

听觉刺激联合近红外光谱技术在意识障碍评估中的应用进展

张宇璇¹ 崔洪星² 张皓¹ 李伟²

¹滨州医学院特殊教育与康复学院, 烟台 264003; ²滨州医学院附属医院康复医学科, 滨州 256603

通信作者: 李伟, Email: yishengliwei@163.com

【摘要】听觉刺激是一种非药理性、可有效改变患者环境认知的干预措施,目前常用于慢性意识障碍患者意识水平的精准评估及治疗。功能性近红外光谱技术(fNIRS)是一种时空分辨率高、抗电磁干扰性强、适用人群广、应用场景宽泛的非侵入性光学神经成像技术,利用其可以精准监测听觉刺激下意识障碍患者的脑血流变化。本文综述了近年来听觉刺激联合 fNIRS 在意识障碍评估中应用的研究现状,以期为意识障碍的评估提供参考。

【关键词】 意识障碍; 听觉刺激; 功能性近红外光谱技术; 认知评估

基金项目: 山东省自然科学基金面上项目(ZR2022MH063); 山东省中医药科技项目(Q-2022122)

Funding: General Program of Natural Science Foundation of Shandong Province(ZR2022MH063); Shandong traditional Chinese medicine science and technology project(Q-2022122)

DOI: 10.3760/cma.j.cn421666-20240310-00176

意识障碍的临床表现复杂,常见于脑损伤、脑卒中、药物中毒等,意识障碍患者的意识分级包括昏迷、无反应觉醒综合征(unresponsive wakefulness syndrome, UWS)/植物状态(vegetative state, VS)、微小意识状态(minimally conscious state, MCS)^[1]。目前临床常用的意识障碍评估方法包括行为学量表、神经电生理技术和神经影像学技术等^[2]。其中,昏迷恢复量表-修订版(coma recovery scale-revised, CRS-R)被认为是评估慢性意识障碍水平的“金标准”,但其必须由临床医生依据意识障碍患者表现出的行为学证据来进行判断,这就导致评估结果容易受评分者主观判断和环境因素的影响。有研究表明,若 CRS-R 评分可以降低 30%~45% 的误诊率,则在此基础上增加对大脑活动的检查可以进一步降低 30% 的误诊率^[3]。因此,如何更加客观、量化地评估意识障碍患者的意识状态,降低主观因素和外界环境因素的影响,受到了国内外学者们的广泛关注。

功能性近红外光谱技术(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)是一种无创、量化的功能神经影像学技术,研究者可以在静息态或不同任务态下检测大脑皮质的激活情况,利用这一技术不仅可以评估患者的预后水平,还能够评估其康复治疗效果。近年来,越来越多的学者尝试应用 fNIRS 技术来检测与评定大脑的意识状态,指导并优化临床诊疗方案。在意识障碍评估领域,听觉刺激作为触发任务被广泛应用于评估意识障碍患者的意识水平。临床上,将听觉皮质的激活情况与意识障碍水平进行比较,已经成为判断患者意识水平的一种重要方法^[4]。本文根据国内外的相关研究成果,总结了听觉刺激联合 fNIRS 在意识障碍评估中的应用进展,以期为意识障碍患者意识水平的精准评估提供参考。

听觉刺激概述

初级听觉皮质由水平回和颞上回组成,听神经的传入纤维穿过丘脑后形成外侧丘脑纤维,在脑干同侧,丘脑外侧纤维到

达内侧膝状体,发出神经纤维形成听觉辐射,最终到达初级皮质^[5]。听觉刺激作为一种感觉刺激,可以有效地激活听觉皮质,改变意识障碍患者的环境认知,辅助康复,有望成为判断患者意识状态的工具^[6]。有研究报道,CRS-R 行为学量表中的听觉惊吓和声音定位部分是衡量患者意识状态的重要指标,因部分患者对听觉刺激不能表现出临床行为,但在神经影像学上可以观察到其对声音刺激的反应,故听觉刺激在意识水平的评估方面具有一定的优势^[7]。

