

·综述·

脑卒中后自主神经功能障碍康复评估中非侵入性检测技术的应用进展*

杨利军^{1,2} 汤昕未¹ 谢鸿宇¹ 吴军发¹ 吴毅^{1,3}

《2019年全球疾病负担研究的系统分析》显示全球步入老龄化社会,脑卒中是50岁以上人群的主要致残致死原因^[1]。自主神经功能障碍是脑卒中常见的并发症,临床可出现心率的变异、心律失常或心源性猝死、血压的变异、血管压力感受敏感性的变异、体温调节障碍、交感神经皮肤反应异常、泌尿生殖和胃肠道功能障碍^[2]。临床诊治往往注重运动、感觉、言语、认知等功能的恢复,忽略了自主神经功能障碍的康复治疗干预。然而,越来越多的证据表明,脑卒中后自主神经功能障碍引起的心律失常、心源性猝死、心肌损害增加了病死率,而造成的其他功能障碍不同程度延长了患者的康复进程。虽然脑卒中后自主神经功能障碍十分常见,仍缺乏有效的检测评估及治疗指南^[3]。

自主神经非侵入性检测技术能够在康复早期精准诊断脑卒中后自主神经功能障碍并可以评估康复治疗效果。本文就心率变异性、脉搏变异性、交感神经皮肤反应、光学相干断层扫描及光学相干断层扫描血管造影等非侵入性检测技术在脑卒中后自主神经功能障碍评估中的应用做一综述。

1 心率变异性(heart rate variability,HRV)

HRV是指连续心跳之间的时间间隔变化,是一种非侵入性、无痛、经济且简便的自主神经功能障碍检测方法。1996年,欧洲心脏病学会和北美起搏与电生理学会特别工作组确定了HRV测量标准如下,在安静环境下,室温在20—24℃,湿度在40%—60%,通过连续心电监测记录5min或24hRR间期变化,采用线性或非线性软件分析法进行测算。其中线性分析法分为时域分析法、频域分析法、时频分析法;非线性分析法为散点图法、非线性参数估算法、非线性预测与建模法。线性分析法包括时域参数及频域参数分析,其中时域参数包括正常24hRR间期(简称NN间期)的标准差(the standard deviation of all NN intervals,SDNN)、每5min阶段正常RR间期平均值标准差(the standard deviation of all NN intervals,SDANN)、相邻RR间期差值的均方根(root mean square of successive differences,RMSSD)、相

邻NN之差>50ms的个数占总窦性心搏个数的百分比(the percentage of pairs of adjacent normal-to-normal R-R intervals differing by>50ms, PNN50)和HRV三角形指数(HRV triangular index)。SDNN代表HRV整体变化而RMSSD则代表迷走神经(副交感神经)的活性。频域参数包括低频段(low frequency, LF, 0.04Hz—0.15Hz)主要反映了交感神经与迷走神经的交互影响,表现为压力感受器变化。高频段(high frequency, HF, 0.15Hz—0.40Hz)反映副交感神经或迷走神经活性。儿童与婴儿的HF频段则为0.24Hz—1.04Hz。LF/HF通常反映交感神经—迷走神经平衡^[4]。但是由于LF及LF/HF易受呼吸影响而导致结果的不准确,因此有研究建议采用HRV指数,如迷走神经张力指数(即RMSSD,峰谷和HF—HRV)^[5]。也有研究建议用心率加速力(acceleration capacity, AC)和心率减速力(deceleration capacity, DC)定量检测自主神经功能来弥补HRV现有检测的不足^[6]。非线性分析法目前还处于研究阶段。

