

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2025.09.011

医学信号处理与医学仪器

吸烟成瘾的脑电研究进展

董芳^{1,2}, 李晓健³, 徐艳红⁴, 薛婷⁵, 喻大华⁴

1. 内蒙古科技大学机械工程学院, 内蒙古 包头 014010; 2. 内蒙古科技大学数智产业学院, 内蒙古 包头 014010; 3. 内蒙古大学创业学院, 内蒙古 呼和浩特 010070; 4. 内蒙古科技大学自动化与电气工程学院, 内蒙古 包头 014010; 5. 内蒙古科技大学理学院, 内蒙古 包头 014010

【摘要】脑电(EEG)是指人脑内神经元放电产生的电活动,通常记录在大脑头皮上,可以在非侵入式的情况下探测大脑皮层中神经元群的电生理活动,通过高时间分辨率来记录毫秒级别大脑的电位变化。近几年,国内外众多的科研人员将脑电技术投入到吸烟成瘾领域的研究中,进而探究吸烟人群的大脑内毫秒级别的电生理变化。本文主要阐述吸烟成瘾者在静息态EEG和任务态事件相关电位EEG研究中的进展,总结吸烟者大脑的电生理活动变化,未来将结合纵向追踪和机器学习等方法,进一步探究EEG特征与吸烟行为的相互关系,为吸烟成瘾的早期干预和治疗提供科学依据。

【关键词】吸烟者;脑电;事件相关电位;综述

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2025)09-1197-04

Advances in EEG research on smoking addiction

DONG Fang^{1,2}, LI Xiaojian³, XU Yanhong⁴, XUE Ting⁵, YU Dahua⁴

1. School of Mechanical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 2. School of Digital and Intelligent Industry, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 3. Pioneer College, Inner Mongolia University, Hohhot 010070, China; 4. School of Automation and Electrical Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China; 5. School of Science, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China

Abstract: Electroencephalogram (EEG) refers to the electrical activity generated by neuronal discharges in the human brain, conventionally recorded on the scalp of the brain. EEG technology enables the non-invasive detection of electrophysiological activity in neuronal populations within the cerebral cortex, capturing millisecond-level changes in brain potentials with high temporal resolution. In recent years, lots of international researchers have leveraged EEG technology to investigate smoking addiction and further explore the millisecond-level electrophysiological changes in the brains of smokers. This review synthesizes recent advances in resting-state EEG and task-evoked event-related potential research among smokers, summarizing the electrophysiological activity changes associated with smoking addiction. Future researches will employ both longitudinal tracking and machine learning algorithms to further reveal the relationship between EEG signatures and smoking behaviors, thereby providing a scientific foundation for early intervention and treatment strategies targeting smoking addiction.

Keywords: smoker; electroencephalogram; event-related potential; review

前言

【收稿日期】2024-10-26

【项目基金】国家自然科学基金(82260359, 61971451);内蒙古自治区自然科学基金(2023QN08007, 2025MS08027, 2025MS08098);内蒙古自治区高校基本科研业务费项目(2023QNJS204, 2023QNJS206, 2024QNJS119)

【作者简介】董芳, 硕士, 讲师, 研究方向: 脑电信号处理, E-mail: dongfang@imust.edu.cn

【通信作者】徐艳红, 硕士, 讲师, 研究方向: 信号处理, E-mail: xu_yanhong@yeah.net

目前吸烟者的死亡率是不吸烟者的2~3倍,吸烟者较高的死亡率归因于癌症、心血管疾病、糖尿病、慢性阻塞性肺疾病(COPD)和肺炎等^[1]。自1990年以来世界上每年因吸食香烟而导致死亡的人数已超过500万,约占死亡总人数的10%,其中绝大多数来自发展中国家,每年因吸烟导致的生产力损失和医疗支出高达数十亿美元^[2]。如果吸烟问题没有被很好的抑制,那么到2030年,每年因吸烟导致的死亡率将还会持续不断的上升,吸烟致死人数也会突破800万,其中约600万来自发展中国家。目前全球的吸烟现状,约90%的吸烟者在18岁之前开始吸烟,每天有