近年来,越来越多的研究者选择利用听觉刺激评估意识障碍患者的意识水平。Gorska 等^[4]使用包含有 4 Hz、6 Hz、8 Hz、12 Hz、20 Hz、40 Hz 振幅的 2 min 简单音调序列刺激受试者,记录了 9 例 UWS/Vs 和 8 例 MCS 患者的脑电图,并将获得的听觉稳态诱发电位与 CRS-R 诊断及其总分相关联,结果发现听觉系统的完整性是判断意识障碍患者实际意识水平的重要指标。有关听觉刺激的内容选择,一直是研究者们密切关注的问题。有研究对呼唤患者姓名与播放患者喜爱的音乐(从白噪声到不同音调的听觉刺激)的效果进行了比较,结果发现呼唤受试者姓名可能是最有效的听觉刺激方式^[8-9]。Kempny 等^[10]使用呼唤姓名的方式,对 5 例 UWS 患者和 11 例 MCS 患者进行了监测,结果发现,意识障碍患者的表现与对照组比较无显著差异,但在单个受试者中,有 4 例患者在听到呼唤自己和其他人姓名时有明显的反应。Heine 等^[11]发现意识障碍患者在听到自己喜欢的音乐时,听觉网络的功能连通性似乎较对照组更强,特别是在左中央前回和左背外侧前额叶皮质,提示意识障碍患者对喜欢的音乐更为敏感,播放其喜爱的音乐能更好地激活脑网络连接。在神经电生理方面,随着人们对事件相关电位(event-related potential, ERP)研究的深入,有研究者发现,失匹配负波(mismatch negative, MMN)作为听觉 ERP 的一种重要成分,其差异波幅值的大小和潜伏期的长短可以反映出意识障碍患者的意识水平^[12]。上述研究提示,听觉刺激对于评估意识障碍患者

的意识水平具有一定的现实意义。

fNIRS 在脑功能评价中的应用

fNIRS 是一种非侵入性光学神经成像技术,利用其能同时检测含氧血红蛋白 (oxyhemoglobin, HbO) 和脱氧血红蛋白 (deoxyhemoglobin, HbR) 的浓度变化,进而全面、精准地描述脑血流动力学的变化。相较于其它脑功能成像技术,如脑电图 (electroencephalography, EEG)、功能性磁共振成像 (functional magnetic resonance imaging, fMRI) 等, fNIRS 具有携带方便、操作简单、时空分辨率好等优点,非常适用于意识障碍患者血流动力学的重复监测^[13]。提示大脑神经活动的活跃性可以通过血氧含量的变化间接反映出来,从而获得意识障碍患者意识活动中的脑组织局部代谢及脑功能活动变化,且 fNIRS 尤其适用于听觉任务下的脑血流监测,利用光学技术测量脑血流中 HbO 和 HbR 的浓度变化,可以精准反映局部神经元群的代谢需求,间接测量神经活动^[14],这对研究人脑对声音刺激的加工处理过程有所助益。

fNIRS 目前在脑功能评价中的应用十分广泛。在认知障碍方面,利用 fNIRS 分析认知任务下的血氧状态,可以判断患者的认知水平。李梦等^[15]将 fNIRS 与运动想象范式结合,检测 5 例 MCS 患者和 6 例健康受试者对于“是”或“否”问题的响应状况,结果发现, fNIRS 联合运动想象范式可以用于评定 MCS 患者的脑认知功能活动,可作为评价 MCS 患者意识水平和隐蔽意识的客观指标。在精神障碍诊断方面,阳雨露等^[16]应用 fNIRS 探讨抑郁障碍、焦虑障碍、双相情感障碍和精神分裂症患者在言语流畅性任务下前额叶激活的特征,通过计算平均 HbO 浓度和初始斜率与临床症状之间的相关性,观察了不同精神疾病患者在言语流畅性任务下,前额叶不同脑区的脑血流变化特点。在情绪影响方面,有研究发现,精神障碍患者在情绪激发任务下,前额叶 HbO 浓度显著升高,且不同类型的情绪对前额叶皮质能够诱发出更明显的激活^[17],提示可将 fNIRS 响应信号作为疾病诊断的观察指标。在运动控制方面,鲁辉等^[18]为探究脑老化对老年人步行任务的影响,利用 fNIRS 检测健康老年人与青年人在不同步态任务下的脑血流变化,结果发现,老年人在步行时会出现右侧前额叶皮质的激活减弱,其相关脑区交互的功能连接值减少,分析认为这种现象可能与脑老化的早期脑网络激活模式有关。

fNIRS 可用于检测各部分脑区的功能连接情况,进而反映大脑的内部活动特征,并揭示大脑不同区域之间的协同作用^[19]。Shu 等^[20]借助 fNIRS 探索脑深部电刺激对意识障碍患者脑功能连接的影响,结果发现脑功能连接效率可能是判断意识障碍患者意识水平的重要指标。综上所述, fNIRS 在认知障碍、精神类疾病诊断、运动康复以及意识障碍康复等领域,具有重要的价值和广阔的前景。

