

## 小脑非运动功能异常的影像研究进展

罗程<sup>1\*</sup>, 贾晓燕<sup>1</sup>, 卓丽华<sup>2</sup>, 曹卫芳<sup>1</sup>, 蒋宇超<sup>1</sup>, 蒋思思<sup>1</sup>, 尧德中<sup>1</sup>

(1. 电子科技大学 四川 成都 610054;

2. 绵阳市第三人民医院 四川 绵阳 621000

\* 通信作者: 罗程 E-mail: chengluo@uestc.edu.cn)

**【摘要】** 现代神经成像技术已经能在活体上获得近似于真实的小脑与大脑结构功能连接特征。近年来的研究已发现小脑在认知、注意、情感和语言等非运动功能方面起到了重要作用。在神经精神疾病中,小脑异常也参与了神经认知损害。本文针对包括老化、癫痫和精神分裂症在内的典型小脑非运动功能异常,从结构、功能和脑连接角度综述了小脑的影像研究进展。对于探索小脑的非运动功能及其在老化和神经精神疾病中的病理生理机制具有重要的科学意义。

**【关键词】** 小脑;老化;癫痫;精神分裂症;神经影像

中图分类号: R749

文献标识码: A

doi: 10.11886/j.issn.1007-3256.2017.01.005

### Review of neuroimaging researches on alteration in non – motor domain of the human cerebellum

Luo Cheng<sup>1\*</sup>, Jia Xiaoyan<sup>1</sup>, Zhuo Lihua<sup>2</sup>, Cao Weifang<sup>1</sup>, Jiang Yuchao<sup>1</sup>, Jiang Sisi<sup>1</sup>, Yao Dezhong<sup>1</sup>

(1. University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;

2. The Third People's Hospital of Mianyang, Mianyang 621000, China

\* Corresponding author: Luo Cheng, E-mail: chengluo@uestc.edu.cn)

**【Abstract】** The structural and functional connectivity between cerebellum and cerebral cortex could be acquired realistically with neuroimaging techniques. Recent studies showed that the cerebellum played an important role in the non – motor function, including the cognition, attention, emotion and language. In neuropsychological diseases, the cognitive defects associated with abnormality in cerebellum. This review focused on the abnormal non – motor function in aging, schizophrenia and epilepsy, and demonstrated the structural, functional and connected neuroimaging findings in these diseases. The review would be helpful to investigate cerebellar non – motor function and its pathophysiological mechanism in neuropsychological diseases.

**【Keywords】** Cerebellum; Aging; Epilepsy; Schizophrenia; Neuroimaging

小脑位于颅骨后窝,通过三对小脑脚连接于脑干,再与脊髓和大脑进行纤维联系。早期的动物研究证明了小脑通过两个多突触回路与对侧的大脑皮层构成了不同功能的闭环连接。小脑的输入纤维束大部分是通过中小脑脚(MCP)进入小脑,以形成皮层-脑桥-小脑(CPC)通路,从而获得大脑皮层信息;小脑输出纤维束主要来自四个深部小脑核团:齿状核、栓状核、球状核和顶核,在脑干交叉后通过对侧丘脑投射到大脑皮层(齿状核-丘脑-皮层通路)<sup>[1-2]</sup>。传统的观点认为,小脑参与功能整合大脑感觉区和运动区以协调精细动作。近年来,随着神经成像技术的发展,小脑的非运动功能得到了重视,已发现小脑在认知、注意、情感和语言等方面发挥了

重要作用。特别在神经精神疾病中,小脑相关病变会导致神经认知异常等非运动功能损害。因此,在老化及诸如癫痫、精神分裂症等神经精神疾病中,小脑功能影像的研究进展引起了广泛关注。