Korpelainen JT^[7]在1996年一项前瞻性研究中发现,HRV时域及频域参数在脑卒中急性期、恢复期及后遗症期均降低,反映了自主神经功能障碍可以在脑卒中发生后很长一段时间内存在。Kodama T等^[8]进行的一项动物实验研究显示,HRV在评估大鼠急性脑卒中自主神经功能方面具有高敏感性(82%)和特异性(75%)。Chen PL等利用HRV对不同类型的急性脑卒中检测发现大动脉性脑卒中自主神经功能障碍更严重,表现为HF降低、LF升高、LF/HF升高,提示副交感神经功能降低及较差的预后^[9]。Yperzele L等^[10]在一项脑卒中的回顾性研究中分析了10项HRV指标,其结果显示发生自主神经功能障碍的脑卒中患者预后不良,病死率升高。上述的基础研究及临床研究不仅证实了HRV能够检测脑卒中自主神经功能在不同时间节点的变化,并可以在一定程度上预测患者的预后。临床上目前有两种HRV分析方式:短期HRV分析操作简单,其突出优点是可以在几分钟内跟踪自主神经功能的动态变化,长期HRV分析的最大优势是其评估自主神经功能变化的稳定性。

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2024.04.024

*基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFC2001700);上海市科学技术委员会项目(20412420200);上海市临床重点专科项目(腾飞计划编号:shslczdk02702)

1 复旦大学附属华山医院康复医学科,上海市,200135; 2 济宁市兖州区人民医院康复医学科; 3 通讯作者

第一作者简介:杨利军,男,副主任医师; 收稿日期:2021-09-04

不仅如此, Scherbakov N等^[11]研究发现脑卒中后3周, 1/5的入组患者会出现自主神经功能失衡, 脑卒中后自主神经功能失衡患者早期康复效果明显降低。同时, 这项研究建议将HRV作为脑卒中后自主神经障碍恢复的检测标准。Vernieri F等^[12]通过HRV检测证实低频经颅磁刺激使健康受试者基础脑血流量降低, 进而引起两侧脑血管舒缩反应性增强, 交感神经活性降低, 这也说明HRV可作为中枢神经调节干预的检测指标之一。Carandina A等^[13]在急性脑卒中动物模型和慢性缺血性脑卒中患者中, 通过分析HRV来评估迷走神经刺激(vagus nerve stimulation, VNS)的神经调控效果, 肯定了HRV在脑卒中后自主神经功能障碍的神经调控治疗中的监测可靠性。

临床康复中发现脑卒中伴有意识障碍的患者常会出现更加严重的交感神经过度兴奋综合征(paroxysmal sympathetic hyperactivity, PSH)。这类自主神经功能障碍, 又进一步阻碍康复进程、增加病死率及致残率。HRV能否准确反映及早期识别这类严重自主神经功能障碍呢? Kiryachkov等^[14]在一项研究中选取了66例存在意识障碍的重症脑损伤(主要包括脑外伤及脑卒中)患者, 由重症监护室转到康复治疗单元系统康复前、后分别进行两次HRV检测。研究发现自主神经功能正常的患者意识状态和脑功能相对较好, 伴有自主神经功能障碍(包括交感神经过度兴奋、副交感神经过度兴奋)患者的意识状态及脑功能则较差。而经过康复治疗部分自主神经功能障碍的患者HRV恢复正常, 意识状态及脑功能状态也出现好转。HRV不仅反映了重症脑损伤患者的自主神经功能水平及康复治疗后的效果, 还体现出康复治疗在改善重症脑损伤伴意识障碍患者的自主神经功能的同时也改善了意识水平。

HRV是目前在康复领域应用最为广泛的非侵入性自主神经功能检测技术, 具有客观、准确、方便快速等的优点。但是其基于心率变异来检测自主神经活动的特性, 也决定了其局限性, 只能直接反映迷走神经(心迷走)的功能, 受呼吸等因素影响不能全面反映全身交感/副交感的总体情况。

2 脉搏变异性(pulse rate variability, PRV)

PRV是指从脉搏波形测量脉搏速率随时间的变化^[15]。目前功能性近红外技术(functional near infrared spectroscopy, fNIRS)和光电容积脉搏波描记法(photoplethysmography, PPG)是两种最佳PRV采样技术。具体方法是将fNIRS传感器置于头部或PPG传感器置于指尖或手腕(桡动脉处), 通过传感器采集周围血管红细胞血红蛋白动态变化从而反映PRV^[16]。多项研究报道了使用PPG技术获取的PRV信息来反映HRV的信息, 进而反映心脏自主神经功能的变化^[17]。Iyriboz Y等^[18]研究发现, PPG能够准确显示健康人群在静息

