM、FMA-U评分均较同组治疗前提高($P<0.05$),且治疗组评分均高于同时时间点的对照组评分($P<0.05$)。fNIRs三维脑成像图显示,康复训练刺激脑组织的兴奋部位主要是皮质运动区的中上段(Brodmann 4区),随着治疗时间的增加,2组患者皮质兴奋区域面积增加,且治疗组增加的程度更大;与治疗前比较,2组治疗4周、8周后脑组织Oxy-Hb浓度均显著提高($P<0.05$),且治疗组Oxy-Hb浓度高于对照组($P<0.05$)。相关性分析结果显示,FIM得分与Oxy-Hb浓度相对值呈正相关($r=0.657, P<0.05$),FMA-U与Oxy-Hb浓度相对值呈正相关($r=0.807, P<0.05$)。**结论:**卒中后上肢功能活动障碍患者大脑运动前区、运动区皮质存在明显抑制现象。单纯运动康复训练、运动想象疗法联合运动康复训练均能激活相关脑区功能活动,且后者激活效果及功能改善更显著。

关键词 脑卒中;上肢功能;运动想象疗法;功能近红外光谱成像技术

中图分类号 R741;R741.05;R743;R493 **文献标识码** A **DOI** 10.16780/j.cnki.sjssgncj.20220792

本文引用格式:刘鸿鑫, 刘晓旭, 陈志天, 张小丽, 严兴科. 功能近红外光谱成像技术评估运动想象疗法对脑卒中患者脑功能的影响[J]. 神经损伤与功能重建, 2023, 18(6): 363-366.

作者单位

甘肃中医药大学
兰州 730000

基金项目

甘肃中医药大学中
青年科研基金(No.
ZQN2016-3)

收稿日期

2022-10-21

通讯作者

严兴科
yanxingke@126.
com

脑卒中是由血管病变引起的中枢神经系统的急性、局灶性损害而导致的神经功能缺损的症候群,具有高死亡率和致残率^[1,2]。超过2/3的患者在卒中开始时就存在上肢活动障碍,高达55%~75%的卒中后上肢功能障碍患者在发病半年后仍遗留上肢功能损伤^[3,4]。临床常规用于治疗卒中后上肢功能障碍的运动康复疗法多存在训练单一且重复、任务导向性不强等缺陷,患者易产生厌倦而影响治疗效果。运动想象训练近些年逐渐被应用于脑卒中患者的康复过程中,成为新的治疗手段^[5,6]。虽然目前关于运动想象训练的临床研究较多,但其作用机制仍不十分清楚。功能近红外光谱成像技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRs)能够借助动态检测大脑皮质中氧合血红蛋白(Oxyhemoglobin, Oxy-Hb)和脱氧血红蛋白(deoxyhemoglobin, Deoxy-Hb)及总血红蛋白(total hemoglobin, Total-Hb)的含量,间接反应大脑的神经活动^[7],且具有较高的时间分辨率、连续性和检测便捷等优势,是研究脑功能变化的有效技术方法^[8,9]。本研究拟利用fNIRs观察脑卒中患者运动想象训练治疗4周、8周前后额叶脑皮质的激活变化,探索运动想象训练治疗后脑卒中患者脑皮质重塑的潜在规律,旨在为运动想象训练促进脑卒中患者功能康复的作用机制提供理论依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

研究经甘肃中医药大学附属医院伦理委员会审查通过([2017]34号)。选取甘肃中医药大学附属医院康复医学科确诊并伴有上肢功能障碍的脑卒中住院患者20例。纳入标准:符合《中国脑出血诊治指南(2014)》^[10]或《中国急性缺血性脑卒中诊治指南(2014)》^[11]诊断标准^[11];20~80岁;首次发病,病程<6个月,存在单侧肢体障碍;上肢Brunnstrom分期Ⅱ~Ⅴ级;改良Ashworth量表评定≤2级;无明显感觉及认知障碍(MoCA量表评分须≥26分);具备一定的运动想象能力,无沟通障碍;生命体征平稳;签署知情同意书。排除标准:动觉-视觉运动想象问卷(KVIQ-20)≤136分;患者存在认知障碍、智力障碍、想象障碍等;存在肩关节脱位、肩周炎、上肢骨质疏松及良恶性骨肿瘤;存在心、肝、肾功能不全等重大全身性疾病。按随机数字表法将患者随机分为对照组和治疗组,每组10例,2组一般资料差异无统计学意义($P>0.05$),见表1。