听觉刺激联合 fNIRS 在意识障碍评估中的应用

目前,听觉刺激常用的刺激范式是组块范式和事件相关设计范式,但在意识障碍患者隐蔽意识的 fNIRS 评估中,尚缺乏可靠的范式。有研究者以呼唤患者姓名作为听觉刺激方式,利用组块任务范式评估意识障碍患者的意识水平,实验范式包

括初始基线 (60 s) 和 8 个区块,每个区块由 1 个任务期 (30 s) 和 1 个恢复期 (40 s) 组成,结果进一步证实了 fNIRS 在评估意识障碍患者隐蔽意识方面的可行性与可靠性^[21]。听觉 Oddball 范式是指在大量正常刺激中混入少量偏差刺激,以探索受试者对偏差刺激的反应^[22-23],其对 fNIRS 时间分辨率的要求较高,目前极少被用于评估意识障碍水平,若要检测 Oddball 范式所引起的脑血流变化,仍需克服许多技术挑战,如 fNIRS 的血流动力学反应延迟,其收集的信号一般在任务刺激后 5~6 s 才达到峰值^[24],这阻碍了 fNIRS 对 Oddball 范式引起的脑血流变化的精准捕捉。

Chen 等^[25]对意识障碍患者听觉皮质的激活状况进行了观察,结果发现不同音量的听觉刺激可以不同程度地促进皮质激活,提示 fNIRS 可以反映大脑处理不同听觉刺激时的差异。Gui 等^[26]对 MCS 患者与 UWS 患者进行了听觉语言层次上的隐蔽意识检测,结果发现患者的“隐蔽意识指数”差异会随着听觉语言层次水平的增加而增加。还有研究利用 fNIRS,比较了意识障碍患者和健康对照组在呼唤姓名任务和运动想象任务下,前额叶皮质血流动力学的差异,结果显示不同隐蔽意识水平的意识障碍患者对听觉刺激的血流动力学反应不同^[27]。提示 fNIRS 在评估意识障碍患者隐蔽意识方面的实用性较好。

有研究认为,音乐刺激可以引发 MCS 患者的皮质反应,其机制可能涉及意识、语言、情感和记忆等多个大脑网络^[28-31]。一项针对健康受试者的研究发现,利用 fNIRS 测量的 HbO 信号中的低频振荡 (low frequency oscillations, LFO) 频谱功率在音乐开始时增加,在音乐结束后下降^[32]。Bicciato 等^[33]为意识障碍患者播放其喜爱的音乐,将 LFO 作为生物标志物,利用 fNIRS 观察其血流动力学变化,结果提示 LFO 频谱功率有望成为评估神经危重症患者意识状态的指标。有研究者探索自然刺激与神经影像学结合评估意识障碍的可能性,将自然听觉刺激与 fNIRS 相结合,为健康受试者播放了 9 min 的经典故事、乱序的经典故事、古典音乐及乱序的古典音乐,结果表明自然听觉刺激可作为听觉刺激任务,用于识别意识障碍患者的高级处理能力和潜在意识。

Köchel 等^[34]基于 fNIRS 发现,源自人类的恐惧声音能够引起健康受试者听觉处理和注意力相关大脑区域的激活,而令人厌恶的声音仅能引起健康受试者轻微的血流动力学反应。宓洪挺等^[35]在高频经颅磁刺激基础上,分别使用节奏感强的打击乐与节奏舒缓的管弦乐刺激意识障碍患者,结果发现音乐联合高频经颅磁刺激治疗能促进意识障碍患者的意识恢复,且节奏感强烈的打击乐的促醒作用更好,分析可能与节奏感强烈的音乐具有更大的情绪激发作用有关。然而,目前涉及不同种类声音、情绪联合 fNIRS 评估意识障碍水平的研究并不多,因此上述结论的可靠性还有待进一步研究证实。

总结

综上所述,听觉刺激作为一种非药理性的干预措施,可有效改变患者的环境认知能力,与可量化、时空分辨率高的 fNIRS 相结合,尤其适用于评估意识障碍患者的意识水平,具有较好的临床应用前景。但 fNIRS 联合听觉刺激在评估意识障碍患者意识水平方面仍存在一些不足:① fNIRS 的空间分辨率相对较低,且局限于大脑皮质,无法进一步探究人脑深部的功能活动;②