#### 1 小脑连接及其老化过程的改变

现代神经成像研究揭示小脑与大脑皮层间存在广泛的功能连接,而且针对不同的小脑亚区存在不同的闭合回路,形成了一个复杂的小脑-大脑拓扑图<sup>[3-4]</sup>。这些闭合的回路构成了小脑和大脑相互连接的基本结构特征。目前,小脑分区主要采用1999年Schmahmann等<sup>[5]</sup>提出的十区法,将小脑的两个半球和蚓体划分成10个亚区(I-X区)。小脑的结构和生理研究揭示了小脑的前叶与初级感觉运动有关,后叶的内侧部分与次级感觉运动有关,而与认知行为有关的大脑联合皮层则优先连接到小脑后叶的

项目基金:国家自然科学基金(81271547,81471638);国家重大科学仪器设备开发专项项目(2013YQ490859)

外侧部分<sup>[6-7]</sup>。Stoodley 等<sup>[8]</sup>的一个元分析结果表明,高级认知任务主要激活小脑后叶,如语言工作记忆任务激活了小脑 VI 区和脚 I 区,执行功能有关任务激活了小脑 VI 区、脚 I 区和 VIIIB 区,而情绪处理任务则激活了小脑 VI 区、脚 I 区和小脑 VIIIB 区。其它基于任务的神经成像结果也验证了感知觉运动相关的任务激活小脑前叶而认知任务激活小脑后叶的模式<sup>[9-10]</sup>。有利用静息态功能连接的分析也发现,小脑的 V 区、VI 区以及 VIII 区与大脑的初级感觉运动皮层有很强的功能连接,而小脑 VII 区、脚 I 区和脚 II 区与额叶以及后顶叶有连接<sup>[11]</sup>。此外, Bernard 等<sup>[12]</sup>利用功能连接方法研究小脑半球的各个亚区与大脑皮层间的连接,同样证实了小脑前叶与运动皮层的强功能连接,小脑后部主要与前额叶、顶叶有强功能连接。这些任务态和静息态的神经成像均验证了小脑与大脑之间的功能耦合参与了人类的认知过程。此外,也有研究认为大脑-小脑回路更多是开放式的,如小脑从多个大脑皮层接受输入,包括对侧和同侧的脑区<sup>[13]</sup>。这种多维耦合模式增加了小脑参与认知功能的复杂性。神经成像以及心理行为学评估研究一致表明,老化过程会损害大脑结构和功能,导致行为的损害<sup>[14-15]</sup>。一般来说,整个小脑体积受老化的影响,相对于青年人,老年人的小脑体积更小<sup>[16]</sup>。纵向设计的研究也发现小脑体积随年龄增加而减小<sup>[17]</sup>。近年来,许多磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)研究更关注小脑局部脑区受年龄的影响。Abe 等<sup>[16]</sup>的研究发现小脑后部特别是小脑脚 I 区和 II 区受年龄的影响特别大。Bernard 等<sup>[18]</sup>的研究发现小脑前叶和小脑脚 I 区受年龄影响最大。Alexander 等<sup>[19]</sup>利用灰质协方差网络研究发现,小脑(特别是小脑脚 I 区和 II 区)体积和额叶、颞叶及丘脑体积的改变均与年龄有关。弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)能够在活体上探索脑白质纤维束的结构特征。已有的 DTI 研究发现小脑白质纤维束的完整性受年龄的影响<sup>[20]</sup>,提供了老化改变小脑白质的结构性证据。

在功能成像方面,大量研究发现了小脑与大脑的功能耦合受年龄的影响。有任务态功能磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究发现,在完成同等难度的运动执行任务时,老年人的小脑前部(I-V 区)激活比青年人更显著<sup>[21-22]</sup>;在符号运动学习任务中,老年人的小脑 VI 区激活更明显<sup>[23]</sup>;在执行单纯感知觉任务时,老年人的小脑脚 I、II 区以及 VI 区则显示出更低的激活<sup>[24]</sup>。一项对正常老化的静息态研究发现,老化可能会破坏大脑