及运动时(HR<155次/分)的心率(HR)。Bolanos M等^[19]比较通过PRV测算的HRV参数与通过电极片采集测算的HRV参数, 显示PRV可以替代传统HRV来反映自主神经功能。Weinschenk SW等^[20]、LU等^[21]及Keet SW等^[22]多项研究中证实了PRV与HRV静息状态的高度一致性。Verma AK等^[23]的研究不仅证实PRV与HRV在反映健康人自主神经功能方面高度一致, 也在脑卒中患者检测中发现, 两种检测方式在患者坐位时高度一致性。Mejía-Mejía E等^[24]研究证实, PRV与HRV在周围温度变化时差异性增大, 而在耳垂或耳道采集PRV信息可以明显减小周围温度对两者差异度的影响, 并且PRV可以预测脑卒中康复进程中自主神经功能障碍所致跌倒的风险。PPG技术由可穿戴发展到非接触, 又由非接触发展到远程非接触。Wang W等^[25]就已经将远程PPG技术应用于PRV等的试验中, 可以通过人脸及皮肤血管采集生物信息并通过软件分析得到相关的PRV参数, 完全不受空间限制。未来的PRV已经超出了传统的脉搏的测量, 通过全身皮肤血管的信息采集, 实现对机体自主神经功能实时监测, 这就为自主神经的康复精准评估和远程监控创造了条件。

PRV和HRV同是通过直接反映心脏迷走神经功能来体现自主神经整体功能的变化。PRV则有着及全方位远程实时监测的凸显优势, 代替HRV广泛应用于临床及社区康复可期。

3 交感神经皮肤反应(sympathetic skin response, SSR)

SSR是指内在或外在刺激引起的皮肤电位瞬间变化, 最终导致汗腺的立毛肌收缩、汗腺分泌发生改变。SSR是一种用于评估交感神经功能的客观检查方法, 它直接反映交感神经节后纤维的功能状态。交感神经介导的汗腺分泌环路中的任何损伤都可能导致SSR异常。检查要求室温22°C—24°C以上, 受试者皮肤温度34°C—36°C以上, 取仰卧位。上肢刺激电极可放在一侧手腕的正中神经上, 记录电极置于对侧手心, 参考电极置于对侧手背; 下肢可刺激一侧胫后神经, 记录电极置于对侧足心, 参考电极置于对侧足背, 通常以15mA—20mA的电流强度开始刺激, 刺激持续时间设置为0.1ms, 连续刺激4次, 并测量潜伏期和波幅的平均值。异常的指标包括: SSR潜伏期延长超过2.5个标准差、波幅降低或未引出波形^[26]。Shahani BT等^[27]首先描述了这种反应现象后, SSR在自主神经功能障碍的研究随之增多。Łabuz-Roszak B等^[28]研究证实了SSR在评估脑卒中后自主神经功能障碍上优于自主神经系统的评估问卷及心血管反射测试。Korpelainen JT等^[29]对58例脑卒中患者研究发现, 脑卒中患者中单侧皮层损伤可能导致双侧SSR抑制或延迟, 研究还发现脑卒中除了引起交感神经亢进, 也能引起交感神经的抑制。Çakır T等^[30]也发现了在脑卒中患者中偏瘫侧上下肢

SSR 波幅降低、缺失及潜伏期延长的现象。

SSR 除了有助于诊断脑卒中后自主神经功能中交感神经功能障碍,还可应用于脑卒中后因交感神经障碍引起的复杂性区域性疼痛综合征(complex regional pain syndrome, CRPS)的评估。交感神经功能障碍是 CRPS 发生的重要因素^[31],明晰交感神经功能障碍在 CRPS 发生发展中的具体作用可以帮助临床找到更有效的 CRPS 治疗方法。Kim HJ 等^[32]的病例对照研究证实了 SSR 同时有诊断和预测 CRPS 的临床价值。Yavuz Keleş B 等^[33]研究发现,在对脑卒中后 CRPS 患者进行冷温水交替浴的干预治疗后临床症状缓解,瘫痪手的 SSR 均明显减低,提示交感神经功能障碍在脑卒中后 CRPS 病理生理过程的重要作用,并且冷温水交替浴对 CRPS 有显著的治疗作用。

