

## 神经工程

S07

Neural Engineering  
东营厅 Dongying Conf. Rm.

主席：尧德中  
Chair:  
Dezhong Yao



主席：明 东  
Chair:  
Dong Ming



2019年11月15日 星期五 14:00-17:30

时间	演讲者姓名和单位	演讲题目
14:00-14:25	尧德中 电子科技大学生命科学与技术学院	一个基于脑影像的精神分裂症模型
14:25-14:50	吕宝粮 上海交通大学计算机科学与工程系	用异质迁移学习构建跨被试多模态情绪识别模型
14:50-15:15	李小隼 北京师范大学认知神经科学与学习国家重点实验室	计算神经振荡及应用
15:15-15:40	童善保 上海交通大学生物医学工程学院	光基因调控对脑缺血半暗带的神经保护机制研究
15:40-16:00	茶歇	
16:00-16:25	明 东 天津大学医学工程与转化医学研究院	脑-机接口的发展与挑战
16:25-16:50	金 晶 华东理工大学信息科学与工程学院	外围刺激方式下的事件相关电位脑-机接口
16:50-17:15	闫天翼 北京理工大学生命学院	神经反馈和神经调控技术
口头交流报告 2019年11月16日 星期六 8:30-12:00		
时间	演讲者姓名和单位	演讲题目
8:30-8:40	王 刚 西安交通大学生物医学工程系	全身麻醉下的脑电微状态分析研究
8:40-8:50	韩 锦 天津大学精仪学院	基于P300和SSVEP的高效脑控机械臂汉字书写系统
8:50-9:00	郭大庆 电子科技大学神经信息教育部重点实验室	全面性癫痫的多重调控理论
9:00-9:10	林佳吟 中山大学生物医学工程学院	肌肉协同模式的相似性随触碰方向相近而增加
9:10-9:20	李 龙 西安交通大学生物医学工程研究院	触觉刺激下皮质肌肉连接的模式重组
9:20-9:30	胡若晨 中国科学技术大学电子科学与技术系	一种基于肌肉核心激活区域的自适应电极校准方法及其在表面肌电模式识别中的应用
9:30-9:40	汪 靖 皖南医学中国人民解放军总医院第一医学中心 解放军总医院骨科研究所	周围神经再生，神经修复，股脉移植术
9:40-9:50	柯余峰 天津大学医学工程与转化医学研究院	经颅直流电刺激对工作记忆训练的增强作用研究
茶歇 ( 9:50-10:10 )		
10:10-10:20	赖大坤 电子科技大学电子科学与工程学院	脑电高频振荡信号的深度学习分析与癫痫灶定位
10:20-10:30	王秀林 大连理工大学生物医学工程学院	基于耦合张量分解的自然音乐刺激连续脑电分析
10:30-10:40	孙剑飞 东南大学生物科学与医学工程学院	一种基于磁性医药纳米材料的脑区精准磁刺激调控新方法
10:40-10:50	阮 刚 南京大学现代工学院生物医学工程系	纳米材料对临床脑刺激效应的无创增强
10:50-11:00	王小宇 大连理工大学生物医学工程学院	基于行为学与失匹配负波的长时程高空间精度经颅电刺激对于意识障碍患者的治疗效果研究
总结、自由讨论 ( 11 : 00-11:30 )		



### 主席 尧德中

Email: dyao@uestc.edu.cn

电子科技大学生命科学与技术学院教授。国家杰青，长江学者，美国医学与生物工程院 Fellow。他所发明的脑电零参考技术被国际脑成像组织（OHBM）白皮书和国际电生理联盟（IFCN）指南所推荐。先后担任 IEEE T-NSRE 等 6 本国际 SCI 期刊编委，发表 SCI 论文 200 余篇，Google h 指数 41，2014-2017 连续入选 Elsevier “中国高被引学者” 榜单。主要从事脑机接口、脑成像与脑网络、音乐认知与癫痫机制等方面的研究。



### 主席 明东

Email: richardming@tju.edu.cn

天津大学精密仪器与光电子工程学院生物医学工程系教授。首届国家优秀青年科学基金获得者，2010 年度教育部“新世纪优秀人才”，天津市“131”创新型人才培养工程第一层次人选；主攻神经工程（Neural Engineering），包括神经传感与成像、神经接口与康复、神经刺激与调控等基础机理与前沿技术，及其面向物理医学与康复工程、航天医学与人机工程等重大领域的工程应用。



### 特邀演讲者 吕宝粮

Email: bllyu@sjtu.edu.cn

上海交通大学计算机系教授。担任 IEEE 高级会员。在 IEEE Trans. Neural Networks, ICCV 等国际重要刊物和学术会议上发表论文 50 余篇，申请国内外发明专利 9 项。主要研究方向为仿脑计算机理论与模型、神经网络、机器学习、模式识别、计算生物学、计算语言学和脑 - 计算机接口。



### 特邀演讲者 李小隼

Email: xiaoli@bnu.edu.cn

北京师范大学认知神经科学和学习国家重点实验室副主任，杰出青年基金获得者。主持国家自然科学基金重大项目重大研究计划“视听觉信息的认知计算”培育项目，河北杰出青年科学基金，以及教育部新世纪优秀人才支持计划。在国际期刊上发表论文 80 篇，SCI 收录 78，EI 收录 81 篇，出版专著（中 2 部，英 5 章）。主要从事针对功能性脑病的科学研究仪器、医疗器械的研究开发。



### 特邀演讲者 董善保

Email: stong@sjtu.edu.cn

上海交通大学生物医学工程学院副院长、教授。入选上海市教委“曙光学者”，教育部新世纪优秀人才。创办 IEEE EMBS 国际神经工程暑期学校及 IEEE EMBS Shanghai Chapter。主要从事神经工程，神经信号处理，激光散斑血流成像，脑卒中康复技术以及经颅超声神经调控技术等研究。



### 特邀演讲者 金晶

Email: jinjing@ecust.edu.cn

华东理工大学信息科学与工程学院教授。先后担任 Brain Computer Interfaces, Journal of Neuroscience Methods 等期刊编委。IEEE Senior Member, 日本理化研究所访问科学家，国际脑 - 机接口学会 (BCI Society) 理事候选人；2017 年国际脑 - 机接口大赛 (BCI Award) 评审团成员。主要研究方向为：脑机接口技术及应用，智能机器人控制，机器学习与模式识别，脑认知信息解析 (EEG, ECOG)。