与小脑间的功能连接;与正常年轻人相比,老年人的连接普遍降低,这种降低既发生在与运动有关的网络也发生在与认知有关的网络中<sup>[25]</sup>。而且,在静息态 fMRI 研究中,老年人包括小脑在内的运动区的局部一致性活动也降低<sup>[26]</sup>。Bernard 等<sup>[25]</sup>以右侧小脑叶和小脑蚓体作为感兴趣区来计算小脑与全脑的静息态功能网络连接,发现老年人小脑-基底节以及小脑-内侧颞叶回路的功能连接降低,并且这些降低的功能连接与行为学相关。此外,认知训练被认为是一种能有效缓解老化对大脑影响的手段。最近的静息态 fMRI 研究发现,多维度的认知训练不但能改善大脑的脑功能连接<sup>[27]</sup>,而且对小脑网络,特别是其连接的对称性有积极的作用<sup>[28]</sup>。

## 2 精神分裂症的小脑功能成像

精神分裂症是严重影响人类健康的精神疾病,主要表现为感知、思维、情感和行为等多方面的障碍以及精神活动与环境的不协调,也包含注意、记忆和执行功能障碍等在内的认知功能缺陷。脑成像研究显示广泛的脑区受累,精神分裂症也因此被认为是一种脑网络疾病<sup>[29]</sup>。目前,较多研究认为精神分裂症患者存在小脑异常,如在神经病理学上发现了浦肯野细胞(Purkinje cells)的大小和密度降低<sup>[30]</sup>。同时,也有学者报道了精神分裂症患者小脑在一般精神疾病及情绪、认知异常中起重要作用<sup>[31-33]</sup>。通过结构 MRI,有研究报道了精神分裂症患者小脑蚓体的萎缩<sup>[34]</sup>。Picard 等<sup>[35]</sup>通过整合临床、认知、行为和功能影像研究,提出精神分裂症患者的皮层-小脑-丘脑-皮层环路功能异常,通过损害心理过程的平衡性导致精神分裂症出现症状。

早期的脑结构影像研究指出慢性精神分裂症患者的小脑蚓体及其亚区体积比正常人小<sup>[36]</sup>。2012 年的一个脑结构 MRI 形态学分析发现,精神分裂症患者的左侧小脑脚 I/II 区灰质体积更小,并且与患者的思维障碍相关<sup>[37]</sup>。最近一篇研究报道,精神分裂症患者小脑蚓体的体积减小受性别影响:男性精神分裂症患者的小脑后蚓体体积更小<sup>[38]</sup>。另一种结构成像方法 DTI,也在精神分裂症中发现了小脑的白质纤维束集成性降低<sup>[39]</sup>。在小脑脚部分也有较明显的改变<sup>[40]</sup>。

迄今为止,已有大量研究使用静息态 fMRI 的功能连接分析精神分裂症患者的小脑网络,发现不同小脑区域的连接异常。有研究在精神分裂症患者中发现小脑与海马、丘脑、中扣带回、额下回等区域的功能连接显著降低,并且在患者的同胞中也观察到

类似改变<sup>[41]</sup>。精神分裂症患者小脑与内侧丘脑核团的功能连接也显著降低<sup>[42]</sup>。这些研究均支持精神分裂症患者中皮层-小脑-丘脑-皮层环路的功能异常<sup>[43]</sup>。Chen 等<sup>[44]</sup>在这些研究的基础上进一步发现海马结构也参与了小脑-皮层环路间的异常功能连接。同时,这些小脑的异常连接也和部分认知功能相关。如 Repovs 等<sup>[45]</sup>报告了精神分裂症患者小脑与额顶网络之间的功能连接显著降低,且与患者的工作记忆功能降低有关。因此,在将来的工作中,需要结合认知任务的功能成像来探索小脑在精神分裂症患者皮层-小脑-丘脑-皮层环路中的重要作用。