脑卒中后交感神经功能障碍以及与交感神经功能障碍相关的 CRPS 可应用 SSR 辅助诊断、预测及评估治疗效果,但 SSR 不能反映副交感神经功能的变化,在评价患者自主神经整体功能时还需要结合 HRV 等能准确反映副交感神经功能的相应检查手段来补充。此外,患者皮肤厚度、汗液代谢障碍(如无汗症)等也会影响或限制 SSR 的临床应用。

4 光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)及光学相干断层扫描血管造影(optical coherence tomography angiography, OCT-A)

OCT 最初是为定位光纤网络故障而开发的一种干涉成像技术,通过 fNIRS 从外部检测通讯电缆并形成微米级高分辨率组织的横截面图像,并很快被应用于生物学领域^[34]。Sun L 等^[35]评估了 29 例健康受试者在 Valsalva (VM) 不同阶段的眼压、Schlemm 管(SC)、自主神经系统活动和虹膜角膜角形态的变化,发现在 OCT 所测 SC 面积、瞳孔直径以及虹膜角膜角度参数结果并以 HRV 检测结果作为参照,得出结论 OCT 检测 VM 不同时相 SC 的扩张和塌陷可以反映副交感神经功能变化,而副交感神经的激活可以引起 SC 的塌陷。

十年来,随着纳米及微米激光技术、近红外光学技术和计算机软件图像处理技术的快速发展,基于 OCT 技术上开发的 OCT-A 能够通过无接触、非侵入性检测及组织内部微结构的横断面图像和三维立体成像,高分辨地显示最小视网膜毛细血管红细胞的动态变化^[36],这在 OCT 临床应用上是一项质的飞跃。OCT-A 凭借快速、无创可视化、最小的血管微观动态定量分析及高重复性等优势迅速在眼科及其他许多学科(包括神经病学、心脏病学、血管外科、重症监护医学、运动医学)中推广应用开来^[37]。有研究证实,因脉络膜微血管富含大量 α -肾上腺素受体,其对交感神经功能的细微变化就会做出快速反应^[38]。Jendzjowsky NG 等^[39]对 11 例健康受试者在缺氧、高氧、高氧高碳酸、过度换气、呼气末屏气及冷

加压等不同交感神经刺激测试中,同时记录受试者外周肌肉微神经造影检测的外周肌肉交感活性(muscle sympathetic nerve activity, MSNA)、OCT-A 扫描脉络膜血管灌注密度(vascular perfusion density, VPD)与 HRV。这项研究证实 MSNA 和 OCT-A 扫描的脉络膜 VPD 之间的相关性远远超过 MSNA 和 HRV。脉络膜 VPD 的减少直接反映了交感神经活性的增强,而 HRV 则是间接反映交感神经的活性。这说明了 OCT-A 作为一种新型非侵入性方法具有在临床和研究中监测交感神经活性的潜力。Kwapong WR 等^[40]利用 OCT-A 检测 16 例脑卒中后白质病变非痴呆患者发现其脉络膜 VPD 较 20 例健康受试者显著降低,提示脑卒中后白质病变受试者的交感神经活性增强。

脉络膜微血管富含大量 α -肾上腺素受体,而去甲肾上腺素对于 α -肾上腺素受体作用更为敏感,脉络膜 VPD 降低更能直接反映交感神经的活性增加。OCT 及 OCT-A 可以精准测量脉络膜 VPD 变化,这为直接反映脑卒中后交感神经活性提供了一条非侵入性检测思路,可以跟交感神经检测金标准儿茶酚胺检测做对比研究。