### 特邀演讲者 闫天翼

Email: yantianyi@bit.edu.cn

北京理工大学生命学院教授。北京市科技新星获得者。任神经变性病学会磁共振学组常务委员，中国生命电子学会青年委员等。主要从事脑科学、神经工程的相关领域科学研究，致力于将工程技术和信号及图像处理技术应用于神经、精神系统疾病的诊断与治疗研究领域。

## S07-01

### 一个基于脑影像的精神分裂症模型

尧德中

电子科技大学

Email: dyao@uestc.edu.cn

**目的** 精神分裂症是一种病因复杂, 临床表现异质、慢性致残的疾病, 患病率 5.7%, 是国际脑科学领域的重大挑战之一, 学界从不同的角度对其进行了深入的研究, 形成了多种病因假设, 如基于分子神经生物学的多巴胺假设, 各种环境因素导致的发育异常假设, 感觉门控假说和认知紊乱假说, 这些假说犹如盲人摸象, 窥视到了精分症状的部分真谛。近 20 年来, 基于影像的精分研究, 无创的发现了精分患者的脑结构和脑功能的多方面的异常, 那么从影像的角度看, 精分的机制是什么呢?

**方法** 基于多模态的核磁共振影像学数据, 评估了精分患者的脑结构和脑功能的多方面的改变。采用构建结构协变因果网络的方法来分析高分辨率的结构 T1 数据。通过独立成分分析, 功能连接密度分析, 格兰杰因果分析, 基于滑动窗的动态功能连接分析等方法对精分患者的静息态功能脑网络进行全方位评估。

**结果** 基于 T1 影像构建的结构协变因果网络, 发现精分患者的丘脑体积降低先于额叶、颞叶、枕叶、小脑等其它脑区。独立成分分析发现精分患者的基底节网络出现异常的功能分离。动态功能连接分析发现精分患者的初级感知觉网络系统中存在异常的功能动态性。格兰杰因果分析发现精分患者的默认网络、突显网络和中央执行等高级认知网络的有向连接发生改变。综合分析上述多模态影像的研究结果, 发现精神分裂症患者大脑的异常累及了众多的脑区和结构, 但可以大致归结为感知觉、高级认知和皮下调节结构及其相互作用的异常, 在一定程度上呼应了异质的临床表现。

**结论** 综合上述结果和文献报道, 我们推测复杂的精神分裂症可能是由“感知 (S)- 认知 (C)- 调节 (R)”三大模块及其相互作用构成的 RSC 网络决定的, 三大模块中的任一模块或其相互作用的异常造成了复杂的精神分裂症状, 同时提出了不同的具体情况需要不同的治疗策略。

**致谢:** 本报告内容主要由电子科技大学罗程教授和徐鹏教授具体指导的陈曦, 贺辉, 龚津南, 段明君, 蒋宇超, 董德波, 李发礼等研究生完成。

## A Schizophrenia Model Based on Brain Imaging

Dezhong Yao

University of Electronic Science and Technology of China

**Objectives** Schizophrenia is a complex disease with heterogeneous clinical manifestations and chronic disability. And the prevalence rate of schizophrenia is 5.7 % . Since it is one of the heaviest challenges in the field of brain science, schizophrenia has been deeply studied from different perspectives, and many etiological hypotheses have been formed, such as the hypothesis of dopamine based on molecular neurobiology, the hypothesis of developmental abnormalities caused by various environmental factors, the sensory gating hypothesis, and cognitive disorder hypothesis. These hypotheses just took parts for the whole, peeping into the essence of schizophrenia symptoms. In the past 20 years, based on Image-based precision research, many abnormalities of brain structure and brain function have been found non-invasively from patients with schizophrenia. So what is the mechanism of schizophrenia from the perspective of image?

**Methods** Based on multimodal magnetic resonance imaging (MRI), changes in brain structure and function were evaluated in patients with schizophrenia. The causal structural covariant network was constructed to analyze high resolution structural T1 images. By means of independent component analysis, functional connection density analysis, Granger causality analysis and dynamic functional connectivity analysis, we comprehensively evaluated resting state functional brain network in patients with schizophrenia.

**Results** Causal structural covariant network found that the reduction of thalamic volume in patients with schizophrenia preceded to other brain regions such as the cerebellum, frontal, temporal and occipital lobes. Independent component analysis revealed abnormal functional separation in the basal ganglia network in patients with schizophrenia. Dynamic functional connectivity analysis found abnormal functional dynamics in the primary sensory perception system in patients with schizophrenia. Granger causality analysis found changes of directed connections among higher-level cognitive networks including the default mode network, salience network and central executive network in patients with schizophrenia. Comprehensive analysis of the results of multimodal imaging shows that the abnormalities of the brain of schizophrenic patients involve many brain regions and structures, roughly including the abnormalities of perception, advanced cognition, and subcutaneous regulatory structure and their interaction, which echoes the heterogeneous clinical manifestations to some extent.

**Conclusions** Based on the previous results in this study and literature reports, we speculate that schizophrenia may be determined by the RSC network composed by the three modules of S (cognitive) - cognition (C) - regulation (R) and their interactions. Abnormalities happened in any of the three modules or their interaction lead to complex schizophrenia symptoms. At the same time, we emphasize that different treatment strategies match different specific situations.

**Acknowledgments** This study was directed by Professor Peng Xu, Professor Cheng Luo. We also gratefully acknowledge the work of their graduate students Xi Chen, Hui He, Jinnan Gong, Mingjun Duan, Yuchao Jiang, Debo Dong, and Fali Lee.