近10万年轻人开始吸烟^[3],其中包括50%的年轻男性和10%的年轻女性,而这些人大多数都会成为终身吸烟者。相较于健康不吸烟者,吸烟者的患病率要更高,吸烟能够引起多种脑部疾病、肺癌以及呼吸道疾病等重大疾病^[4]。近年来,国内外的医学影像学技术对吸烟者大脑的一系列的研究中得出,吸烟除了改变肺部的结构,还会对吸烟者大脑的结构和功能产生影响^[5-8]。从10岁左右到成年早期,这个阶段属于青少年时期,处于这个时期的人群在自我控制能力方面尚未成熟,更愿意去尝试具有新鲜感和高风险的行为,所以青少年往往将香烟这种容易获取的成瘾物质作为尝试的目标^[9]。青少年时期是人脑发育的黄金时期,此时的大脑对外界的影响异常敏感,所以青少年时期的人群接触尼古丁可能会出现严重的认知控制变化以及神经生理的改变^[10-11],即使大多数吸烟者已经意识到吸烟的不良危害,并表达了强烈的戒烟愿望,但绝大多数人的戒烟都以失败告终,并且在戒烟期间,烟瘾会迅速滋长。

认知控制障碍和强烈心理渴求,是成瘾行为的两大核心特征,也是揭示吸烟者在认知控制与奖赏系统神经机制的关键。功能磁共振成像(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)有着卓越的空间分辨率,但用来评估大脑活动的快速变化在时间分辨率上是不足的。通过脑电(Electroencephalogram, EEG)可以在较高的时间分辨率下记录人脑情绪心理活动时脑皮层不同功能位置的电生理活动。EEG为研究者提供大脑对信息的加工过程,主要能够分析大脑活动过程中记录到的波幅、潜伏期、地形图、电位的空间分布和频谱等生物指标。已有研究提出多种从EEG信号中提取信息的方法,如时域、频域、时频和微状态分析等方法。国内外研究人员已经利用脑电技术对吸烟成瘾展开研究,在吸烟成瘾的EEG研究方面,主要包括静息状态下的EEG研究和任务状态下的事件相关电位(Event-Related Potential, ERP)EEG研究。本文通过EEG技术探讨吸烟者的电生理活动变化,为吸烟成瘾的神经机制提供有价值的参考,为吸烟成瘾的早期干预和有效戒断奠定科学基础。

1 吸烟者静息态 EEG 的研究进展

自发性EEG活动的记录表现出一定的特征波形,这些特征波形在很大的频率范围内占主导,通常应用于各种临床诊断。在静息状态下吸烟成瘾者EEG信号的研究中,首先探讨吸烟者EEG信号节律特征的变化,自发EEG活动通常按频带分类。根据经验,将自发性EEG活动分为5个频带:delta(δ , <4 Hz)、

theta(θ , 4~8 Hz)、alpha(α , 8~13 Hz)、beta(β , 13~30 Hz)和gamma(γ , >30 Hz)。以往的研究发现,与不吸烟者相比,吸烟者在静息状态下高低频段的神经振荡发生了变化。通过记录吸烟组和健康对照组两组人群额叶电极的7个EEG图频带(δ 、 θ 、 α 、 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 β 和 γ),对比发现虽然在高频波段($\alpha 2$ 、 β 、 γ)组间没有差异,但与不吸烟者相比,吸烟者在低频波段(δ 、 θ 、 α 、 $\alpha 1$)表现出更强的光谱功率^[12]。也有研究通过对青年吸烟成瘾者大脑静息态下的EEG信号进行频域分析,发现吸烟者与不吸烟者相比,呈现出 α 波的增加与 δ 波的减少^[13]。而在另一项研究中,分别对每日吸烟者、非每日吸烟者以及不吸烟者之间的静息态EEG信号和冲动之间的关系进行考察,每日吸烟者的静息态 δ 和 α 脑电功率降低,且由Barratt冲动性量表显示其冲动性更高,在非日常吸烟者中也发现与日常吸烟者有着相似特征^[14]。Knott等^[15]采用EEG技术探究吸烟对抑郁症患者静息态EEG变化影响,研究发现在左额叶区域的 α 功率,吸烟者与非吸烟者相比出现了显著的增加,表明患有抑郁症的吸烟者左额叶活性降低。Evans等^[16]发现,吸烟者在戒断12 h以上, θ 和 $\alpha 1$ 的功率密度值显著增大,大慢波静息态脑电图(Greater Slow Wave resting EEG)可作为吸烟剥夺期间皮质活动减少的可靠标志,这些节律变化可能表明戒断相关的认知缺陷。也曾有研究将吸烟者分为戒烟组和继续吸烟的控制组,并对持续31 d戒烟的相关情绪和生理变化进行评估,与继续吸烟的控制组相比,戒烟组的参与者在整个戒断的一个月里出现了抑郁和其他消极情绪状态的增加,并且戒烟组平均 α 频率显著降低^[17]。在早期的吸烟成瘾研究中,与吸烟组相比,戒断组右侧顶叶区域出现 $\theta 1$ 波增加^[18],并且对非吸烟者进行尼古丁给药,发现了 $\alpha 2$ 功率的增加, β 波和 θ 波功率并无差异^[19-20]。

