

脊髓损伤患者静息态脑电 α 波的改变及其应用

彭金辉,王文丽,敖丽娟

摘要 脊髓损伤后脊髓传入、传出信息功能受损,脑皮质重塑,脑电 α 波改变。本文总结讨论静息态脑电 α 波的产生机制、脊髓损伤后静息态脑电 α 波的特点,和 α 波在闭眼向睁眼转变时的改变及其影响因素,同时归纳了静息态睁眼、闭眼 α 波在脑-机接口技术中的应用进展及价值。

关键词 脊髓损伤;静息态; α 波;睁眼、闭眼;脑-机接口

中图分类号 R741;R744 **文献标识码** A **DOI** 10.16780/j.cnki.sjssgncj.20190195

本文引用格式:彭金辉,王文丽,敖丽娟.脊髓损伤患者静息态脑电 α 波的改变及其应用[J].神经损伤与功能重建,2020,15(7):399-401.

作者单位

昆明医科大学康
复学院

昆明 650500

收稿日期

2019-02-22

通讯作者

敖丽娟

aolijuan@kmmu.

edu.cn

脊髓损伤后脊髓局部神经细胞死亡,可引起躯体功能及精神心理障碍,整体健康水平下降,住院率增加,目前缺乏针对脊髓损伤的有效治疗方法^[1]。脊髓损伤后脑皮质可立即发生功能结构重组,但皮质重组个体差异大,程度不一^[2],影响因素包括年龄、损伤原因、损伤时间、损伤程度、行为活动、治疗、睡眠、药物等。此外,是否合并大脑损伤及脑部损伤程度所引起的脑功能重塑亦不同^[3-6]。脑电图(electroencephalography, EEG)是一项监测脑功能的快捷、廉价、非侵入性医疗技术,可观察脑皮质功能重组,展现脑电活动、功能网络连接,时间分辨率达毫秒级别^[5,7],目前主要用于临床诊断脑部疾病、脑-机接口技术及脑功能研究^[7-9]。根据频率大小,可将EEG分为 δ 波(0.5~4 Hz)、 θ 波(4~8 Hz)、 α 波(8~13 Hz)、 β 波(13~30 Hz)及 γ 波(>30 Hz)^[10]。其中, α 波是EEG的重要成分,它和注意力、认知、运动意图、睁眼及闭眼、神经递质等相关^[11-13],对外界刺激及身体状态的变化敏感^[11,14],学习研究 α 波对神经科学具有重大价值。本综述旨在讨论脊髓损伤后静息态脑电 α 波的改变及其影响因素,以及阐述近年来关于 α 波在脑-机接口技术的应用。

1 静息态脑电 α 波

1929年,德国Hans Berger发现人在觉醒闭眼时,枕叶出现频率为8~12 Hz的 α 波,睁眼时减少或完全消失,由此推断 α 波和枕叶视觉皮质活动负相关^[9]。后来,Pfurtscheller等^[15]也发现在皮质活动减少的脑区,即“休闲”状态的脑区, α 波活动明显。直至今日,学者们仍认为大脑在“休闲”时 α 波明显, α 波是大脑基线状态的代表^[16]。

经典学说认为脑电 α 波的产生取决于丘脑-皮质神经元细胞膜的离子通道、网状核神经元和丘脑-皮质神经元间突触的相互作用,当丘脑-皮质神经元细胞膜电位稍去极化时,细胞产生10 Hz的振荡(α 波),去极化进一步进展时则产生6 Hz的振荡。此外, α 波还受中脑胆碱能系统及起源于蓝斑

和中缝核的单胺能投射系统的影响。脑干-丘脑胆碱能投射系统的乙酰胆碱增加,或位于丘脑和基底节前的Meynert基底核(脑皮质乙酰胆碱的主要来源)与视觉皮质功能连接增强时,静息态睁眼 α 波去同步化明显, α 波活动减少^[13,17]。

不同于经典学说,Silva等^[18]在研究狗自发脑电 α 波的活动时发现,丘脑和皮质在产生 α 波时的作用相互独立,因为皮质-皮质的相关性比丘脑-皮质的相关性高。Basar^[14]则认为, α 波可在多个脑区产生,如脑干、丘脑、边缘系统、运动和感觉相关的脑区,这些脑区参与感觉、认知等信号的处理过程,形成 α 波网络, α 波网络在脑功能中有举足轻重的作用。