5 小结与展望

脑卒中后难治性房颤、心源性猝死、PSH 发作、CRPS、多汗症、顽固性吞咽障碍、尿失禁、性功能障碍等与自主神经功能障碍有直接的关系,因此,早期识别及干预自主神经功能障碍对改善这类患者的预后尤为重要。本文所述前两种技术能够通过直接准确反映副交感神经活性来评估脑卒中后自主神经功能障碍,其中 HRV 依然是目前临床上应用较成熟的方法,在重症脑损伤(主要包括脑外伤及脑卒中)后严重自主神经功能障碍伴意识障碍的康复治疗中也能准确反映干预效果和预后。随着远红外及激光成像技术、软件处理技术、远程监测技术快速发展,PRV 可能完全替代 HRV,可全时段、全方位监测脑卒中后患者自主神经功能变化,能早期识别脑卒中后自主神经功能障碍并可以评估其康复干预效果。SSR 可直接反映交感神经活性,在脑卒中后交感神经障碍引起的 CRPS 诊断、预测及干预效果的评估中优势突出。OCT 及 OCT-A 能够通过检测脉络膜 VPD 动态变化反映交感神经的活性,期待更多在脑卒中后自主神经功能障碍应用研究。同时四种自主神经功能检测技术均具有非侵入性、简便易操作性、价格低廉便携性等优点,便于临床普及。

参考文献

- [1] Theo Vos, Stephen S Lim, Cristiana Abbatfati, et al. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990—2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019[J]. Lancet, 2020, 396(10258):1204—1222.