### 3 癫痫的小脑功能成像

小脑在癫痫活动发生及进展中的作用一直存有争议,但既往研究已从多个角度显示了癫痫中小脑的异常,如体积和脑连接的改变等。在神经成像研究方面,一些脑结构分析已在不同类型的癫痫中发现了小脑的体积改变。如在伴中央颞区棘波的儿童良性癫痫患者中发现了小脑的局部灰质体积增加<sup>[46]</sup>;而在慢性颞叶癫痫中,小脑灰质和白质体积均减小<sup>[47]</sup>。已有基于静息态 fMRI 的一些研究展示小脑的局部网络特征发生了改变<sup>[48]</sup>。在额叶癫痫中,小脑的 fMRI 活动时空一致性(FOCA)显著降低,提示与额叶癫痫的认知功能损害有关<sup>[49]</sup>。目前,同步脑电和 fMRI 已被广泛应用于癫痫活动机制的研究。在全面癫痫中,已有的同步脑电和 fMRI 研究发现,全面性癫痫放电导致丘脑的激活以及小脑和广泛皮层的负激活<sup>[50-51]</sup>。本课题组对拥有同步脑电-fMRI 记录的全面性癫痫患者进行功能连接分析,发现在癫痫放电期内小脑与基底节区的功能集成性降低,而且随着 fMRI 扫描期放电次数的增加,这种改变更明显,提示小脑协同基底节区对全面癫痫放电有调节作用<sup>[52]</sup>。最近有研究探索了青少年肌阵挛癫痫患者网络之间的关系,发现小脑网络和癫痫放电之间存在非线性关系,且与皮层运动网络间的有效连接降低<sup>[53]</sup>。对于小脑的功能连接,目前在癫痫研究中尚无系统的分析,随着神经成像的发展和与小脑功能越来越被重视,在将来的研究中需关注癫痫患者小脑结构和功能连接特征,以探索其对癫痫活动以及在癫痫患者认知功能异常中的作用。

对于在癫痫中发现的小脑改变机制,目前主要认为是小脑涉及到了癫痫放电或参与了癫痫相关网络。早期的动物实验研究发现小脑能间接影响大脑皮层的神经元活动,已有的研究也显示小脑在癫痫

活动的发生和调节中起重要作用。因此,从 20 世纪 50 年代以来,已有一些通过小脑刺激术治疗癫痫的尝试<sup>[54]</sup>。但由于没有精确定位刺激靶点,引起的运动异常副作用也非常明显,导致这种潜在的治疗技术没有广泛应用于临床。近年来,Kros 等<sup>[55]</sup>通过刺激小脑深部核团,在遗传大鼠失神癫痫模型中实现了对全面癫痫放电的控制,推测小脑深部核团对皮层-丘脑网络的神经振荡具有调节作用,这也为小脑精准电刺激治疗难治性癫痫提供了动物实验基础<sup>[56]</sup>。

### 4 小 结

总的来说,小脑参与了语言、注意、记忆等多种认知过程的加工,小脑的结构、功能、连接特征均对认知功能有影响。在常见的神经精神疾病中,小脑的结构功能改变,特别是脑网络连接特征的改变,对于探索疾病自身的病理生理机制以及小脑的非运动功能极其重要。在将来的研究中,应融合高分辨的结构和功能成像,研究小脑与大脑间的精细连接特征,探索是否可通过针对小脑的综合治疗来改善神经精神症状。

### 参考文献

- [1] Kelly RM, Strick PL. Cerebellar loops with motor cortex and prefrontal cortex of a nonhuman primate [J]. *J Neurosci*, 2003, 23(23): 8432-8444.
- [2] Buckner RL. The cerebellum and cognitive function: 25 years of insight from anatomy and neuroimaging [J]. *Neuron*, 2013, 80(3): 807-815.
- [3] Salmi J, Pallesen KJ, Neuvonen T, et al. Cognitive and motor loops of the human cerebro-cerebellar system [J]. *J Cogn Neurosci*, 2010, 22(11): 2663-2676.
- [4] Krienen FM, Buckner RL. Segregated fronto-cerebellar circuits revealed by intrinsic functional connectivity [J]. *Cereb Cortex*, 2009, 19(10): 2485-2497.
- [5] Schmahmann JD, Doyon J, McDonald D, et al. Three-dimensional MRI atlas of the human cerebellum in proportional stereotaxic space [J]. *Neuroimage*, 1999, 10(3 Pt 1): 233-260.
- [6] Buckner RL, Krienen FM, Castellanos A, et al. The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional connectivity [J]. *J Neurophysiol*, 2011, 106(5): 2322-2345.
- [7] O'Reilly JX, Beckmann CF, Tomassini V, et al. Distinct and overlapping functional zones in the cerebellum defined by resting state functional connectivity [J]. *Cereb Cortex*, 2010, 20(4): 953-965.
- [8] Stoodley CJ, Schmahmann JD. Functional topography in the human cerebellum: a meta-analysis of neuroimaging studies [J]. *Neuroimage*, 2009, 44(2): 489-501.
- [9] Stoodley CJ, Valera EM, Schmahmann JD. Functional topography of the cerebellum for motor and cognitive tasks: an fMRI study [J]. *Neuroimage*, 2012, 59(2): 1560-1570.