1.2 方法

1.2.1 治疗及康复 2组均接受基础药物治疗和常规运动康复训练,治疗组在此基础上再进行运动想象训练。常规运动康复训练由专业治疗师根据患者的康复评定结果,指导进行,主要包括良肢位摆放、翻身练习、上肢的主被动活动练习、坐立位练

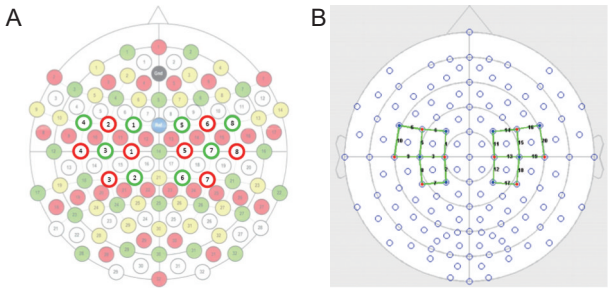
表1 2组一般资料比较[($\bar{x}\pm s$)或例]

组别	例数	年龄/岁	病程/d	男/女	脑梗死/ 脑出血
对照组	10	63.70±7.44	24.17±16.991	5/5	9/1
治疗组	10	62.90±10.96	22.70±11.388	6/4	7/3
t/χ^2 值		0.181	0.347	0.202	1.250
P 值		0.858	0.731	0.653	0.264

习、辅助步行训练等。治疗时间为20 min/次,2次/d,4 d/周,共8周。运动想象训练在治疗师的指导语下进行:首先嘱咐患者闭眼、深呼吸、放松全身,去体会每一个动作;然后引导患者由易到难想象“端茶杯喝水、手用力推门、手转动方向盘、手指数数、手上举摘水果”等日常生活中的动作,每个动作想象3次;最后嘱咐患者深呼吸、睁开双眼,治疗结束。治疗时间为15 min/次,2次/d,4 d/周,共8周。

1.2.2 功能评定 于治疗前、治疗4周和8周后,采用功能独立性评定量表(function independent measure, FIM)评估患者日常生活独立性,满分126分,分值越高代表患者依赖性越低;Fugl-Meyer 上肢运动量表(Fugl-Meyer upper extremity motor assessment, FMA-U)评估患者上肢功能,满分66分,得分越高表示患者上肢功能越好。所有受试者的上述量表评定均由同一名经验丰富的康复治疗师进行。

1.2.3 fNIRs数据采集和处理 于治疗前、治疗4周和8周后,进行3 min静息状态下的fNIRs数据采集。fNIRs采集系统(美国NIRX公司,型号:NIRStar15.0)采用8个光源、8个探测器的布局,构成20个通道的信号采集通路。信号采集主要覆盖大脑额叶皮质(尤其是皮质运动区、运动前区,即 Brodmann4区、6区)。采集时,需提前设置好光源、探测器的排列顺序,紧贴患者头皮。详见图1。本研究数据提取与处理应用美国NIRStar15-0自带分析软件nirsLAB(深圳翰翔生物医疗公司,型号:nirsLAB-v201601)。其过程为:首先对获得的原始数据进行降噪、滤波,并按照任务标记做截取处理;再计算每个被试者各通道的血氧变化的平均值;再采用SPSS19.0软件对以通道和任务为组间变量、以时间为组内变量的beta值进行单样本 t 检验,得到每个通道的 t 值和 P 值,并设定 $P<0.05$ 的通道为激活通道。选取fNIRs系统最敏感的指标(Oxy-Hb浓度)作为主要分析指标^[12],同时以Deoxy-Hb和Total-Hb浓度为辅助,构建三维脑功



注:(A)光源(红)、探测器(绿)置放;(B)通道布局图。

图1 fNIRs数据采集

能成像图,分析患者大脑皮质功能活动情况。在本研究的数据采集条件下,C4(Brodmann8区)、C15(Brodmann6区)、C19(Brodmann4区)通道对大脑额区相关刺激的活动状态检测最敏感,因此选取上述3个通道进行数据分析。