- [2] Al-Qudah ZA, Yacoub HA, Souayah N. Disorders of the autonomic nervous system after hemispheric cerebrovascular disorders: An Update[J]. *Journal of Vascular and Interventional Neurology*, 2015, 8(4):43—52.
- [3] Mo J, Huang L, Peng J, et al. Autonomic disturbances in acute cerebrovascular disease[J]. *Neurosci Bull*, 2019, 35(1): 133—144.
- [4] Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms[J]. *Frontiers in Public Health*, 2017 (5):258.
- [5] Laborde S, Mosley E, Thayer JF. Heart rate variability and cardiac vagal tone in psychophysiological research-recommendations for experiment planning, data analysis, and data reporting[J]. *Front Psychol*, 2017, 20(8):213.
- [6] Xu YH, Wang XD, Yang JJ, et al. Changes of deceleration and acceleration capacity of heart rate in patients with acute hemispheric ischemic stroke[J]. *Clin Interv Aging*, 2016, 11(11):293—298.
- [7] Korpelainen JT, Sotaniemi KA, Huikuri HV, et al. Abnormal heart rate variability as a manifestation of autonomic dysfunction in hemispheric brain infarction[J]. *Stroke*, 1996, 27(20):59—63.
- [8] Kodama T, Kamata K, Fujiwara K, et al. Ischemic stroke detection by analyzing heart rate variability in rat middle cerebral artery occlusion model[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2018, 26(11):52—60.
- [9] Chen PL, Kuo TB, Yang CC. Parasympathetic activity correlates with early outcome in patients with large artery atherosclerotic stroke[J]. *J Neurol Sci*, 2012, 3(14):57—61.
- [10] Yperzeel L, van Hooff RJ, Nagels G, et al. Heart rate variability and baroreceptor sensitivity in acute stroke: a systematic review[J]. *Int J Stroke*, 2015, 10(6):796—800.
- [11] Scherbakov N, Barkhudaryan A, Ebner N, et al. Early rehabilitation after stroke: relationship between the heart rate variability and functional outcome[J]. *ESC Heart Fail*, 2020, 7(5):2983—2991.
- [12] Vernieri F, Altamura C, Palazzo P, et al. 1Hz repetitive transcranial magnetic stimulation increases cerebral vasomotor reactivity: a possible autonomic nervous system modulation[J]. *Brain Stimul*, 2014, 7(2):281—286.
- [13] Carandina A, Lazzeri G, Villa D, et al. Targeting the autonomic nervous system for risk stratification, outcome prediction and neuromodulation in ischemic stroke[J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(5):2357.
- [14] Kiryachkov YY, Grechko AV, Kolesov DL, et al. Monitoring of the effectiveness of intensive care and rehabilitation by evaluating the functional activity of the autonomic nervous system in patients with brain damage[J]. *Obšā Reanimatologĭa*, 2018, 14(4) : 21—34.
- [15] Yuda E, Shibata M, Ogata Y, et al. Pulse rate variability: a new biomarker, not a surrogate for heart rate variability[J]. *Journal of Physiological Anthropology*, 2020, 39(1):479—484.
- [16] Allen J. Photoplethysmography and its application in clinical physiological measurement[J]. *Physiol Meas*, 2007, 28(3):1—39.
- [17] Georgiou K, Larentzakis AV, Khamis NN, et al. Can wearable devices accurately measure heart rate variability? a systematic review[J]. *Folia Medica*, 2018, 60(1):7—20.
- [18] Iyriboz Y, Powers S, Morrow J, et al. Accuracy of pulse oximeters in estimating heart rate at rest and during exercise[J]. *Br J Sports Med*, 1991, 25(3):162—164.
- [19] Bolanos M, Nazeran H, Haltiwanger E. Comparison of heart rate variability signal features derived from electrocardiography and photoplethysmography in healthy individuals [J]. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2006:4289—4294.
- [20] Weinschenk SW, Beise RD, Lorenz J. Heart rate variability (HRV) in deep breathing tests and 5-min short term recordings: agreement of ear photoplethysmography with ECG measurements, in 343 subjects[J]. *Eur J App*, 2016, 116(15):27—35.
- [21] Lu S, Zhao H, Ju K, et al. Can photoplethysmography variability serve as an alternative approach to obtain heart rate variability information?[J], *J Clin Monit Comput*, 2008, 22(1):23—29.
- [22] Keet SW, Bulte CS, Sivanathan A, et al. Cardiovascular autonomic function testing under non-standardised and standardised conditions in cardiovascular patients with type-2 diabetes mellitus[J]. *Anaesthesia*, 2014, 69(5):476—483.
- [23] Verma AK, Aarotale PN, Dehkordi P, et al. Relationship between Ischemic Stroke and Pulse Rate Variability as a Surrogate of Heart Rate Variability[J]. *Brain Sci*, 2019, 9(7):162.
- [24] Mejia-Mejía E, Budidha K, Abay TY, et al. Heart rate variability (HRV) and pulse rate variability (PRV) for the assessment of autonomic responses[J]. *Frontiers in Physiology*, 2020, 11:779.
- [25] Wang W, den Brinker AC, de Haan G. Discriminative signatures for remote-PPG[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2020, 67(5):1462—1473.
- [26] Li X, Wang C, Zhang X, et al. The value of sacral reflex and sympathetic skin reflex in the diagnosis of multiple system atrophy p-type[J] *Parkinsons Dis*, 2021, 1(20): 6646259.
- [27] Shahani BT, Halperin JJ, Boulu P, et al. Sympathetic skin response—a method of assessing unmyelinated axon dysfunction