近年来,还有不少学者提出 α 波和默认模式神经网络(default mode network, DMN)相关。DMN指静息态下不同脑区同步低频信号形成的网络,解剖结构包括内侧前额叶、前扣带回、后扣带回皮质、楔叶/楔前叶、颞顶连接处/角回,也有学者将海马、海马旁回及额极皮质包含在内。类似于 α 波,DMN在静息态时活动增加,在任务态时活动减少^[19]。Rusiniak等^[20]结合EEG和fMRI研究健康成年男性在静息态睁眼、闭眼时DMN和 α 波的相关性,显示后扣带回及楔前叶、内侧前额叶的 α 波和DMN密切相关。此外,Bonnard等^[21]用经颅磁刺激刺激DMN的内侧前额叶时,诱发了枕区 α 波活动,表明DMN和 α 波产生相关。目前关于DMN和 α 波关系的研究较少。

2 脊髓损伤后的静息态脑电 α 波

脊髓损伤后的脑皮质功能结构重组^[22]、循环功能改变^[23]、下丘脑-垂体轴功能障碍^[24]等均可引起 α 波改变,通过 α 波可帮助判断脊髓损伤病情,为治疗效果及预后提供客观依据^[25]。

脊髓损伤后全脑静息态 α 波波幅及频率减小。Tran和Boord等^[25,26]对8例四肢瘫、12例截瘫患者的研究提示, α 波在后脑区及中央区的活动明显减少。Herbert等^[4]关于慢性完全性截瘫男性的闭眼静

息态 α 波研究显示,除了中央区及后脑区 α 波幅度显著下降,额区及右侧大脑 α 波也明显降低,中央区是躯体感觉、运动控制中心,脊髓损伤后神经传入及传出受阻,该区域 α 波活动减小表示相关脑区皮质功能重组、神经活动增加,脑皮质发生功能代偿,但作者并未对额区及右侧大脑 α 波波幅降低的原因和机制进行进一步的解释。因 α 波受年龄、性别、脊髓损伤程度及节段等影响,研究对象不同或是导致结论不完全一致的原因^[9,25]。此外,上述研究均未提及受试者是否合并疼痛,因为80%脊髓损伤患者会发生疼痛^[27],长时间的疼痛可使皮质功能结构及 α 波改变^[28],且疼痛程度不同,其 α 波亦不同^[29]。还有,轮椅使用与否也影响 α 波。Sato等^[30]的研究表明,脊髓损伤患者使用轮椅15 min后,其中央区 α 波频率增高。

不同节段脊髓损伤的静息态 α 波不同。四肢瘫患者的 α 波波幅及频率均低于健康人群,后脑区、中央区及颞区变化显著。四肢瘫和截瘫患者的 α 波对比,前者幅度、峰值波幅均较后者低,但文中未提及相应的 P 值及效应值大小。四肢瘫与截瘫患者 α 波的不同可能是感觉输入、运动输出差异所致^[25,26]。

此外, α 波的波幅与中枢神经电活动同步性、血流、呼吸、代谢及神经介质等因素相关。神经电活动去同步化时波幅下降,大脑血流减少使波幅增加^[9]。脊髓损伤可引起大脑后循环^[31]、呼吸循环^[32,33]、代谢^[33]等改变,但相关并发症及继发病引起的 α 波改变还需进一步探讨。

3 脊髓损伤后静息态闭眼、睁眼脑电 α 波

从被发现时起,不少研究均证实 α 波在睁眼时活动减少、同步化减弱,而在闭眼静息态时活动明显增加且同步化显著^[34]。睁眼、闭眼间 α 波的差异可作为疾病的评估工具,如Miraglia等^[35]的研究显示,健康老人闭眼向睁眼转变时 α 波反应明显,轻度认知障碍者 α 波反应小,而阿尔茨海默症患者闭眼转变为睁眼时 α 波的反应明显减小,提示轻度认知障碍和阿尔茨海默症的关系。