1.3 统计学处理

采用SPSS19.0软件进行统计学分析。符合正态分布以及方差齐性的计量资料以($\bar{x}\pm s$)表示,组间比较采用独立样本均数 t 检验;计数资料以率表示,组间比较采用 χ^2 或Fisher精确概率法检验;相关性分析采用双变量Pearson检验; $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2组患者治疗前后FIM、FMA-U评分比较

治疗前,2组患者FIM、FMA-U评分差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗4周、8周后,2组患者FIM、FMA-U评分均较同组治疗前提高($P<0.05$),且治疗组评分均高于同时时间点的对照组评分($P<0.05$),见表2。

2.2 fNIRs检测结果比较

2.2.1 2组患者不同治疗周期Oxy-Hb浓度相对值的比较 随着治疗周期的延长,2组患者Oxy-Hb浓度总体呈上升的趋势,在治疗前期,上升趋势较为明显。与治疗前比较,2组治疗4周、8周Oxy-Hb浓度显著提高($P<0.05$);治疗8周时,2组的Oxy-Hb浓度均高于治疗4周时,但差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗4周、8周后,治疗组Oxy-Hb浓度高于对照组($P<0.05$),见表3。

2.2.2 2组患者大脑额区功能活动分析 fNIRs三维脑成像图中,蓝色表示该处大脑皮质活动处于抑制状态,蓝色越深则表明

表2 2组FIM、FMA-U评分比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FIM评分			FMA-U评分		
		治疗前	治疗4周	治疗8周	治疗前	治疗4周	治疗8周
对照组	10	75.40±11.66	84.70±11.14 ^①	92.40±15.17 ^①	36.00±3.77	44.80±4.07 ^①	51.30±7.03 ^①
治疗组	10	74.60±9.45	88.00±11.38 ^{①②}	96.00±12.06 ^{①②}	41.90±8.54	52.80±6.38 ^{①②}	58.20±5.62 ^{①②}

注:与治疗前比较,^① $P<0.05$;与对照组比较,^② $P<0.05$ 。

表3 2组Oxy-Hb相对值随时间变化的比较(mmol/L, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	治疗前	治疗4周	治疗8周
对照组	10	0.00873±0.00066	0.01561±0.00091 ^①	0.01763±0.00036 ^①
治疗组	10	0.01045±0.00079	0.01785±0.00155 ^{①②}	0.01917±0.00065 ^{①②}

注:与治疗前比较,^① $P<0.05$;与对照组比较,^② $P<0.05$;COMPUTE HbO₂相对量=SQRT(治疗组按时间变化量)。

大脑皮质活动抑制状态越明显;红色表示该处大脑皮质处于兴奋状态,红色越深表明大脑皮质兴奋越明显。治疗前,2组患者大脑额区皮质多呈深蓝色或蓝绿色,提示活动多处于抑制状态。治疗4周后,2组患者脑区蓝色面积均明显减少,红色面积均明显扩大;且治疗组患者相比对照组出现红色的面积更大、色彩度更深;其兴奋部位主要是皮质运动区的中上段(Brodmann 4区),治疗组患者的感觉运动区(Brodmann 1、2、3区的上段)也出现兴奋现象。治疗8周后,2组患者对应的大脑运动功能区域黄色、红色区域面积进一步扩大,其兴奋的区域依然为Brodmann 4区;治疗组患者的红色扩增面积更大,在运动前区皮质和前额叶眼区(Brodmann 6区、8区)也有部分兴奋现象。见图2。

2.2.3 Oxy-Hb 浓度相对值与FIM、FMA-U得分的相关性分析
双变量 Pearson 检验结果显示,FIM 得分与 Oxy-Hb 浓度相对值呈正相关($r=0.657, P<0.05$),FMA-U 与 Oxy-Hb 浓度相对值呈正相关($r=0.807, P<0.05$)。