- tion in peripheral neuropathies[J]. Journal of Neurology, and Psychiatry, 1984, 47(5):536—542.
- [28] Łabuz-Roszak B, Pierzchała K. Stroke induces disturbances of autonomic system function[J]. Neurol Neurochir Pol, 2007, 41(6):495—503.
- [29] Korpelainen JT, Tolonen U, Sotaniemi KA, et al. Suppressed sympathetic skin response in brain infarction[J]. Stroke, 1993, 24(9):1389—1392.
- [30] Çakır T, Evcik FD, Subaşı V, et al. Investigation of the H reflexes, F waves and sympathetic skin response with electromyography (EMG) in patients with stroke and the determination of the relationship with functional capacity[J]. Acta Neurol Belg, 2015, 115(3):295—301.
- [31] Knudsen LF, Terkelsen AJ, Drummond PD, et al. Complex regional pain syndrome: a focus on the autonomic nervous system[J]. Clinical Autonomic Research, 2019, 29(4):457—467.
- [32] Kim HJ, Yang HE, Kim DH, et al. Predictive value of sympathetic skin response in diagnosing complex regional pain syndrome: a case-control study[J]. Annals of Rehabilitation Medicine, 2015, 39(1):116—121.
- [33] Yavuz Keleş B, Önder B, Kesiktaş FN, et al. Acute effects of contrast bath on sympathetic skin response in patients with poststroke complex regional pain syndrome[J]. Somatosensory & Motor Research, 2020, 37(4):320—325.
- [34] Fercher AF, Mengedocht K, Werner W. Eye-length measurement by interferometry with partially coherent light[J]. Opt Lett, 1988, 13(3):186—188.
- [35] Sun L, Chen W, Chen Z, et al. Dual effect of the Valsalva maneuver on autonomic nervous system activity, intraocular pressure, Schlemm's canal, and iridocorneal angle morphology[J]. BMC Ophthalmology, 2020, 20(71):448—451.
- [36] Kashani AH, Chen CL, Gahm JK, et al. Optical coherence tomography angiography: A comprehensive review of current methods and clinical applications[J]. Progress in Retinal and Eye Research, 2017, 60:66—100.
- [37] Alnawaiseh M. Optical coherence tomography angiography for evaluation of the microcirculation in systemic diseases [J]. Der Ophthalmologe, 2019, 116(8):712—713.
- [38] Delaey C, Van de Voorde J. Regulatory Mechanisms in the Retinal and Choroidal Circulation[J]. Ophthalmic Research, 2000, 32(6):249—256.
- [39] Jendzjowsky NG, Steinback CD, Herman RJ, et al. Functional-optical coherence tomography: a non-invasive approach to assess the sympathetic nervous system and intrinsic vascular regulation[J]. Front Physiol, 2019, 12(10):1146.
- [40] Kwapong WR, Gao Y, Yan Y, et al. Assessment of the outer retina and choroid in white matter lesions participants using swept-source optical coherence tomography[J]. Brain and Behavior, 2021;11(8):e2240.

(上接第 588 页)

- and traditional surgical techniques[J]. Indian J Otolaryngol Head Neck Surg, 2019, 71(1):136—139.
- [14] Kajtazi NI, Manzoor MU, Ghamdi JA, et al. Right cerebellar stroke with a right vertebral artery occlusion following an embolization of the right glomus tympanicum tumor: Case report with literature review[J]. Journal of Cerebrovascular and Endovascular Neurosurgery, 10.7461/jcen.2022.E2021.11.002.
- [15] 黄卓珊, 张大明, 王友元, 等. 早期吞咽训练对舌癌术后吞咽障碍及生活质量的影响[J]. 中国口腔颌面外科杂志, 2017, 15(3):249—253.
- [16] Cheesman AD, Kelly AM. Rehabilitation after treatment for jugular foramen lesions[J]. Skull Base, 2009, 19(1):99—108.
- [17] Walker DD, Babu S. Temporal bone paraganglioma: hearing outcomes and rehabilitation[J]. J Neurol Surg B Skull Base, 2019, 80(2):209—213.
- [18] 赵珏瑛, 赵薇. 颈静脉球瘤术后吞咽障碍患者早期康复训练对减少误咽的效果评价[J]. 实用临床护理学电子杂志, 2020, 21:125.
- [19] Papaspyrou K, Mewes T, Rossmann H, et al. Head and neck paragangliomas: Report of 175 patients (1989—2010) [J]. Head Neck, 2012, 34(5):632—637.
- [20] Contrera KJ, Yong V, Reddy CA, et al. Recurrence and progression of head and neck paragangliomas after treatment [J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 2020, 162(4):504—511.
- [21] Lior U, Rotem H, Uzi N, et al. LINAC radiosurgery for glomus jugulare tumors: retrospective - cohort study of 23 patients[J]. Acta Neurochir (Wien), 2020, 162(4):839—844.