**S07-02****脑-机接口的发展与挑战**

明 东

天津大学

Email: richardming@tju.edu.cn

**目的** 脑-机接口是将中枢神经系统 (central nervous system, CNS) 活动直接转化为人工输出的系统, 能够替代、修复、增强、补充或改善 CNS 的正常输出, 从而改变中枢神经系统与内外环境之间的交互作用。

**方法** 脑-机接口研究有助于对大脑认知模式、信息流程和控制方式的深入理解, 为解读大脑思维模型和意识形成机制开辟崭新的研究渠道与方法, 其技术成果将为脑认知科学和神经信息学研究开启全新视窗。

**结果** 在脑-机接口技术研发与应用的早期, 主要面向残疾人群。近十几年来, 这项技术快速拓展其应用领域, 已在众多领域显示出广阔的应用前景。目前, 国际脑-机接口的发展呈现百花齐放的状态。

**结论** 总体上看, 我国的脑-机接口技术已与国际保持同步发展, 部分领域甚至处于国际领先地位。但目前脑-机接口仍面临通信带宽窄、系统鲁棒性差等关键共性挑战。未来, 脑-机交互将主要围绕解决现有技术瓶颈和提高解码信息维度两个方向发展, 其长远发展趋势是从目前脑-机单向“接口”进化为双向“交互”并最终“智能”融合。

**Developments and challenges of brain-computer interface**

Dong Ming

Tianjin University

**Objectives** Brain-computer interface (BCI) is a system that directly converts the activities of the central nervous system (CNS) into artificial output. It can replace, repair, enhance, supplement or improve the normal output of CNS, thus changing the interaction between central nervous system and internal or external environment.

**Methods** BCI research is conducive to the in-depth understanding of brain cognitive model, information flow and control mode, and opens up a new research channel and method for the interpretation of the brain thinking model and consciousness formation mechanism. Its technical achievements will open a new window for brain cognitive science and neuroinformatics research.

**Results** In the early development and application of BCI technology, it was mainly aimed at people with disabilities. In recent decades, this technology has rapidly expanded its application field and shown a broad application prospect in many fields. At present, the development of international BCI shows a state of blossoming.

**Conclusions** In general, China's BCI technology has kept pace with international development, some areas even in the international leading position. However, BCI still faces some common challenges such as narrow communication band and poor system robustness. In the future, brain-machine interaction will mainly develop in the two directions of solving the bottleneck of existing technology and improving the dimension of decoding information. Its long-term development trend is from the current one-way brain-machine "interface" to the two-way "interaction" and finally "intelligent" fusion.

**S07-03****用异质迁移学习构建跨被试多模态情绪识别模型**

吕宝粮

上海交通大学

Email: bllu@sjtu.edu.cn

**目的** 由于脑电信号的个体差异性和非平稳特性对情感模型性能产生的影响, 如何构建跨被试脑电情感模型是情感脑-机接口领域的一个重要研究方向。本报告介绍一种新的从眼睛的扫视轨迹进行知识迁移的异质迁移学习方法, 以提升跨被试脑电情感模型的性能。

**方法** 该方法的主要神经生理学依据是, 被试的视觉注视诱发了大脑特定的神经活动, 而这些神经活动产生的脑电信号可以为情绪识别提供重要的情境线索。为了量化不同被试之间的域差异, 我们引入了基于扫视轨迹和基于脑电信号的核矩阵, 并提出了改进的直推式参数迁移学习算法, 以实现跨被试脑电情感模型的构建。该方法与传统方法相比, 具有两个优点: 一是利用了目标被试容易获取的眼动追踪数据进行被试迁移, 二是在目标被试只有眼动追踪数据的情况下, 仍然能够从其他被试的历史数据中学到脑电信号的情绪类别判别信息。

**结果** 为了验证所提方法的有效性, 我们对所介绍的方法与已有的迁移学习方法在三类情绪识别的脑电和眼动数据集上进行了系统的对比实验研究。实验结果表明, 基于眼动轨迹的迁移模型取得了与基于脑电信号的迁移模型相当的识别性能。相对于传统的通用分类器 50.46% 的平均准确率, 基于眼动轨迹的迁移模型的平均准确率达到了 69.72%。

**结论** 本报告介绍了一种新的异质迁移学习方法。该方法利用具有时空特性的眼睛的扫视轨迹进行异质知识迁移, 从而能够构建个性化的基于脑电的情感模型。与脑-机接口领域已有的只使用脑电数据的同质迁移学习框架不同, 我们的方法的主要创新点是利用眼动追踪数据进行系统标定。我们系统地比较了所提方法与已有迁移学习方法的性能。实验结果表明, 我们提出的方法取得了与只使用脑电的同质知识迁移可比的性能, 同时由于目标域被试在训练阶段不需要采集任何脑电数据, 缩短了目标域被试的系统标定时间, 有利于多模态情感脑-

机接口的实用化和扩大大模态情感脑机接口的应用范围。

### Constructing Multi-Modal Emotion Recognition Model across Subjects by Heterogeneous Migration Learning

Baoliang Lv

Shanghai Jiao Tong University

**Objectives** Due to the influence of individual and non-stationary characteristics of EEG signals on the performance of emotional models, how to construct emotional models across EEG is an important research direction in the field of emotional brain-computer interface. This report introduces a new heterogeneous migration learning method for knowledge transfer from the sacral trajectory of the eye to improve the performance of the emotional model across the EEG.

**Methods** The main neurophysiological basis of this method is that the visual gaze of the subjects induces specific brain activity in the brain, and the EEG signals generated by these neural activities can provide important contextual clues for emotion recognition. In order to quantify the domain differences between different subjects, we introduce a kernel matrix based on gaze trajectory and EEG based signals and propose an improved direct push parameter migration learning algorithm to realize the construction of EEG emotional model across subjects. Compared with the traditional method, this method has two advantages: one is to use the eye-tracking data that the target participant can easily obtain for the subject migration, and the other is that in the case where the target subject only has eye-tracking data, it is still possible to learn the emotional category discrimination information of the EEG signal from the historical data of other subjects.

**Results** In order to verify the effectiveness of the proposed method, we conducted a systematic comparative study on the EEG and eye movement datasets of the three types of emotion recognition in the proposed method and the existing migration learning method. The experimental results show that the migration model based on the eye movement trajectory achieves the recognition performance comparable to the migration model based on EEG signals. Compared with the average accuracy of 50.46% of the traditional universal classifier, the average accuracy of the eye movement trajectory-based migration model reached 69.72%.

**Conclusions** This report describes a new approach to heterogeneous migration learning. The method utilizes the trajectory of the eye with spatio-temporal characteristics to perform heterogeneous knowledge migration, thereby enabling the construction of a personalized EEG-based emotion model. Unlike the homogenous migration learning framework that only uses EEG data in the field of brain-computer interface, the main innovation of our method is the use of eye-tracking data for system calibration. We systematically compare the performance of the proposed method with the existing migration learning method. The experimental results show that the proposed method achieves comparable performance with the homogenous knowledge migration using EEG alone and because the target domain participants do not need to collect any EEG data during the training phase, the system calibration of the target domain is shortened. It is conducive to the practical use of multimodal emotional brain-computer interface and the application range of multi-modal emotional brain-computer interface.