脊髓损伤患者静息态下从闭眼向睁眼转变时,其脑电 α 波反应减小、频率降低,且全脑 α 波峰值频率均降低,枕叶O2显著($P=0.05$)。此外,功率谱密度的反应也降低^[36]。还有,Vuckovic等^[28]发现,脊髓损伤后,从闭眼转变为睁眼状态时, α 波的功率反应降低、频率降低,而且这在将来会发生疼痛的患者中更显著,比如,健康人群睁眼、闭眼时的 α 波频率分别为(10.4±1.0)Hz和(10.0±0.6)Hz,脊髓损伤患者的 α 波频率分别是(9.6±1.1)Hz和(9.2±1.0)Hz,而将来发生疼痛的脊髓损伤患者睁眼、闭眼的 α 波频率分别是(9.3±1.4)Hz和(8.6±1.0)Hz。这些改变可能是因为脊髓损伤后大脑皮质功能结构改变,丘脑神经元超极化、钙通道峰电位降低,振荡活动受影响,引起丘脑皮质节律异常,疼痛时又进一步影响丘脑神经元活动,此解释与静息态脑电 α 波产生的经典学说^[17]相符。此外,Claudio Del Percio等^[37]表示,运动员静息态睁眼时,其 α 波功率降低比非运动员更明显,因为运动员的“神经效率”更高,“神经效率”与视觉信息处理相关。脊髓损伤患者闭眼向睁眼转变时 α 波反应减小,或

许和机体代偿性提高“神经效率”相关,但这需进一步的研究证实。

需要说明的是,大脑活动是持续、非静止的,短暂的静息态EEG也并非保持不变^[38]。因此,静息态下采集的 α 波需经过过去趋势、区别变异趋势等处理,才能更好地用于建模、预测,以及区分并利用静息态睁眼、闭眼 α 波的差异^[34]。利用静息态闭眼、睁眼产生 α 波的差异可对脊髓损伤后的疼痛进行客观评估及预测。而且,虽然闭眼、睁眼间 α 波的反应减小,但二者间的差异仍可用于脑-机接口技术^[34]。

4 睁眼、闭眼脑电 α 波与脑-机接口技术

脑-机接口是相对新的沟通系统,可将大脑活动信息转化为计算机或其他电子设备的命令,从而实现“意念控制机器”^[39]。1970年起,美国即开始研究如何将EEG用于脑-机接口技术。1999年,美国凯斯西储大学的团队利用EEG信号成功帮助一位四肢瘫痪患者控制假肢,获得手运动功能^[40]。我国天津大学团队^[41]在2013年发表的文章中表明,其研发的 α 波脑-机接口系统,受试者从睁眼到闭眼过程中1 s产生的 α 波波幅即可控制电动轮椅活动,且成功操作前无需接受特殊培训,可帮助脊髓损伤患者提高活动功能。脑-机接口技术是帮助运动障碍患者提高运动功能、自理能力的最好方法,相关方面研究日渐升温^[40]。

α 波和大脑其他EEG波或生理信息相比,占有较大优势。基于 α 波的脑-机接口的优点包括: α 波频率稳定,只需数个电极便可提取出有效驱动信号; α 波信噪比高,容易获取;90%脑功能正常者在短时间闭眼后即可明显增高 α 波波幅,不必经过反复长时间的培训便能熟练掌握使用设备,改善运动功能障碍患者运动功能^[8,42]。

脊髓损伤、运动神经元性疾病、卒中等患者的运动功能障碍,但认知良好,脑-机接口技术可以提高他们的活动、生活自理能力,如脊髓损伤患者,虽然其静息态闭眼、睁眼时 α 波反应不同于健康人群,但仍可将其产生的 α 波用于脑-机接口技术,“意念控制”假肢、机器人、电动轮椅等,减轻个人、家庭及社会负担^[26,34,43]。

5 总结与展望

脑功能是大脑固有的、持续的功能,主要包括信息转换加工、预测环境需求并做出回应。与任务态研究相比,大脑静息态的研究更能捕捉脑功能本质,反应大脑能量分布、功能结构等,近年来逐渐成为研究热点^[38]。研究表明,脊髓损伤后静息态脑电 α 波改变,但目前仅用于继发性疼痛的预测及评估^[28,30,36,44]。未来关于脊髓损伤后 α 波的研究可分两个方向:第一,结合脊髓损伤节段、程度、预后、并发症、治疗与脑功能重塑等进行研究,了解不同情况下 α 波的特点并将其用于临床客观评估;第二,研究如何将 α 波与脑-机接口技术相结合,帮助脊髓损伤患者更好地“意念控制”大小便、体位等。目前尚无针对脊髓损伤的有效治疗手段,应积极结合观察型研究及应用型研究,探索 α 波的价值,为脊髓损伤患者提供更全面的功能恢复。