其次,在针对吸烟者的静息态整体脑网络的脑电研究中,通过最小生成树的方法评估青少年吸烟者和非吸烟者的全脑网络效率变化。研究发现青少年吸烟者在 α 波段EEG信号表现出降低的树叶分数和Kappa值,表明年轻吸烟者在整体大脑网络效率呈现降低^[21]。此外,还存在另一种脑网络的分析方法可以用来评估大尺度脑网络功能,这种方法将脑电图分为准稳定状态,并且这些状态与静息态fMRI发现的网络相联系,这种方法被称为微状态分析方法。在吸烟者静息态脑电微状态分析的研究中,采用K-means聚类分析的方法得出经典的4类微状态(微状态A、B、C、D)及其参数^[22-23]。研究发现吸烟组和对照组在B类和D类微状态地形图上存在显著差异,而在A类和C类微状态上无显著差异,吸烟者的B类微

状态的持续时间以及发生率明显小于非吸烟者,并且B类微状态的持续时间可能是监测吸烟者吸烟严重程度的一个新的客观生物标志物^[24]。

2 吸烟者任务态事件相关电位脑电研究进展

ERP作为一种特殊的脑诱发电位,在给予刺激后约200 ms发生的ERP波形与信息处理有关^[25],可以对大脑的高级心理活动如认知过程做出客观评价,通过运用ERP技术可以探讨吸烟成瘾者的行为表现和ERP成分的异常。在ERP的研究中往往会输出类似于具有许多正峰和负峰的波,这些峰被称为成分,并根据它们的极性进行标记,P代表正,N代表负,它们的潜伏期通常以毫秒为单位(例如,P100是刺激开始后约100 ms出现的正波峰,也可用P1表示),负向波峰与激活有关,正向波峰与抑制有关。常以负向上和正向下的方式读取EEG。在ERP的成分中,P1、N1、P2属于外源性成分,通常与基本的、低级的知觉联系在一起。N2、P3为内源性成分,通常会受到被试注意力和精神状态的影响,例如P3是与认知功能相关,通过对听觉、体感或视觉刺激的反应呈现的,是一种客观、可靠和无创的认知功能标记,包括分配给任务的注意力和工作记忆^[26]。在已有研究中,对吸烟者和非吸烟者进行视觉和听觉诱导的刺激任务,在两次刺激任务中都出现了吸烟者P3振幅的降低,并发现其波幅的降低与吸烟者的吸烟量存在相关性^[27-28]。在吸烟者P3听觉事件相关电位的研究中发现,与对照组相比吸烟者额叶(Fz)电极处除P3振幅降低以外,N1振幅明显低于对照组,且吸烟者N1的潜伏期更长,对于吸烟者来说,N1振幅的降低可能意味着信息处理的延迟和短期记忆障碍。因此,长期吸烟可能引起前额叶认知功能障碍^[29]。非吸烟者在接触尼古丁后进行听觉诱导的刺激任务,其后额叶区P2振幅增加,由于P2振幅和潜伏期的降低与习惯化过程和脱离无关刺激能力的增强有关,所以尼古丁可能会导致非吸烟者对重复刺激适应能力的下降^[30]。在以往的研究中,也通过行为范式Go/NoGo任务对吸烟者的反应抑制进行评估,在行为学任务中的比较发现吸烟者的准确率更低,并且对于NoGo刺激吸烟组的N2波幅却小于对照组,但是对于P3成分,在两组人群中并没有发现差异^[31]。通过Go/NoGo任务发现青少年吸烟者比非吸烟者表现出更多的NoGo反应错误数和NoGo刺激中降低的P3波幅以及更长的P3潜伏期,并且P3波幅直接和任务表现具有相关性,青少年吸烟者在GO/NoGo任务中的不良表现也证实了其抑制控制能力的缺乏^[32]。而在另一项青少年吸烟成瘾的研究中,通过渴求诱导任务发