### S07-04 计算神经振荡及应用

李小俚

北京师范大学

Email:xiaoli@bnu.edu.cn

**目的** 振荡普遍存在于机械、电子及通信系统，同时也存在于人体组织器官和组织细胞，如神经元的自主放电以及神经元间的连接耦合，导致的神经网络振荡现象。以探索脑功能及其应用为目标的神经振荡计算研究，包括从单神经元放电、神经网络机制、脑认知功能到脑疾病临床诊断应用各个层次的研究，是当前发展最快的前沿热点研究领域之一。

**方法** 研究表明，神经网络的振荡信号包含有典型的频率成分（如 Delta, Alpha, Beta, Gamma 等），随着各种神经信息获取和处理手段的不断丰富，尤其是从神经元细胞到神经网络层次的活动特性研究表明，神经振荡同步是大脑功能活动的重要工作机制，同时发现一些难以治愈的脑疾病（癫痫、老年痴呆症、帕金森病等）是由大脑整体或局部耦合过程的不足或异常造成的。由于不正常的神经振荡同步是脑疾病的一个重要特征，这为研究脑疾病的发病机制及探索新的诊断治疗方法提供了新的途径。

**结果** 本报告首先围绕新颖的神经振荡同步脑科学理论，详细介绍了几类非线性神经振荡分析方法，从多尺度、相似性和临界理论等角度阐述神经网络的振荡行为。其次，围绕当前多通道神经振荡信号分析存在的问题，介绍了基于排序条件互信息、小波分析和矩阵分析的多通道脑电信号的神经振荡同步方法，用于描述各神经（元）网络之间的聚类动力学、网络特性和信息流。最后，围绕计算神经振荡方法在临床诊断和治疗上的应用，详细地介绍了神经振荡同步与癫痫发作的关系，系统地分析了癫痫发作相关的问题，包括癫痫发作机理分析、预测和定位。并且将非线性计算神经振荡方法应用于麻醉深度监测，从脑电信号中提取与麻醉药物剂量相关的指数，可以实现对麻醉深度的实时监测。

结论 综上所述, 神经振荡计算方法有望解读海量神经科学实验数据, 并据此提出和检验各种科学假说, 同时也为神经临床诊断和治疗提供新的理论支撑。

### Computational Neuro-Oscillation and Application

Xiaoli Li

Beijing Normal University

**Objectives** Oscillations generally exist in mechanical, electronic and communication systems, but also in human tissues and organs cells, such as the spontaneous firing of neurons and the coupling of connections between neurons, resulting in the phenomenon of neural network oscillation. The computational research on neural oscillations which aimed at exploring brain function and its application, including the research on every level from single neuron discharge, neural network mechanism, brain cognitive function to clinical diagnosis and application of brain diseases, is one of the most rapidly developing research areas.

**Methods** Research shows that the neural network oscillation signal contains a typical frequency component (such as Delta, Alpha, Beta, Gamma, etc.). With a variety of enrichment of neural information acquisition and processing methods, especially from neuron to neuron network level of electrical activity characteristic research shows that the neural oscillation synchronization is the important mechanism of brain activity, also found some intractable brain diseases (such as epilepsy, Alzheimer's, Parkinson's disease, etc.) is due to insufficient or abnormal coupling process of the whole or partial brain. As abnormal synchronization of neural oscillations is an important feature of brain diseases, it provides a new way to study the pathogenesis of brain diseases and explore new diagnostic and therapeutic methods.

**Results** This research first focuses on the novel synchronous brain science theory of neural oscillation, and introduces several kinds of nonlinear neural oscillation analysis methods in detail, and explains the oscillation behavior of neural network from the perspectives of multi-scale, similarity and critical theory. Secondly, focusing on the problems existing in the current analysis of multi-channel neural oscillation signals, this paper introduces the synchronization method of multi-channel EEG signals based on mutual information, wavelet analysis, and matrix analysis, which is used to describe the clustering dynamics, network characteristics and information flow among various neural (meta) networks. Finally, based on the application of computational neural oscillation method in clinical diagnosis and treatment, the relationship between neural oscillation synchronization and epileptic seizure was introduced in detail, and the problems related to epileptic seizures were systematically analyzed, including the mechanism analysis, prediction, and localization of epileptic seizure. In addition, the nonlinear neural oscillation method is applied to the depth monitoring of anesthesia, and the indexes related to the dose of anesthetic drugs are extracted from the EEG signals, which can realize the real-time monitoring of the degree of anesthesia.

**Conclusions** To sum up, the calculation method of neural oscillation is expected to interpret the massive experimental data of neuroscience, put forward and test various scientific hypotheses accordingly, and provide new theoretical support for clinical diagnosis and treatment of neurology.

### S07-05

#### 光基因调控对脑缺血半暗带的神经保护机制研究

童善保

上海交通大学

Email: stong@sjtu.edu.cn

**目的** 通过利用光基因技术在细胞特异性水平实现高时空分辨率的神经调控, 研究急性期脑缺血半暗带的神经保护机制。

**方法** 在SD大鼠中, 利用光栓法诱导局灶性脑缺血模型。通过光基因技术实现特定区域细胞特异性水平的调控: (1) 对半暗带椎体神经元进行抑制性刺激; (2) 对患侧脑血流灌注正常区域的椎体神经元进行兴奋性刺激; 对照组在造模后不接受光基因刺激。利用激光散斑成像技术获得二维高分辨率的脑血流图像, 实现脑缺血后血流灌注情况的实时监测, 并在缺血24小时和48小时后采集光基因刺激或电刺激下的血液动力学响应, 为脑缺血后神经血管耦合功能和偏侧性的评估提供依据。

**结果** 脑缺血急性期半暗带神经元的抑制性调控可以抑制组织酸化, 减少半暗带的扩展, 进而起到保护作用, 并有效地降低偏侧性, 促进神经功能康复; 对患侧脑血流灌注正常区域的神经元进行兴奋性调控, 可以促进侧支循环, 抑制急性期半暗带的扩展, 产生保护作用, 从而使神经血管耦合功能保持完整。行为学评分和组织切片的结果进一步证实了以上保护作用。

**结论** 光基因调控为理解脑缺血后半暗带神经保护机制的研究提供了有力的工具, 针对脑血流灌注水平的差异进行特异性的调控, 有助于在临床研究中更好地设计神经调控范式, 促进缺血后脑功能的康复。

### Studies on the Neuroprotective Mechanism of Photogenetic Regulation on Cerebral Ischemic Penumbra

Shanbao Tong

Shanghai Jiao Tong University

**Objective** To study the neuroprotective mechanism of acute cerebral ischemic penumbra by using photogenetic technology to achieve a high spatial and temporal resolution of neuromodulation at the cell-specific level.