头发密度和颜色、颅骨及临近组织厚度,容易对光信号产生干扰;③不同的听觉刺激对意识障碍患者的影响不同,如何选择合适的听觉刺激范式来评估意识水平,依然是亟待解决的问题。

针对上述不足,今后可从以下方面考虑改进:①fNIRS 可与其它脑功能评估技术(如 EEG、fMRI)相结合,实现多模式模式,以监测意识障碍患者对听觉刺激的反应,从而获得更精准、更客观的数据;②听觉刺激可与虚拟现实或增强现实相结合,探索更有益于意识障碍患者评估与治疗的刺激方案;③将 fNIRS 与机器学习融合,完善数据分析算法,达到精准评估意识水平及预测预后的目的;④听觉刺激的内容、频率以及声强均是影响意识障碍患者反应的因素,制订个性化的听觉刺激方案可能对意识障碍患者的评估与治疗非常重要;⑤可以开展更多大样本、多中心的随机对照试验,为不同意识水平的意识障碍患者探索最优的评估方案。

参 考 文 献

- [1] 钟源,何佩,冯珍.定量脑电图特征在慢性意识障碍预后评价中的应用研究[J].中国康复医学杂志,2023,38(11):1493-1498. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2023.11.003.
- [2] Edlow BL, Claassen J, Schiff ND, et al. Recovery from disorders of consciousness: mechanisms, prognosis and emerging therapies [J]. *Nat Rev Neurol*, 2021, 17(3): 135-156. DOI: 10.1038/s41582-020-00428-x.
- [3] Ben SA, Marois C, Sangare A, et al. EEG lexicality effect predicts clinical outcome in disorders of consciousness [J]. *Ann Neurol*, 2023, 93(4): 762-767. DOI: 10.1002/ana.26614.
- [4] Gorska U, Binder M. Low- and medium-rate auditory steady-state responses in patients with prolonged disorders of consciousness correlate with coma recovery scale - revised score [J]. *Int J Psychophysiol*, 2019, 144: 56-62. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2019.08.001.
- [5] Allen JS, Emmorey K, Bruss J, et al. Neuroanatomical differences in visual, motor, and language cortices between congenitally deaf signers, hearing signers, and hearing non-signers [J]. *Front Neuroanat*, 2013, 7: 26. DOI: 10.3389/fnana.2013.00026.
- [6] Boltzmann M, Schmidt SB, Gutenbrunner C, et al. Auditory stimulation modulates resting-state functional connectivity in unresponsive wakefulness syndrome patients [J]. *Front Neurosci*, 2021, 15: 554194. DOI: 10.3389/fnins.2021.554194.
- [7] Jain R, Ramakrishnan AG. Electrophysiological and neuroimaging studies-during resting state and sensory stimulation in disorders of consciousness: a review [J]. *Front Neurosci*, 2020, 14: 555093. DOI: 10.3389/fnins.2020.555093.
- [8] Cheng L, Gosseries O, Ying L, et al. Assessment of localisation to auditory stimulation in post-comatose states: use the patient's own name [J]. *BMC Neurol*, 2013, 13: 27. DOI: 10.1186/1471-2377-13-27.
- [9] Wu M, Bao WX, Zhang J, et al. Effect of acoustic stimuli in patients with disorders of consciousness: a quantitative electroencephalography study [J]. *Neural Regen Res*, 2018, 13(11): 1900-1906. DOI: 10.4103/1673-5374.238622.
- [10] Kempny AM, James L, Yelden K, et al. Patients with a severe prolonged disorder of consciousness can show classical EEG responses to their own name compared with others' names [J]. *Neuroimage Clin*, 2018, 19: 311-319. DOI: 10.1016/j.nicl.2018.04.027.
- [11] Heine L, Castro M, Martial C, et al. Exploration of functional connectivity during preferred music stimulation in patients with disorders of consciousness [J]. *Front Psychol*, 2015, 6: 1704. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.01704.
- [12] Näätänen R, Pakarinen S, Rinne T, et al. The mismatch negativity (MMN): towards the optimal paradigm [J]. *Clin Neurophysiol*, 2004, 115(1): 140-144. DOI: 10.1016/j.clinph.2003.04.001.
- [13] Si J, Yang Y, Xu L, et al. Evaluation of residual cognition in patients with disorders of consciousness based on functional near-infrared spectroscopy [J]. *Neurophotonics*, 2023, 10(2): 025003. DOI: 10.1117/1.NPh.10.2.025003.
- [14] Zhang YF, Lasfargues-Delannoy A, Berry I. Adaptation of stimulation duration to enhance auditory response in fNIRS block design [J]. *Hear Res*, 2022, 424: 108593. DOI: 10.1016/j.heares.2022.108593.
- [15] 李梦,杨艺,高宇航,等.基于任务态功能近红外成像检测微意识状态患者认知功能的研究 [J]. *临床神经外科杂志*, 2021, 18(5): 489-494. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7770.2021.05.003.
- [16] 阳雨露,孙蕴怡,肖洪奇,等.精神疾病患者言语流畅性任务下前额叶激活特征的功能性近红外光谱成像研究 [J]. *四川精神卫生*, 2023, 36(3): 235-241. DOI: 10.11886/scjsws20230301004.
- [17] Lucas I, Balada F, Blanco E, et al. Prefrontal cortex activity triggered by affective faces exposure and its relationship with neuroticism [J]. *Neuropsychologia*, 2019, 132: 107146. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2019.107146.
- [18] 鲁辉,罗启航,郑灵雄,等.基于功能性近红外光谱成像技术探究脑老化对老年人步行任务的影响机制 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2022, 44(12): 1069-1073. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.12.003.
- [19] 邵佳慧,吴毅.功能性近红外光谱技术在认知障碍中的应用进展 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2021, 43(9): 862-864. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.09.022.
- [20] Shu Z, Wu J, Li H, et al. fNIRS-based functional connectivity signifies recovery in patients with disorders of consciousness after DBS treatment [J]. *Clin Neurophysiol*, 2023, 147: 60-68. DOI: 10.1016/j.clinph.2022.12.011.
- [21] Lu H, Jiang J, Si J, et al. A functional near-infrared spectroscopy study on hemodynamic changes of patients with prolonged disorders of consciousness responding to different auditory stimuli [J]. *BMC Neurol*, 2023, 23(1): 242. DOI: 10.1186/s12883-023-03292-6.
- [22] Plichta MM, Heinzel S, Ehls AC, et al. Model-based analysis of rapid event-related functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) data: a parametric validation study [J]. *Neuroimage*, 2007, 35(2): 625-634. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.11.028.
- [23] McLinden J, Borgheai SB, Hosni S, et al. Individual-specific characterization of event-related hemodynamic responses during an auditory task: an exploratory study [J]. *Behav Brain Res*, 2023, 436: 114074. DOI: 10.1016/j.bbr.2022.114074.
- [24] West KL, Zuppichini MD, Turner MP, et al. BOLD hemodynamic response function changes significantly with healthy aging [J]. *Neuroimage*, 2019, 188: 198-207. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2018.12.012.
- [25] Chen LC, Sandmann P, Thorne JD, et al. Association of concurrent fNIRS and EEG signatures in response to auditory and visual stimuli [J]. *Brain Topogr*, 2015, 28(5): 710-725. DOI: 10.1007/s10548-015-0424-8.
- [26] Gui P, Jiang Y, Zang D, et al. Assessing the depth of language processing in patients with disorders of consciousness [J]. *Nat Neurosci*,