- [10] Balsters JH , Laird AR , Fox PT , et al. Bridging the gap between functional and anatomical features of cortico – cerebellar circuits using meta – analytic connectivity modeling [J]. *Hum Brain Mapp* , 2014 , 35( 7) : 3152 – 3169.
- [11] Habas C , Kamdar N , Nguyen D , et al. Distinct cerebellar contributions to intrinsic connectivity networks [J]. *J Neurosci* , 2009 , 29( 26) : 8586 – 8594.
- [12] Bernard JA , Seidler RD , Hassevoort KM , et al. Resting state cortico – cerebellar functional connectivity networks: a comparison of anatomical and self – organizing map approaches [J]. *Front Neuroanat* , 2012 , 6: 31.
- [13] Suzuki L , Coulon P , Sabel – Goedknecht EH , et al. Organization of cerebral projections to identified cerebellar zones in the posterior cerebellum of the rat [J]. *J Neurosci* , 2012 , 32( 32) : 10854 – 10869.
- [14] Resnick SM , Pham DL , Kraut MA , et al. Longitudinal magnetic resonance imaging studies of older adults: a shrinking brain [J]. *J Neurosci* , 2003 , 23( 8) : 3295 – 3301.
- [15] Grady C. The cognitive neuroscience of ageing [J]. *Nat Rev Neurosci* , 2012 , 13( 7) : 491 – 505.
- [16] Abe O , Yamasue H , Aoki S , et al. Aging in the CNS: comparison of gray/white matter volume and diffusion tensor data [J]. *Neurobiol Aging* , 2008 , 29( 1) : 102 – 116.
- [17] Raz N , Lindenberger U , Rodrigue KM , et al. Regional brain changes in aging healthy adults: general trends , individual differences and modifiers [J]. *Cereb Cortex* , 2005 , 15( 11) : 1676 – 1689.
- [18] Bernard JA , Seidler RD. Relationships between regional cerebellar volume and sensorimotor and cognitive function in young and older adults [J]. *Cerebellum* , 2013 , 12( 5) : 721 – 737.
- [19] Alexander GE , Chen K , Merkle TL , et al. Regional network of magnetic resonance imaging gray matter volume in healthy aging [J]. *Neuroreport* , 2006 , 17( 10) : 951 – 956.
- [20] Sullivan EV , Pfefferbaum A. Diffusion tensor imaging and aging [J]. *Neurosci Biobehav Rev* , 2006 , 30( 6) : 749 – 761.
- [21] Wu T , Hallett M. The influence of normal human ageing on automatic movements [J]. *J Physiol* , 2005 , 562 ( Pt 2) : 605 – 615.
- [22] Ward NS , Frackowiak RS. Age – related changes in the neural correlates of motor performance [J]. *Brain* , 2003 , 126( Pt 4) : 873 – 888.
- [23] Bo J , Peltier SJ , Noll DC , et al. Age differences in symbolic representations of motor sequence learning [J]. *Neurosci Lett* , 2011 , 504( 1) : 68 – 72.
- [24] Ferdon S , Murphy C. The cerebellum and olfaction in the aging brain: a functional magnetic resonance imaging study [J]. *Neuroimage* , 2003 , 20( 1) : 12 – 21.
- [25] Bernard JA , Peltier SJ , Wiggins JL , et al. Disrupted cortico – cerebellar connectivity in older adults [J]. *Neuroimage* , 2013 , 83: 103 – 119.
- [26] Wu T , Zang Y , Wang L , et al. Normal aging decreases regional homogeneity of the motor areas in the resting state [J]. *Neurosci Lett* , 2007 , 423( 3) : 189 – 193.