**Methods** The focal cerebral ischemia model was induced by light suppository in SD rats. Regulate the cell-specific levels in specific regions by photogenetic technology: (1) Inhibitory stimulation of penumbra vertebral neurons. (2) Excitatory stimulation was performed on vertebral neurons in the affected side which the region of the cerebral blood flow is normal; the control group did not receive photogene stimulation after modeling. Using laser speckle imaging technology to obtain two-dimensional high-resolution cerebral blood flow images to achieve the real-time monitoring of blood perfusion after cerebral ischemia, and after 24 hours and 48 hours of ischemia, collecting the response of Hemodynamic which is under the photogenetic or electrical stimulation, provides a basis for the assessment of neurovascular coupling and laterality after cerebral ischemia.

**Results** Inhibitory regulation of penumbra neurons in the acute phase of cerebral ischemia can inhibit tissue acidification, reduce the spread of penumbra, and thus have protective effects and effectively reduce the laterality and promote the recovery of neurological function; Excitatory regulation of neurons in the normal region of the cerebral blood flow can promote collateral circulation, inhibit the expansion of the penumbra in the acute phase, and produce a protective effect, so that the neurovascular coupling function remains intact. The results of behavioral scoring and tissue sectioning further confirmed the above protective effects.

**Conclusions** Photogenetic regulation provides a powerful tool for understanding the neuroprotective mechanism of penumbra after cerebral ischemia and specifically regulates for the difference in cerebral blood perfusion levels, which helps to better design in clinical research. The photogenetic regulation also promotes the recovery of brain function after ischemia.

## S07-06

### 外围刺激方式下的事件相关电位脑-机接口

金晶

华东理工大学

Email: jinjing@ecust.edu.cn

**目的** 研究表明, 基于事件相关电位 (ERP) 的脑-机接口 (BCI) 系统可以为肌萎缩侧索硬化症 (ALS) 患者与外界提供交流通道。通常, 这类脑-机接口范式是在视野中央的矩阵中呈现字符。然而一些研究发现, 基于矩阵的呈现范式存在一些问题。这种矩阵范式可能会引起疲劳, 也可能会由于相邻刺激闪烁导致错误。此外, 对于那些希望在监视器中心呈现反馈或者与其他应用一起使用的用户来说, 这种矩阵范式是不可行的。

**方法** 本文提出了一种新型的事件相关电位脑-机接口呈现范式, 通过在显示器的外围区域来呈现刺激, 减少邻近干扰问题, 将显示器的中心区域用来反馈或用于其他应用程序。并且招募了 18 名 ALS 病人对这两种呈现范式 (外围刺激范式和传统的矩阵范式) 进行了实验验证, 一方面比较两种范式的性能差异, 另一方面在线评估被试连续拼写 42 个字符的性能。

**结果** 实验结果表明, 外围呈现范式在准确率和信息传输率两方面均优于传统的矩阵呈现范式 (83.5% vs. 82.0%; 39.0bits/min vs. 37.7bits/min)。而且在所提出的新型范式中, 有 12 名被试的在线反馈准确率高于 80%, 其中 7 名被试的准确率高于 90%。

**结论** 对于 ALS 病人而言, 本文提出的外围刺激方式的呈现范式是有效的, 且实际性能略好于传统的矩阵呈现范式。这种新型的范式在脑-机接口系统中是一次有意义的尝试, 具备一定的应用价值。

## Event-Related Potential Brain-Computer Interface in Peripheral Stimulation Mode

Jing Jin

East China University of Science and Technology

**Objectives** Studies have shown that event-related potential (ERP) based brain-computer interface (BCI) system can provide communication channels for patients with amyotrophic lateral sclerosis (ALS). Usually, this BCI paradigm presents characters in a matrix at the center of the field of vision. However, some studies have found that there are some problems in the matrix-based presentation paradigm which may cause fatigue or errors due to adjacent stimulus flickering. In addition, this paradigm is not feasible for users who want to present feedback in the monitor center or use it with other applications.

**Methods** In this paper, we proposed a novel paradigm of ERP-BCI presentation that presents stimuli in the peripheral area of the display, which reduces adjacent interference, and uses the central area of the display for feedback or other applications. Eighteen ALS patients were recruited to validate the two presenting paradigms (peripheral stimulus paradigm and traditional matrix paradigm). On the one hand, the performance differences between the two paradigms were

compared, and on the other hand, the performance of 42 consecutive characters was evaluated online.

**Results** The experimental results show that the peripheral presentation paradigm is superior to the traditional matrix presentation paradigm (83.5% vs. 82.0%; 39.0bits/min vs. 37.7bits/min). In the proposed new paradigm, 12 subjects had more than 80% accuracy of online feedback, and 7 of them had more than 90% accuracy.

**Conclusions** For ALS patients, the presented presentation paradigm of peripheral stimulus is effective, and its actual performance is slightly better than the traditional matrix presentation paradigm. This new paradigm is a meaningful attempt in the brain-computer interface system and has certain application value.