- 2020, 23(6):761-770. DOI: 10.1038/s41593-020-0639-1.
- [27] Lu H, Jiang J, Si J, et al. A functional near-infrared spectroscopy study on hemodynamic changes of patients with prolonged disorders of consciousness responding to different auditory stimuli [J]. BMC Neurol, 2023, 23(1):242. DOI: 10.1186/s12883-023-03292-6.
- [28] Carriere M, Larroque SK, Martial C, et al. An echo of consciousness: brain function during preferred music [J]. Brain Connect, 2020, 10(7):385-395. DOI: 10.1089/brain.2020.0744.
- [29] Xiao X, Chen W, Zhang X. The effect and mechanisms of music therapy on the autonomic nervous system and brain networks of patients of minimal conscious states: a randomized controlled trial [J]. Front Neurosci, 2023, 17:1182181. DOI: 10.3389/fnins.2023.1182181.
- [30] Yin J, Xu G, Xie H, et al. Effects of different frequencies music on cortical responses and functional connectivity in patients with minimal conscious state [J]. J Biophotonics, 2024, 17(5):e202300427. DOI: 10.1002/jbio.202300427
- [31] Zhu J, Yan Y, Zhou W, et al. Clinical research: auditory stimulation in the disorders of consciousness [J]. Front Hum Neurosci, 2019, 13:324. DOI: 10.3389/fnhum.2019.00324.
- [32] Biccato G, Keller E, Wolf M, et al. Increase in low-frequency oscillations in fNIRS as cerebral response to auditory stimulation with familiar music [J]. Brain Sci, 2021, 12(1):42. DOI: 10.3390/brainsci12010042.
- [33] Biccato G, Narula G, Brandi G, et al. Functional NIRS to detect covert consciousness in neurocritical patients [J]. Clin Neurophysiol, 2022, 144:72-82. DOI: 10.1016/j.clinph.2022.10.002.
- [34] Köchel A, Schongassner F, Schienle A. Cortical activation during auditory elicitation of fear and disgust: a near-infrared spectroscopy (NIRS) study [J]. Neurosci Lett, 2013, 549:197-200. DOI: 10.1016/j.neulet.2013.06.062.
- [35] 宓洪挺, 吕晓, 李新科. 不同情绪特征的音乐联合经颅磁刺激对意识障碍患者神经功能恢复的评估 [J]. 中国康复, 2023, 38(8):483-485. DOI: 10.3870/zgkf.2023.08.008.