3 讨论

在脑卒中患者中,上肢功能活动障碍是导致卒中后患者的日常生活能力下降的主要因素^[13]。运动想象训练是通过视、听等感官信号传递,患者在不参与肢体运动情况下,在脑内对某一特定运动过程,进行反复想象运动,进而达到改善该运动功能障碍的目的^[14,15]。研究证实,运动想象训练对脑卒中患者肢体功能障碍的改善恢复具有较好的临床疗效^[16,17]。本研究结果也显示,2组患者在治疗4周和治疗8周后,其FIM评分、上肢FMA-U评分均显著优于治疗前,说明单纯运动康复疗法、运动想象训练联合单纯运动康复疗法能够改善卒中后上肢功能障碍。且经运动想象训练联合单纯运动康复疗法干预的患者在上述量表得分上升更明显,更有利于改善患者上肢功能和增强患者生活独立性,提高患者生活质量。综上,本研究认为运动想象训练联合单纯运动康复疗法的临床疗效更优于常规的单纯运动康复疗法。

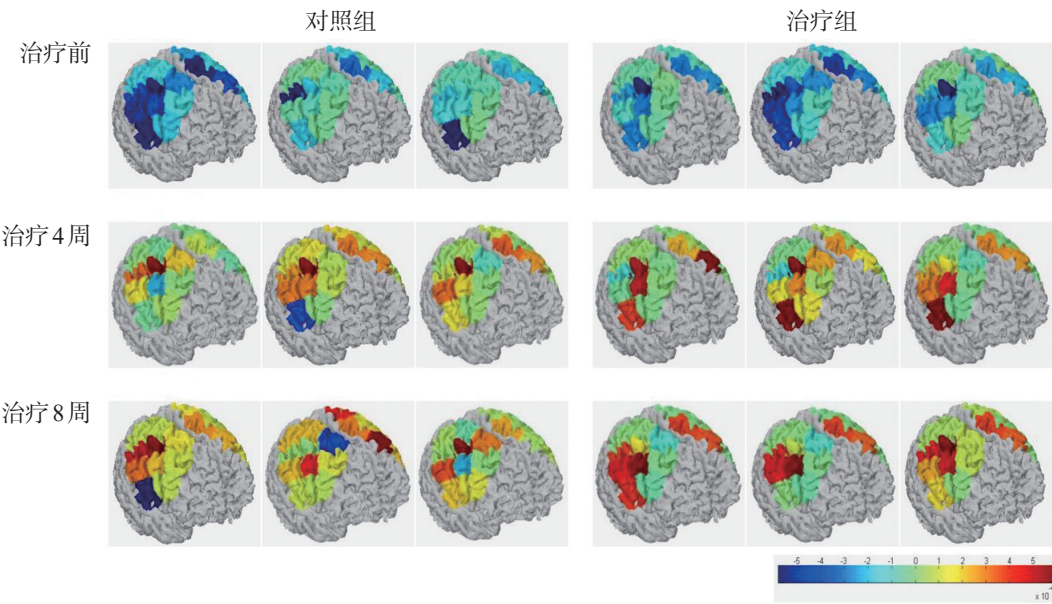
fNIRs 是非侵入性的测量大脑活动的新方法,与其他神经

成像技术相比具有高时间分辨率,显现出独特的优势^[18,19]。前期研究者多运用功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)来探讨运动想象的神经机制及脑区激活情况。Persichetti 等^[20]研究表明运动想象有可能直接影响初级运动皮质,且运动想象和运动执行对大脑相应的功能激活区域具有相似性(前运动皮质、辅助运动皮质、初级感觉区等);白学军等^[8]研究也表明运动想象状态和运动执行状态都会激活大脑前运动皮质、主运动皮质、辅助运动皮质。本研究拟利用 fNIRs 技术检测脑卒中后患者大脑皮质内血氧相对浓度变化,以此分析脑区相关部位神经元活动情况。本研究 fNIRs 血流动力学结果显示,通过康复治疗后,2组主要激活了患者大脑皮质运动区和运动前区。并且,治疗组在大脑皮质运动区和运动前区呈现的颜色多为深红色,提示运动想象训练联合单纯运动康复疗法可使特定脑区激活更明显。表明激活大脑皮质运动区和运动前区可能是运动想象训练有效改善脑卒中后上肢功能障碍的脑功能机制之一,这与既往的研究结果基本一致^[21]。