## S07-07

### 神经反馈和神经调控技术

闫天翼

北京理工大学

Email: yantianyi@bit.edu.cn

**目的** 神经反馈是基于脑-计算机接口的自我靶向脑功能调节技术，神经调控是通过电刺激等手段调节神经系统活动技术。作为临床干预手段，神经反馈与神经调控已被证明可有效缓解神经退行性疾病症状，及增强健康人认知功能。我们搭建基于脑电神经反馈平台和研发无创深部电刺激器设备，为神经机制研究和临床疾病治疗提供有效工具。

**方法** 基于脑-机接口技术搭建神经反馈平台，以实时 ERP 神经反馈技术验证平台有效性和应用价值。基于神经调控技术开发无创深部时间干扰电刺激器，通过多种功能测试及临床动物实验，确定设备负载容量和输出性能，验证设备有效性。

**结果** 脑电神经反馈平台是基于“4层架构模型”的在线平台，该模型由三个软件模块组成，可用于神经反馈实验设计，在线脑电数据处理和神经反馈训练。基于该平台能够完成脑电神经反馈并优化反馈方案参数。无创深部时间干扰电刺激器包含6个独立通道用于高频电刺激信号输出，并基于模拟相位累积，反向电流泵驱动，光谱分析等技术解决精确输出，通道间串扰和生物阻抗测量等问题，临床实验中通过对小鼠运动皮层刺激可诱发其前肢抖动。

**结论** 脑电神经反馈平台能够为神经反馈实验方案设计和脑-机交互技术发展提供良好基础。同时无创深部时间干扰电刺激器可有效靶向刺激大脑深部功能区，为神经调节的临床治疗提供有利工具。

## Neurofeedback and Neuromodulation Techniques

Tianyi Yan

Beijing Institute of Technology

**Objectives** Neurofeedback is a self-targeted brain function regulation technology based on brain-computer interface. Neuromodulation is a technology that regulates the activity of the nervous system by means of electrical stimulation. As a clinical intervention, neurofeedback and neuromodulation have been proved to be effective in relieving symptoms of neurodegenerative diseases and enhancing cognitive functions in healthy people. We have built a platform based on EEG neurofeedback and developed a non-invasive deep electric stimulation device to provide an effective tool for neurological mechanism study and clinical disease treatment.

**Methods** We built the neurofeedback platform based on brain-computer interface technology and verified the effectiveness and application value of the platform by real-time ERP neurofeedback technology. We developed the non-invasive deep time-interfering electrical stimulator based on neural regulation technology, the load capacity and output performance of the equipment were determined through various functional tests and clinical animal experiments, and the effectiveness of the equipment was verified.

**Results** The EEG feedback neural platform is an online platform based on the “4 layers architecture model”, it is composed of 3 modules, which can be used in the design of neurofeedback experiments, online EEG data processing, and neurofeedback training. Based on this platform, we can implement EEG neurofeedback and optimize feedback scheme parameters. The non-invasive deep time-interfering electrical stimulator contains 6 independent channels for outputting high-frequency electrical stimulation signals. And based on analog phase accumulation, reverse current pump drive, spectrum analysis technology to solve such problems as output precision, crosstalk between channels and bioimpedance measurement. In clinical experiments, stimulating the motor cortex of mice can induce their forelimbs shaking.

**Conclusion** The EEG neurofeedback platform can provide a good foundation for the design of neurofeedback experimental and the development of brain-machine interaction technology. Meanwhile, the non-invasive deep time-interfering electrical stimulator can effectively target the stimulation of deep brain functional areas and provide a favorable tool for clinical treatment of neuromodulation.



## S07-OR04

### 一种基于磁性医药纳米材料的脑区精准磁刺激调控新方法

孙剑飞

东南大学

【目的】近年来，抑郁等精神类疾病日益呈现高发的态势，给社会和家庭带来了沉重的负担。这类疾病与高级神经环路的异常变化相关，机制复杂，目前往往缺乏有效的药物治疗手段。作为临床上药物治疗的重要替代手段之一，磁刺激在神经及精神类疾病中的有着重要而广泛的应用。FDA 已经通过了经颅磁刺激 (TMS) 对重度抑郁的临床治疗应用，同时 TMS 也在其他很多疾病方面开展了广泛的临床研究。但是 TMS 在针对动物的机制研究、深部脑区刺激以及日常自我治疗等方面的应用上还存在着改进空间，如何突破磁场聚焦性与精准性的矛盾，降低输出功率，实现更高效的精准刺激是当前磁神经环路调控亟待解决的重要问题之一。针对此问题，我们提出了利用医药磁性纳米材料增大脑区的局部磁导率，提高对外磁场刺激响应的新策略，利用 0.1T 的磁场，在小鼠上有效地实现了快速抗抑郁和对深部脑区的神经核团—室旁核的精准刺激，可有效调控神经内分泌。【方法】我们通过慢性不可预知压力方法建立了抑郁小鼠模型，通过原位注射方法将医药磁性纳米材料递送入 PrL 脑区。研制了一台最大磁场强度 100mT 的连续波脉冲磁场，利用该磁场结合磁性纳米材料对小鼠展开了磁刺激研究，实验中利用金纳米颗粒做了对照。【结果】发现在 10Hz 磁场作用下，5 天即可实现显著的抗抑郁效果。对照实验表明，这是来自于磁场和磁性纳米材料的协同作用。该方法对于海马区的刺激依然有效，并且发现对于海马区来说，双侧刺激效果反而不如单侧刺激。进一步将该方法用于室旁核神经内分泌的调节，发现能够有效改变催产素的分泌，进而可调控小鼠的社交行为和骨代谢情况。【结论】该方法实现了对小动物特定脑区的精准磁刺激，有效改善了小鼠的抑郁及内分泌状态，将来在神经科学机制研究及临床疾病治疗上有重要应用潜力和价值。