参考文献

- [1] Widerström-Noga EG, Felipe-Cuervo E, Yezierski RP. Relationships among clinical characteristics of chronic pain after spinal cord injury[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82: 1191-1197.
- [2] Aguilar J, Humanes-Valera D, Alonso-Calvino E, et al. Spinal cord injury immediately changes the state of the brain[J]. J Neurosci, 2010, 30: 7528-7537.
- [3] Moxon KA, Oliviero A, Aguilar J, et al. Cortical reorganization after spinal cord injury: always for good? [J]. Neuroscience, 2014, 283: 78-94.
- [4] Herbert D, Tran Y, Craig A, et al. Altered brain wave activity in persons with chronic spinal cord injury[J]. Int J Neurosci, 2007, 117: 1731-1746.
- [5] Assenza G, Di Lazzaro V. A useful electroencephalography (EEG) marker of brain plasticity: delta waves[J]. Neural Regen Res, 2015, 10: 1216-1217.
- [6] Kabachkova AV, Lalaeva G, Zakharova A, et al. EEG alpha rhythm spatial distribution depending on level of motor activity[J]. Teoriya i Praktika Fizicheskoy Kultury, 2016, 1: 83-85.
- [7] Wu JC. EEG studies of the human brain motor system--New insights into learning and plasticity[D]. UC Irvine, 2015.
- [8] Hundia R. Brain Computer Interface-Controlling Devices Utilizing The Alpha Brain Waves[J]. Int J Sci Technol Res, 2015, 4: 281-285.
- [9] Bazanova OM, Vernon D. Interpreting EEG alpha activity[J]. Neurosci Biobehav Rev, 2014, 44: 94-110.
- [10] Valipour S, Shaligram A, Kulkarni G. Spectral analysis of EEG signal for detection of alpha rhythm with open and closed eyes[J]. Int J Eng Innovative Technol, 2013, 3: 1-4.
- [11] Sharma A, Singh M. Assessing alpha activity in attention and relaxed state: An EEG analysis[A]. Next Generation Computing Technologies (NGCT), 2015 1st International Conference on 2015[C]. Dehradun, 2015, 508-513.
- [12] Kirschfeld K. The modulation of alpha-wave amplitude in human EEG by the intention to act with a motor response[J]. Nat Prec, 2009, DOI: <http://doi.org/10.1038/npre.2009.3720.1>.
- [13] Wan L, Huang H, Schwab N, et al. From eyes - closed to eyes - open: Role of cholinergic projections in EC - to - EO alpha reactivity revealed by combining EEG and MRI[J]. Hum Brain Mapp, 2019, 40: 566-577.
- [14] Başar E, Schürmann M, Başar-Eroglu C, et al. Alpha oscillations in brain functioning: an integrative theory[J]. Int J Psychophysiol, 1997, 26: 5-29.
- [15] Pfurtscheller G, Stancak Jr A, Neuper C. Event-related synchronization (ERS) in the alpha band—an electrophysiological correlate of cortical idling: a review[J]. Int J Psychophysiol, 1996, 24: 39-46.
- [16] MacLean MH, Arnell KM, Cote KA. Resting EEG in alpha and beta bands predicts individual differences in attentional blink magnitude[J]. Brain Cogn, 2012, 78: 218-229.
- [17] da Silva FL. Neural mechanisms underlying brain waves: from neural membranes to networks [J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1991, 79: 81-93.
- [18] da Silva FH, van Lierop TH, Schrijer CF, et al. Essential differences between alpha rhythms and barbiturate spindles: spectra and thalamo-cortical coherences[J]. Electroencephalogr Clin Neurophysiol, 1973, 35: 641-645.
- [19] Bowman AD, Griffis JC, Visscher KM, et al. Relationship Between Alpha Rhythm and the Default Mode Network: An EEG-fMRI Study[J]. J Clin Neurophysiol, 2017, 34: 527-533.
- [20] Rusiniak M, Wrobel A, Ciesla K, et al. The relationship between alpha burst activity and the default mode network[J]. Acta Neurobiol Exp (Wars), 2018, 78: 92-113.
- [21] Bonnard M, Chen S, Gaychet J, et al. Resting state brain dynamics and its transients: a combined TMS-EEG study [J]. Sci Rep, 2016, 6: 31220.
- [22] Mohammed H, Hollis ER. Cortical Reorganization of Sensorimotor Systems and the Role of Intracortical Circuits After Spinal Cord Injury[J]. Neurotherapeutics, 2018, 15: 588-603.
- [23] Williams AM, Gee CM, Voss C, et al. Cardiac consequences of spinal cord injury: systematic review and meta-analysis[J]. Heart, 2018, 105: 217-225.