现,青少年吸烟者和健康对照组相比,主要的异常出现在正性慢波(Slow Positive Wave, SPW)振幅的增强,并且相对于中性诱导,其P3和正性慢波成分在渴求诱导下增强,同时在青年吸烟者中,每日吸烟(CPD)与前部(Fz)、中部(Cz)的P3、SPW波幅呈正相关^[33]。

以往大量的研究发现,尼古丁戒断反应的出现往往在吸烟者停止吸烟后的数小时,并且尼古丁戒断反应会使吸烟者增加对吸烟的渴求,认知控制能力也会出现相应减弱,进而导致戒烟以失败告终^[34-35]。在没有治疗的情况下戒烟一年对于吸烟者来说是困难的,仅有少于5%的吸烟者能坚持一年时间不吸烟。近期的一项研究调查了戒断2 h对吸烟者认知控制的影响,吸烟组被试分别在正常状态和戒断状态下完成ERP的P3测量,首先吸烟者和健康对照组相比,P3a和P3b的振幅降低,P3a的潜伏期延长,其次吸烟者在戒烟2 h后,P3a和P3b振幅和潜伏期没有改变,并且认知控制也无显著影响^[36]。通过研究短期戒断状态下青少年吸烟者渴求和认知控制的变化,能够有效地帮助青少年吸烟者对于吸烟的干预。一项对青少年吸烟成瘾者12 h戒断的Go/NoGo任务研究发现,吸烟者的N2潜伏期延长,并且与NoGo错误数及Go的反应时间存在显著的相关性^[37],这表明N2潜伏期可能与青少年吸烟者对戒断状态的抑制控制障碍有关。在另一项对青少年吸烟者12 h戒断状态下的研究中发现,青少年吸烟者在戒断后的Flanker任务中Pe波幅明显降低,并且戒断症状有增加的趋势,这表明12 h戒断后吸烟者在错误发生后的错误处理能力降低,并且这种降低可能是由戒断引起的^[38]。通过目标刺激分析吸烟者的脑电ERP特征,有助于认识和理解吸烟者在认知能力和行为表现之间的关联,也可以为吸烟成瘾者神经生物学研究提供更多的见解。

3 总结与展望

综上所述,静息态EEG和任务态ERP提供了有关大脑功能和注意偏差的准确信息,为评价信息处理和认知提供了更直接的测量方法。当前的EEG研究已经发现了吸烟者大脑的电生理学差异,大多数研究集中于传统的脑电分析方法(如时域和频域分析等),为吸烟成瘾的研究提供了电生理学高时间分辨率的丰富认识,但是通过其他EEG分析方法(如溯源分析、功能连接、机器学习、微状态、空间复杂脑网络等)来探究吸烟者电生理学差异的研究还较少。基于静息态和任务态两个方面,采用多种EEG分析方法来探究吸烟者满足和戒断状态下的吸烟渴求和认知控制能力的神经电生

理指标,能够获得更多与吸烟成瘾有关的重要信息,提高对吸烟成瘾者大脑电生理学变化的认识。

未来的研究可以进一步利用静息态 EEG 和任务态 ERP 的高时间分辨率优势,深入探索不同脑区在吸烟者满足和戒断状态下的电生理活动变化。例如,通过溯源分析和功能连接分析,可以更清晰地揭示特定脑区之间的动态交互作用,以及这些交互如何影响吸烟成瘾者的认知控制和渴求。结合机器学习和微状态分析等新兴技术,可以更高效地从复杂的 EEG 数据中提取关键特征,从而为吸烟成瘾的早期干预提供更多的科学依据。此外,目前对于青少年吸烟成瘾者的纵向研究还较少,增加必要的纵向研究将有助于揭示吸烟成瘾的动态变化过程,能够更全面地揭示吸烟成瘾的神经电生理机制。