【关键词】神经磁刺激；磁性纳米材料；磁效应；抗抑郁；神经内分泌

## S07-OR05

### 脑电高频振荡信号的深度学习分析与癫痫灶定位

赖大坤

电子科技大学

【目的】癫痫是一种常见的神经系统疾病。近年来研究表明，频率在 80~500Hz 内的高频振荡信号 (HFO, high frequency oscillations) 或将成为一种新的癫痫灶生物标志物。人工检测 HFO 不仅耗时耗力，而且效果易受到疲劳工作的影响。现有的检测算法多集中在人工提取特征，使用深度学习算法自动提取特征可能会提升检测算法性能。本研究总体目标为设计基于深度学习的 HFO 自动检测算法并定位癫痫灶。【方法】本团队提出了一种基于卷积神经网络和短时能量法的 HFO 自动检测算法，进而研究了基于检测出的 HFO 信号和支持向量机的一种癫痫灶的自动定位方法。HFO 自动检测算法首先对信号进行格式转换和分段 (10 分钟一段)，其次对分段后的信号进行带通滤波和去噪以及分帧 (5ms 一帧) 处理，再次，计算该段信号每帧的短时能量并设置能量阈值，若连续五帧 (25ms) 能量超过阈值则认为是一个疑似 HFO，最后，对疑似 HFO 片段做小波变换，将生成的时频图送入训练好的卷积神经网络进行分类得到判断结果。在定位算法中，首先筛选出每个信号片段每个通道中的 HFO 片段，再计算该片段该通道 HFO 的率、持续时长、幅度及能量特征，最后利用训练好的支持向量机对提取的特征矩阵进行分类，判断该通道是否为癫痫灶。【结果】本团队建立的 HFO 数据库中共有五例来自癫痫患者皮层脑电数据，采集 46-110 个通道，共 68-208 小时信号。本文 HFO 自动检测算法的灵敏度和误检率分别为 88.16% 和 12.58%。本文中癫痫灶定位算法最优灵敏度为 79.2%，特异性为 91.8%，准确率为 86.0%。【结论】本文 HFO 检测算法能够在较短的时间内分析大量数据，有效检测出颅内脑电信号中的高频振荡信号并标记出高频振荡信号的起止时间，同时，算法能有效地规避干扰噪声和由滤波而产生的伪振荡，本文定位算法能够根据通道内 HFO 的各项综合特征区分出癫痫发作始发区通道，可以为临床提供有意义的信息。

【关键词】癫痫；高频振荡；深度学习；脑电；人工智能

## S07-OR06

### 经颅直流电刺激对工作记忆训练的增强作用研究

柯余峰

天津大学

【目的】工作记忆是人的重要高级认知功能之一，然而，众多研究表明，老化、睡眠剥夺、神经系统疾病等众多因素都会影响工作记忆能力。本研究采用工作记忆训练结合阳极经颅直流电刺激 (tDCS) 的方法，研究 tDCS 对工作记忆训练的增强作用及其相应的神经生理效应。【方法】本研究开展了连续十天的经颅电刺激联合工作记忆训练实验，工作记忆任务采用字符 N-back，并在训练前一天、训练后一天、训练后 20 天和训练后 90 天进行工作记忆测试，前三次工作记忆测试时同步采集脑电。实验设置了真刺激组和伪刺激组，各 15 名被试，阳极 tDCS 刺激部位为背外侧前额叶。统计分析训练前后的工作记忆任务的行为学变化规律，并分析任务态脑电的事件相关谱扰动 (ERSP)，对比事件相关同步 / 去同步 (ERS/ERD) 在训练前后的变化在真、伪刺激组之间的差异。【结果】行为学数据分析发现，真刺激组在训练后的工作记忆能力显著优于伪刺激组，且在训练后 90 天仍然能够保持优势。通过分析训练前后工作记忆任务下的脑电信号发现，真刺激组训练后第一天的前额区  $\alpha$  频段 ERD 显著弱于伪刺激组，但训练后第 20 天的 ERD 在真、伪刺激组之间无显著差异，而真刺激组前

额区  $\beta$  频段的 ERD 在训练后一天和训练后 20 天均显著弱于伪刺激组。进一步分析发现, 伪刺激组  $\alpha$  频段的在训练后一天的 ERD 与训练前无显著差异, 但训练后 20 天的  $\alpha$  频段 ERD 相对训练前显著减弱, 而伪刺激组在训练后 20 天  $\beta$  频段的 ERD 与训练前无显著差异。

【结论】阳极 tDCS 刺激背外侧前额叶能够显著加强工作记忆训练效果。ERD 的变化规律表明, 阳极 tDCS 刺激背外侧前额叶显著加强了工作记忆训练引起的神经可塑性变化, 并且这一作用在训练后的 20 天仍存在。本研究发现了 tDCS 增强工作记忆训练的行为学证据和神经响应层面的证据, 研究结果有望为增强正常人或神经系统疾病患者的工作记忆等认知功能的训练效果提供借鉴。

【关键词】经颅直流电刺激; 工作记忆训练; 脑电; 事件相关同步 / 去同步

## S07-OR07

### 全身麻醉下的脑电微状态分析研究

王 刚

西安交通大学

【目的】通过头皮脑电研究意识丧失过程, 包括麻醉中的空间时间特征在目前仍然十分具有挑战性。近年来, 一种称为微状态的准稳定状态研究, 刻画了大脑电位变化的几类主要拓扑。用微状态来研究麻醉过程, 可以帮助我们更加了解麻醉过程中大脑的动态调制机理, 也有可能开发出新的麻醉深度监测指标。【方法】本研究的数据涵盖了 20 位被试在四个由异丙酚引导的麻醉状态下 (基本静息态、轻微麻醉态、中度麻醉态和恢复) 的高密度脑电数据。通过 Modified k-means 算法对脑电拓扑进行聚类得到微状态, 并对微状态进行基本参数的计算。除此之外, 本研究首次将嵌入多通道经验模式分解的希尔伯特 - 黄变换运用在微状态功率分析中, 计算与分析微状态功率数值和拓扑信息的变化。由于每个个体在相同药物注射浓度下, 真正的麻醉意识水平由于个体本身的差异不尽相同, 为了发掘个体上微状态参数与意识水平的关系, 本文对以上在中度麻醉状态的结果与被试的行为学数据进行了线性回归计算。【结果】除了四种经典的微状态之外, 本研究首次发现一种非常规存在的微状态拓扑, 微状态 F 的出现, 并在麻醉过程中扮演着十分关键的角色, 其各项参数产生了十分值得关注的变化。具体来说, 微状态 F 的平均持续时间、覆盖率和出现频率会随着麻醉状态的深入而显著增加。并且, 微状态的功率分析说明了麻醉镇静的过程往往伴随着所有微状态在  $\beta$  频带功率的上升, 以及微状态 F 在所有频带功率的增大。

【结论】通过行为学数据与微状态计算结果的相关分析, 本文从两个角度: 微状态基本参量和功率分布上, 找到了能够直观反映麻醉中意识水平的和反映血液中异丙酚浓度的新指标。这些指标具有十分大的潜力在将来作为麻醉过程中对意识水平、血浆内药物浓度等进行评估和预测的动态指标, 广泛适用于不同麻醉耐受的正常人群。