- [24] Bauman WA, Fountaine MF, Cimigliaro CM, et al. Administration of increasing doses of gonadotropin-releasing hormone in men with spinal cord injury to investigate dysfunction of the hypothalamic - pituitary - gonadal axis[J]. Spinal Cord, 2018, 56: 247-258.
- [25] Tran Y, Boord P, Middleton J, et al. Levels of brain wave activity (8-13 Hz) in persons with spinal cord injury[J]. Spinal Cord, 2004, 42: 73-79.
- [26] Boord PR, Tran Y, Middleton JW, et al. Alpha Band activity during eye-closure in people with spinal cord injury[C]. Maroochyodre: Proceeding of International Functional Electrical Stimulation Society Conference, 2003.
- [27] Bryce TN. Opioids should not be prescribed for chronic pain after spinal cord injury [J]. Spinal Cord Ser Cases, 2018, 4: 66.
- [28] Vuckovic A, Jajrees M, Purcell M, et al. Electroencephalographic Predictors of Neuropathic Pain in Subacute Spinal Cord Injury[J]. Pain, 2018, 19: e1251-1256.
- [29] Jensen MP, Sherlin LH, Gertz KJ, et al. Brain EEG activity correlates of chronic pain in persons with spinal cord injury: clinical implications[J]. Spinal Cord, 2013, 51: 55-58.
- [30] Sato G, Osumi M, Morioka S. Effects of wheelchair propulsion on neuropathic pain and resting electroencephalography after spinal cord injury[J]. Rehabil Med, 2017, 49: 136-143.
- [31] de Heredia LL, Belci M, Briley D, et al. Posterior circulation infarction in patients with traumatic cervical spinal cord injury and its relationship to vertebral artery injury[J]. Spinal Cord, 2015, 53: 125-129.
- [32] El-Kader SMAJEJoGM. Impact of respiratory muscle training on blood gases and pulmonary function among patients with cervical spinal cord injury[J]. Int Phys Med Rehab J, 2018, 3: 443-446.
- [33] Li J, Hunter GR, Chen Y, et al. Differences in Glucose Metabolism Among Women With Spinal Cord Injury May Not Be Fully Explained by Variations in Body Composition[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2019, 100: 1061-1067.
- [34] Tran Y, Thuraisingham R, Craig A, et al. Stationarity and variability in eyes open and eyes closed EEG signals from able-bodied and spinal cord injured persons[J]. Con Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2012, 2012: 2861-2864.
- [35] Miraglia F, Vecchio F, Bramanti P, et al. EEG characteristics in “eyes-open” versus “eyes-closed” conditions: Small-world network architecture in healthy aging and age-related brain degeneration[J]. Clin Neurophysiol, 2016, 127: 1261-1268.
- [36] Boord P, Siddall P, Tran Y, et al. Electroencephalographic slowing and reduced reactivity in neuropathic pain following spinal cord injury[J]. Spinal cord, 2008, 46: 118.
- [37] Del Percio C, Infarinato F, Marzano N, et al. Reactivity of alpha rhythms to eyes opening is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study[J]. Int J Psychophysiol, 2011, 82: 240-247.
- [38] Raichle ME. The restless brain: how intrinsic activity organizes brain function[J]. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2015, 370: 1-11.
- [39] Zhao H-b, Wang H, Liu C, et al. Brain-computer interface design using alpha wave[A]. Gwangju: Mechatronics and Information Technology [C], 2009.
- [40] Lauer RT, Peckham PH, Kilgore KL. EEG-based control of a hand grasp neuroprosthesis[J]. Neuroreport, 1999, 10: 1767-1771.
- [41] Ming D, Fu L, Chen L, et al. Electric wheelchair control system using brain-computer interface based on alpha-wave blocking[J]. Transactions of Tianjin University, 2014, 20: 358-363.
- [42] 耿丽清, 赵丽, 崔世钢, 等. 基于脑电 alpha 波的便携式脑-机接口系统研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20: 4748-4750.
- [43] Dev A, Rahman MA, Mamun N. Design of an EEG-Based Brain Controlled Wheelchair for Quadriplegic Patients[C]. Pune: 2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT), 1-5.
- [44] Jensen MP, Ganas A, Sherlin LH, et al. Pain Catastrophizing and EEG-alpha Asymmetry[J]. The Clin J Pain, 2015, 31: 852-858.