【参考文献】

- [1] Carter BD, Abnet CC, Feskanich D, et al. Smoking and mortality-beyond established causes[J]. *N Engl J Med*, 2015, 372(7): 631-640.
- [2] GBD 2015 Tobacco Collaborators. Smoking prevalence and attributable disease burden in 195 countries and territories, 1990-2015: a systematic analysis from the global burden of disease study 2015[J]. *Lancet*, 2017, 389(10082): 1885-1906.
- [3] Xi B, Liang YJ, Liu YX, et al. Tobacco use and second-hand smoke exposure in young adolescents aged 12-15 years: data from 68 low-income and middle-income countries[J]. *Lancet Glob Health*, 2016, 4(11): e795-e805.
- [4] Lubman DI, Yücel M, Pantelis C. Addiction, a condition of compulsive behaviour? Neuroimaging and neuropsychological evidence of inhibitory dysregulation[J]. *Addiction*, 2004, 99(12): 1491-1502.
- [5] Yu DH, Yuan K, Bi YZ, et al. Altered interhemispheric resting-state functional connectivity in young male smokers[J]. *Addict Biol*, 2018, 23(2): 772-780.
- [6] Yu DH, Yuan K, Cheng JD, et al. Reduced thalamus volume may reflect nicotine severity in young male smokers[J]. *Nicotine Tob Res*, 2018, 20(4): 434-439.
- [7] Yuan K, Yu DH, Bi YZ, et al. The left dorsolateral prefrontal cortex and caudate pathway: new evidence for cue-induced craving of smokers[J]. *Hum Brain Mapp*, 2017, 38(9): 4644-4656.
- [8] Yuan K, Yu DH, Zhao M, et al. Abnormal frontostriatal tracts in young male tobacco smokers[J]. *Neuroimage*, 2018, 183: 346-355.
- [9] Jacobus J, Thayer RE, Trim RS, et al. White matter integrity, substance use, and risk taking in adolescence[J]. *Psychol Addict Behav*, 2013, 27(2): 431-442.
- [10] Gulley JM, Juraska JM. The effects of abused drugs on adolescent development of corticolimbic circuitry and behavior[J]. *Neuroscience*, 2013, 249: 3-20.
- [11] Lydon DM, Wilson SJ, Child A, et al. Adolescent brain maturation and smoking: what we know and where we're headed [J]. *NeurosciBiobehav Rev*, 2014, 45: 323-342.
- [12] Wilbanks HE, Von Mohr M, Potenza MN, et al. Tobacco smoking and the resting maternal brain: a preliminary study of frontal EEG[J]. *Yale J Biol Med*, 2016, 89(2): 115-122.
- [13] 刘敏, 王英. 脑电图对静息状态下的青少年吸烟成瘾者的脑电信号变化[J]. *贵州医药*, 2020, 44(12): 1920-1921.
Liu M, Wang Y. EEG changes in resting state of adolescent smoking addiction[J]. *Guizhou Medical Journal*, 2020, 44(12): 1920-1921.
- [14] Rass O, Ahn WY, O'Donnell BF. Resting-state EEG, impulsiveness, and personality in daily and nondaily smokers[J]. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127(1): 409-418.
- [15] Knott V, Bisslerbe JC, Shah D, et al. The moderating influence of nicotine and smoking on resting-state mood and EEG changes in remitted depressed patients during tryptophan depletion[J]. *Biol Psychol*, 2013, 94(3): 545-555.
- [16] Evans DE, Sutton SK, Oliver JA, et al. Cortical activity differs during nicotine deprivation *versus* satiation in heavy smokers [J]. *Psychopharmacology (Berl)*, 2015, 232(11): 1879-1885.
- [17] Gilbert DG, McClernon FJ, Rabinovich NE, et al. EEG, physiology, and task-related mood fail to resolve across 31 days of smoking abstinence: relations to depressive traits, nicotine exposure, and dependence[J]. *Exp Clin Psychopharmacol*, 1999, 7(4): 427-443.
- [18] Pickworth WB, O'Hare ED, Fant RV, et al. EEG effects of conventional and denicotinized cigarettes in a spaced smoking paradigm[J]. *Brain Cogn*, 2003, 53(1): 75-81.
- [19] Fisher DJ, Daniels R, Jaworska N, et al. Effects of acute nicotine administration on resting EEG in nonsmokers [J]. *Exp Clin Psychopharmacol*, 2012, 20(1): 71-75.