综上所述,运动想象训练联合单纯运动康复疗法能有效改善脑卒中后上肢功能障碍症状,其治疗效果优于单纯运动康复疗法;脑卒中后上肢功能障碍患者大脑皮质运动区、运动前区皮质活动多表现为抑制状态;单纯运动康复训练、运动想象训练联合运动康复训练均能激活上述相关脑区功能活动,且后者激活效果更显著,这种通过调节大脑皮质特定脑区功能活动,增强细胞代谢,促使脑卒中患者脑区血流动力学变化,可能是有效改善脑卒中后上肢功能障碍的脑功能机制之一。同时本研究也存在不足,如未能有效体现 fNIRs 时效性的优势,只是通过一段时间的累积效应进行探讨,后续可在康复治疗过程中,对患者特定脑区活动的情况作进一步脑功能研究。

参考文献

[1] Wu S, Wu B, Liu M, et al. Stroke in China: advances and challenges in epidemiology, prevention, and management[J]. Lancet Neurol, 2019, 18: 394-405.
[2] 彭琴,李海玲,王媛,等. 1990—2016年中国人群脑血管病疾病负担



注:上图为 Oxy-Hb 浓度 (mmol/L) 变化的 fNIRs 三维脑成像图,蓝色表示该处大脑皮质活动受到抑制,红色表示该处大脑皮质活动较为活跃。每组随机选取 3 名患者的检测结果进行展示。
图 2 2 组患者在治疗前、治疗 4 周和 8 周后大脑额区皮质活动状态

变化趋势[J].中华流行病学杂志, 2019, 40: 400-405.

[3] GBD 2016 Neurology Collaborators. Global, regional, and national burden of neurological disorders, 1990-2016: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2016[J]. *Lancet Neurol*, 2019, 18: 459-480.

[4] Winstein CJ, Stein J, Arena R, et al. Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association[J]. *Stroke*, 2016, 47: e98-e169.

[5] 田艳萍, 李涓, 黄依杰, 等. 脑卒中运动想象近十年研究的可视化分析[J]. *中国康复理论与实践*, 2021, 27: 60-66.

[6] 薛炘, 张丽, 金雪明, 等. 脑卒中患者上肢功能恢复与认知训练的关系[J]. *神经损伤与功能重建*, 2020, 15: 210-212.

[7] 刘宝根, 周兢, 李菲菲. 脑功能成像的新方法—功能性近红外光谱技术(fNIRs)[J]. *心理科学*, 2011, 34: 943-949.

[8] 顾丽燕, 姚丽华, 尤桂杰, 等. 近红外光谱技术用于运动和运动想象时大脑皮质血氧反应监测的研究[J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26: 724-727.

[9] 白学军, 张琪涵, 章鹏, 等. 基于fNIRs的运动执行与运动想象脑激活模式比较[J]. *心理学报*, 2016, 48: 495-508.

[10] 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2014[J]. *中华神经科杂志*, 2015, 48: 246-257.

[11] 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. 中国脑出血诊治指南(2014)[J]. *中华神经科杂志*, 2015, 48: 435-444.

[12] Hoshi Y, Kobayashi N, Tamura M. Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model[J]. *J Appl Physiol*(1985), 2001, 90: 1657-1662.

[13] 中国心血管健康与疾病报告编写组, 胡盛寿. 中国心血管健康与疾病报告2020概要[J]. *中国循环杂志*, 2021, 36: 521-545.

[14] Ladda AM, Lebon F, Lotze M. Using motor imagery practice for improving motor performance-A review[J]. *Brain Cogn*, 2021, 150: 105705.

[15] Dickstein R, Deutsch JE. Motor imagery in physical therapist practice [J]. *Phys Ther*, 2007, 87: 942-953.

[16] Guerra ZF, Lucchetti Alessandra LG, Lucchetti G. Motor Imagery Training After Stroke: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials[J]. *J Neurol Phys Ther*, 2017, 41: 205-214.

[17] 韩晴, 徐宁, 庄贺, 等. 运动想象疗法在卒中后运动功能障碍康复的研究进展[J]. *中国康复*, 2021, 36: 372-375.

[18] Tak S, Ye JC. Statistical analysis of fNIRs data: a comprehensive review[J]. *Neuroimage*, 2014, 85: 72-91.