- [27] Cao W , Cao X , Hou C , et al. Effects of cognitive training on resting – state functional connectivity of default mode , salience , and central executive networks [J]. *Front Aging Neurosci* , 2016 , 8: 70.
- [28] Luo C , Zhang X , Cao X , et al. The lateralization of intrinsic networks in the aging brain implicates the effects of cognitive training [J]. *Front Aging Neurosci* , 2016 , 8: 32.
- [29] van den Heuvel MP , Fornito A. Brain networks in schizophrenia [J]. *Neuropsychol Rev* , 2014 , 24( 1) : 32 – 48.
- [30] Kasetos CD , Hyde TM , Herman MM. Neuropathology of the cerebellum in schizophrenia – an update: 1996 and future directions [J]. *Biol Psychiatry* , 1997 , 42( 3) : 213 – 224.
- [31] Konarski JZ , McIntyre RS , Grupp LA , et al. Is the cerebellum relevant in the circuitry of neuropsychiatric disorders? [J]. *J Psychiatry Neurosci* , 2005 , 30( 3) : 178 – 186.
- [32] Schutter DJ , van Honk J. The cerebellum on the rise in human emotion [J]. *Cerebellum* , 2005 , 4( 4) : 290 – 294.
- [33] Rapoport M , van Reekum R , Mayberg H. The role of the cerebellum in cognition and behavior: a selective review [J]. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci* , 2000 , 12( 2) : 193 – 198.
- [34] Bottner C , Bachmann S , Pantel J , et al. Reduced cerebellar volume and neurological soft signs in first – episode schizophrenia [J]. *Psychiatry Res* , 2005 , 140( 3) : 239 – 250.
- [35] Picard H , Amado I , Mouchet – Mages S , et al. The role of the cerebellum in schizophrenia: an update of clinical , cognitive , and functional evidences [J]. *Schizophr Bull* , 2008 , 34 ( 1) : 155 – 172.
- [36] Okugawa G , Nobuhara K , Takase K , et al. Cerebellar posterior superior vermis and cognitive cluster scores in drug – naive patients with first – episode schizophrenia [J]. *Neuropsychobiology* , 2007 , 56( 4) : 216 – 219.
- [37] Kühn S , Romanowski A , Schubert F , et al. Reduction of cerebellar grey matter in Crus I and II in schizophrenia [J]. *Brain Struct Funct* , 2012 , 217( 2) : 523 – 529.
- [38] Womer FY , Tang Y , Harms MP , et al. Sexual dimorphism of the cerebellar vermis in schizophrenia [J]. *Schizophr Res* , 2016 , 176 ( 2 – 3) : 164 – 170.
- [39] Kanaan RA , Borgwardt S , McGuire PK , et al. Microstructural organization of cerebellar tracts in schizophrenia [J]. *Biol Psychiatry* , 2009 , 66( 11) : 1067 – 1069.
- [40] Hüttlova J , Kikinis Z , Kerkovsky M , et al. Abnormalities in myelination of the superior cerebellar peduncle in patients with schizophrenia and deficits in movement sequencing [J]. *Cerebellum* , 2014 , 13( 4) : 415 – 424.
- [41] Collin G , Hulshoff Pol HE , Haijma SV , et al. Impaired cerebellar functional connectivity in schizophrenia patients and their healthy siblings [J]. *Front Psychiatry* , 2011 , 2: 73.
- [42] Anticevic A , Yang G , Savic A , et al. Mediodorsal and visual thalamic connectivity differ in schizophrenia and bipolar disorder with and without psychosis history [J]. *Schizophr Bull* , 2014 , 40 ( 6) : 1227 – 1243.
- [43] Sheffield JM , Barch DM. Cognition and resting – state functional connectivity in schizophrenia [J]. *Neurosci Biobehav Rev* , 2016 , 61: 108 – 120.