- [20] Foulds J, McSorley K, Sneddon J, et al. Effect of subcutaneous nicotine injections of EEG alpha frequency in non-smokers: a placebo-controlled pilot study[J]. *Psychopharmacology (Berl)*, 1994, 115(1/2): 163-166.
- [21] Su SP, Yu DH, Cheng JD, et al. Decreased global network efficiency in young male smoker: an EEG study during the resting state[J]. *Front Psychol*, 2017, 8: 1605.
- [22] Lehmann D, Ozaki H, Pal I. EEG alpha map series: brain micro-states by space-oriented adaptive segmentation[J]. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1987, 67(3): 271-288.
- [23] Khanna A, Pascual-Leone A, Michel CM, et al. Microstates in resting-state EEG: current status and future directions[J]. *NeurosciBiobehav Rev*, 2015, 49: 105-113.
- [24] Cheng Y, Bu JJ, Li N, et al. Dysfunctional resting-state EEG microstate correlated with the severity of cigarette exposure in nicotine addiction [J]. *Sci China Inf Sci*, 2020, 63(7): 170107.
- [25] Pritchard W, Sokhadze E, Houlihan M. Effects of nicotine and smoking on event-related potentials: a review[J]. *Nicotine Tob Res*, 2004, 6(6): 961-984.
- [26] Hamilton HK, Boos AK, Mathalon DH. Electroencephalography and event-related potential biomarkers in individuals at clinical high risk for psychosis[J]. *Biol Psychiatry*, 2020, 88(4): 294-303.
- [27] Hedges D, Bennett DP. Cigarette smoking and p300 amplitude in adults: a systematic review[J]. *Nicotine Tob Res*, 2014, 16(9): 1157-1166.
- [28] Littel M, Euser AS, Munafò MR, et al. Electrophysiological indices of biased cognitive processing of substance-related cues: a meta-analysis[J]. *Neurosci Biobehav Rev*, 2012, 36(8): 1803-1816.
- [29] Guney F, Genc BO, Kutlu R, et al. Auditory P300 event-related potential in tobacco smokers[J]. *J Clin Neurosci*, 2009, 16(10): 1311-1315.
- [30] Veltri T, Taroyan N, Overton PG. Nicotine enhances an auditory event-related potential component which is inversely related to habituation [J]. *J Psychopharmacol*, 2017, 31(7): 861-872.
- [31] Luijten M, Littel M, Franken IH. Deficits in inhibitory control in smokers during a Go/NoGo task: an investigation using event-related brain potentials[J]. *PLoS One*, 2011, 6(4): e18898.
- [32] Yin JS, Yuan K, Feng D, et al. Inhibition control impairments in adolescent smokers: electrophysiological evidence from a Go/NoGo study[J]. *Brain Imaging Behav*, 2016, 10(2): 497-505.
- [33] Cheng JD, Guan YY, Zhang YJ, et al. Electrophysiological mechanisms of biased response to smoking-related cues in young smokers [J]. *Neurosci Lett*, 2016, 629: 85-91.
- [34] Lerman C, Gu H, Loughhead J, et al. Large-scale brain network coupling predicts acute nicotine abstinence effects on craving and cognitive function[J]. *JAMA Psychiatry*, 2014, 71(5): 523-530.
- [35] Jacobsen LK, Krystal JH, Mencl WE, et al. Effects of smoking and smoking abstinence on cognition in adolescent tobacco smokers[J]. *Biol Psychiatry*, 2005, 57(1): 56-66.
- [36] Xue YL, Zhou HL, Jiang CG, et al. Two-hour tobacco abstinence has no effect on cognitive control in male patients with nicotine dependence: an ERP study[J]. *Front Psychiatry*, 2020, 11: 604684.
- [37] Liu C, Dong F, Li YD, et al. 12 h abstinence-induced ERP changes in young smokers: electrophysiological evidence from a Go/NoGo study [J]. *Front Psychol*, 2019, 10: 1814.
- [38] Cui YT, Dong F, Li XJ, et al. Electrophysiological evidence of event-related potential changes induced by 12 h abstinence in young smokers based on the flanker study[J]. *Front Psychiatry*, 2020, 11: 424.

(编辑:薛泽玲)