[19] Sasai S, Homae F, Watanabe H, et al. A NIRS-fMRI study of resting state network[J]. *Neuroimage*, 2012, 63: 179-193.

[20] Persichetti AS, Avery JA, Huber L, et al. Layer-Specific Contributions to Imagined and Executed Hand Movements in Human Primary Motor Cortex[J]. *Curr Biol*, 2020, 30: 1721-1725.

[21] 程欣欣, 高润, 刘莉. 基于运动想象疗法的神经机制在脑卒中后运动功能障碍中的研究进展[J]. *中国康复*, 2019, 34: 324-327.

(本文编辑:唐颖馨)

(上接第333页)

[29] Lip GY, Freedman B, De Caterina R, et al. Stroke prevention in atrial fibrillation: Past, present and future[J]. *Thromb Haemost*, 2017, 117: 1230-1239.

[30] Rebello LC, Bouslama M, Haussen DC, et al. Stroke etiology and collaterals: atheroembolic strokes have greater collateral recruitment than cardioembolic strokes[J]. *Eur J Neurol*, 2017, 24: 762-767.

[31] Yoon W, Kim SK, Park MS, et al. Endovascular treatment and the outcomes of atherosclerotic intracranial stenosis in patients with hyperacute stroke[J]. *Neurosurgery*, 2015, 76: 680-686.

[32] Lee JS, Hong JM, Lee KS, et al. Primary stent retrieval for acute intracranial large artery occlusion due to atherosclerotic disease[J]. *J Stroke*, 2016, 18: 96-101.

[33] Roth C, Papanagiotou P, Behnke S, et al. Stent-assisted mechanical recanalization for treatment of acute intracerebral artery occlusions[J]. *Stroke*, 2010, 41: 2559-2567.

[34] Giray S, Ozdemir O, Baş DF, et al. Does stroke etiology play a role in predicting outcome of acute stroke patients who underwent endovascular treatment with stent retrievers[J]? *J Neurol Sci*, 2017, 372: 104-109.

[35] Libby P. Inflammation in atherosclerosis[J]. *Nature*, 2002, 420: 868-874.

[36] Kang DH, Kim YW, Hwang YH, et al. Instant reocclusion following mechanical thrombectomy of in situ thromboocclusion and the role of low-dose intra-arterial tirofiban[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2014, 37: 350-355.

[37] Li H, Zhang Y, Zhang L, et al. Endovascular treatment of acute ischemic stroke due to intracranial atherosclerotic large vessel occlusion: a systematic review[J]. *Clin Neuroradiol*, 2020, 30: 777-787.

[38] 刘基, 王蒙恩, 惠鑫, 等. 急性前循环缺血性卒中血管内治疗再通后不良预后的影响因素分析[J]. *神经损伤与功能重建*, 2022, 17: 13-16.

[39] Saver JL, Goyal M, van der Lugt A, et al. Time to treatment with endovascular thrombectomy and outcomes from ischemic stroke: a meta-analysis[J]. *JAMA*, 2016, 316: 1279-1288.

[40] Baek JH, Kim BM, Heo JH, et al. Outcomes of Endovascular Treatment for Acute Intracranial Atherosclerosis-Related Large Vessel Occlusion[J]. *Stroke*, 2018, 49: 2699-2705.

[41] Sun B, Shi Z, Pu J, et al. Effects of mechanical thrombectomy for acute stroke patients with etiology of large artery atherosclerosis[J]. *J Neurol Sci*, 2019, 396: 178-183.

[42] Guglielmi V, LeCouffre NE, Zinkstok SM, et al. Collateral circulation and outcome in atherosclerotic versus cardioembolic cerebral large vessel occlusion[J]. *Stroke*, 2019, 50: 3360-3368.

[43] Goyal M, Menon BK, van Zwam WH, et al. Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: a meta-analysis of individual patient data from five randomised trials[J]. *Lancet*, 2016, 387: 1723-31.

[44] Kim SJ, Ryoo S, Kim GM, et al. Clinical and radiological outcomes after intracranial atherosclerotic stroke: a comprehensive approach comparing stroke subtypes[J]. *Cerebrovasc Dis*, 2011, 31: 427-34.

(本文编辑:唐颖馨)