- [44] Chen X, Jiang Y, Chen L, et al. Altered Hippocampo – Cerebello – Cortical circuit in schizophrenia by a spatiotemporal consistency and causal connectivity analysis [J]. *Front Neurosci*, 2017, 11: 25.
- [45] Repovs G, Csermanský JG, Barch DM. Brain network connectivity in individuals with schizophrenia and their siblings [J]. *Biol Psychiatry*, 2011, 69(10): 967 – 973.
- [46] Luo C, Zhang Y, Cao W, et al. Altered structural and functional feature of striato – cortical circuit in benign epilepsy with centro-temporal spikes [J]. *Int J Neural Syst*, 2015, 25(6): 1550027.
- [47] Dabbs K, Becker T, Jones J, et al. Brain structure and aging in chronic temporal lobe epilepsy [J]. *Epilepsia*, 2012, 53(6): 1033 – 1043.
- [48] Jiang S, Luo C, Liu Z, et al. Altered local spontaneous brain activity in juvenile myoclonic epilepsy: a preliminary resting – state fMRI study [J]. *Neural Plast*, 2016: 3547203.
- [49] Dong L, Li H, He Z, et al. Altered local spontaneous activity in frontal lobe epilepsy: a resting – state functional magnetic resonance imaging study [J]. *Brain Behav*, 2016, 6(11): e00555.
- [50] Li Q, Luo C, Yang T, et al. EEG – fMRI study on the interictal and ictal generalized spike – wave discharges in patients with childhood absence epilepsy [J]. *Epilepsy Res*, 2009, 87(2 – 3): 160 – 168.
- [51] Gotman J, Grova C, Bagshaw A, et al. Generalized epileptic discharges show thalamocortical activation and suspension of the default state of the brain [J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2005, 102(42): 15236 – 15240.
- [52] Luo C, Li Q, Xia Y, et al. Resting state basal ganglia network in idiopathic generalized epilepsy [J]. *Hum Brain Mapp*, 2012, 33(6): 1279 – 1294.
- [53] Dong L, Luo C, Zhu Y, et al. Complex discharge – affecting networks in juvenile myoclonic epilepsy: a simultaneous EEG – fMRI study [J]. *Hum Brain Mapp*, 2016, 37(10): 3515 – 3529.
- [54] Strain GM, Van Meter WG, Brockman WH. Elevation of seizure thresholds: a comparison of cerebellar stimulation, phenobarbital, and diphenylhydantoin [J]. *Epilepsia*, 1978, 19(5): 493 – 504.
- [55] Kros L, Eelkman Rooda OH, Spanke JK, et al. Cerebellar output controls generalized spike – and – wave discharge occurrence [J]. *Ann Neurol*, 2015, 77(6): 1027 – 1049.
- [56] Kros L, Rooda OH, De Zeeuw CI, et al. Controlling cerebellar output to treat refractory epilepsy [J]. *Trends Neurosci*, 2015, 38(12): 787 – 799.

(收稿日期: 2016 – 12 – 20)

(本文编辑: 唐雪莉)



## 脑影像专题策划人——罗程博士简介

罗程, 工学博士, 加拿大麦吉尔大学蒙特利尔神经研究所 (MNI) 博士后, 电子科技大学副教授, 高场磁共振脑成像四川省重点实验室 (电子科技大学) 副主任, 国际脑图谱组织 (OHBM) 会员, 四川省

认知科学学会理事。担任国内外多家学术期刊的编委、审稿专家以及国家自然科学基金一审专家。目前主要研究方向为多模态磁共振成像方法学研究及其在临床神经精神疾病的应用。已在国外重要学术期刊发表 SCI 收录论文五十余篇, 参编国外英文专著 1 部。这些著作已被引用 1200 余次 (Google Scholar)。目前主持包括 2 项国家自然科学基金面上项目在内的省部级以上项目 5 项。