(修回日期:2024-09-25)

(本文编辑:凌琛)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

《中华物理医学与康复杂志》论文中图和表的基本要求

1. 图的基本要求

(1) 图应主题明确, 具有进一步说明和补充文字的功能, 可用于强调事物的性状或参数变化的总体趋势, 或者提供实证。图的内容不要与正文文字、表格内容重复。图的性质应与资料性质匹配。

(2) 图应有“自明性”, 即只看图、图题、图文或图例, 不阅读正文就可理解图意。为保持图的自明性, 图中使用的缩略语应有注释, 且图中的量、单位、符号、缩略语等需与正文一致。

(3) 图随文排时, 一般排印在相应正文段落之后, 即先见文字后见图。

(4) 中文版期刊图题、图例及图内其他文字说明应该使用中文, 也可以中、英文对照, 但不宜仅使用英文。

2. 几种常见类型的图

(1) 数字图: 显示部分轮廓清晰, 层次分明, 反差适中, 无杂乱背景; 人体照片只需显示必要部位; 颜面或全身照片, 若不需显示眼或阴部的则需加以遮挡。文稿中的数字图像按序连续编码随文, 先见文字后见图。按照图的数量按序连续编码, 在图的下面要有图题、图文; 组织病理图中应有标物尺, 染色方法、放大倍数; 图中的量、单位、符号、缩略语等必须与正文一致, 为保持图的自明性, 缩略语应有注释。稿件采用后须提供数据图的 TIF 格式文件, 其分辨率应在 300 dpi 或以上, 总像素要在 150 万像素或以上, 去除图中所有字符, 图中标识另纸标注; 森林图另附 word 文档, 图中重点标目词宜用中文表述。

(2) 曲线图: 图的大小、比例适中, 线条均匀, 辅线分明, 高度与宽度之比一般为 5:7; 纵横标目的量和单位符号齐全, 置于纵横坐标轴的外侧居中排列。

(3) 条图: 各直条宽度以及各条之间的间隙相等, 间隙宽度为直条宽度的 1/2, 或与之相等; 条图指标数量的尺度必须从“0”开始, 等距, 不能折断; 复式条图一组包括 2 个及以上的直条, 应使用图例予以说明; 同组直条间不留空隙, 各组内直条排列顺序一致。

(4) 半对数图: 纵坐标没有“0”点, 起点可视情况确定; 各单元间距离相同, 同一单元内不等距。

(5) 点图: 点图的横坐标为自变量, 纵坐标为因变量, 其纵横轴尺度的起点可不从“0”开始, 视情况确定。

3. 表的基本要求

(1) 按照统计学制表原则设计, 力求结构简洁, 采用三线表。

(2) 表在正文中依次按序编码, 先见文字后见表。

(3) 表纵横标目间为主谓关系, 主语在表的左侧, 谓语在表的右侧。

(4) 表中不设“备注”, 需要释义的可在表中相关处注释符号, 如: a、b、c……。

(5) 各栏参数的单位相同, 可在表的表题之后的括弧内, 参数单位不同在各栏的标目词之后的括弧内。

(6) 表中的量、单位、符号、缩略语必须与正文一致, 缩略语应在表下注释。