【关键词】脑电微状态; 多通道经验模式分解; 微状态功率分析; 麻醉监测

## S07-OR08

### 一种基于肌肉核心激活区域的自适应电极校准方法及其在表面肌电模式识别中的应用

胡若晨

中国科学技术大学

【目的】在基于表面肌电信号的手势识别领域, 表面电极相对于肌肉的偏移是影响肌电控制性能和阻碍其实际应用的关键问题, 这种偏移可能来源于表面电极在更换过程中的移动, 也可能来源于动态手动动作完成的程度不同。为了克服电极偏移的影响, 本文从生理层面提出了一种基于肌肉核心激活区域的无监督自适应电极校准方法, 并结合长短期记忆神经网络实现高精度的手势识别。【方法】本研究利用四块阵列表面电极分别贴附在前臂伸肌 (E1: 8 行  $\times$  6 列)、前臂屈肌 (E2: 8 行  $\times$  6 列)、肱二头肌 (E3: 4 行  $\times$  4 列) 和肱三头肌 (E4: 4 行  $\times$  4 列) 共四块肌肉区域, 记录执行九个精细的手腕、手指屈伸任务时的表面肌电信号。单次实验任务中每个手势动作执行八遍, 所有实验任务重复五次, 每次均更换电极片。利用独立成分分析 (ICA) 将 E1 和 E2 两块电极的表面肌电信号分别分解为混合矩阵和若干源信号, 能量较大的源信号被认为是主要贡献源, 其对应的混合矩阵中的线性系数向量按照电极的实际通道顺序重新排列, 系数较高的区域被认为是该肌肉群的核心激活区域。将 E1、E2 两块电极的核心激活区域的肌电信号和 E3、E4 两块电极的肌电信号合并输入长短期记忆神经网络 (LSTM), 利用有监督学习进行模型的构建。【结果】在离线条件下进行测试, 构建的网络识别准确率达到约 85%, 相比于未进行电极通道校准时提升 20% 左右。此外, 软间隔的支持向量机 (SVM) 被作为传统分类器参与手势识别任务, 同等条件下, LSTM 相比于 SVM 的识别率高 30% 左右, 且性能更加鲁棒。【结论】该自适应的电极校准方法对于小样本量数据集意义重大, 可以有效地克服不同因素带来的电极偏移的影响, 提升手势识别的准确率; 同时, 对于连续型动态手势, 长短期记忆神经网络相对于传统的机器学习方法, 具有更好的识别效果和更鲁棒的性能。

【关键词】阵列表面肌电信号; 手势识别; 独立成分分析; 肌肉核心激活区域; 长短期记忆神经网络

## S07-OR09

## 触觉刺激下皮质肌肉连接的模式重组

李 龙

西安交通大学

【目的】触觉是人体运动控制中不可缺少的反馈，同时触觉反馈是完成精确任务的前提条件。而65%的卒中患者都存在不同的触觉丧失，这一问题严重影响了患者的实际康复效果。因此，探究触觉机制，寻找有效的触觉补偿方法是非常有必要的。然而，以往对触觉刺激的研究主要集中在静态触觉刺激对运动皮层的影响上，而触觉反馈刺激在动态运动任务中的作用尚不清楚。皮质肌相干 (Corticomuscular Coherence) 是研究动态运动任务的有效方法。最近的证据表明，在 $\beta$ 带的触觉刺激增强了CMC (Corticomuscular Coherence)。但是，在动态运动任务中，触觉刺激的机制还不清楚。为了探讨触觉刺激在动态运动任务中的作用，我们研究了运动任务中EEG/EMG与触觉刺激输入的皮质相关性，包括皮层肌肉连贯性和收敛交叉映射 (Convergent Cross Mapping)。【方法】在这项研究中，17名受试者被招募来完成刺激性和非刺激性运动任务。实验过程中，要求受试者根据屏幕提示完成抓握器的抓握任务。每项任务包括一个2秒的收缩期、一个4秒的保持期和一个2秒的休息期。刺激组的任务与非刺激组相同，但不同的是，在4秒的保持期内，受试者的手掌受到固定频率的振动触觉刺激。【结果】分析实验结果发现：(1) EMG/EEG的功率没有统计学差异；(2) 在前额叶高级皮层区，相干在动态力输出期和恒定力输出期有显著的频移，刺激组和非刺激组脑肌耦合性在前额叶高级皮层区Bate带具有显著差异。其他脑区CMC差异无统计学意义。(3) 通过CCM因果关系分析，发现刺激组的因果关系明显提高。【结论】通过实验我们发现，CMC的时频分析显示体感相关皮层明显参与了动态运动任务。在运动和保持阶段高级皮层CMC活跃频带明显出现了一个频移现象。同时，在消除了注意力的干扰后，我们没有发现与之前的研究相似的结果——触觉刺激导致伽马能带CMC活性增加。相反，CCM因果关系分析显示，触觉刺激能显著增强大脑皮层与肌肉之间的联系。我们推测触觉刺激可以增强皮质肌的因果关系，触觉刺激对皮质肌连贯性的影响可能有更复杂的机制。这项研究为触觉反馈的神经机制提供了新的见解，也为触觉反馈任务中大脑网络的因果关系提供了更多的信息。

【关键词】触觉反馈；脑肌耦合；收敛交叉映射；脑电图

## S07-OR10

## 肌肉协同模式的相似性随触碰方向相近而增加

林佳吟

中山大学生物医学工程学院

【目的】肌肉协同模式分析在神经运动控制机制研究及康复工程中得到广泛应用，如观察中枢神经系统(CNS)如何协调多块肌肉及自由度以实现多种目标动作、实现康复机器人和功能电刺激(FES)的低维控制。然而，关于肌肉协同模式所描述的是CNS的运动控制机制或是任务约束，仍未有定论。因此，大量研究通过观察肌肉协同模式的结构在不同的实验任务中是否相似，即各块肌肉在单个模式向量中的比例是否稳定，从而反映出模式结构是否受任务约束影响。如Israely等人认为模式可反映CNS控制机制，通过时域上以不同幅度激活一组代表肌肉协同模式中的各个向量，可实现9个方向上的触碰动作。然而，有些研究持相反观点，如Muceli等人指出，疼痛刺激引起了肌肉协同模式的改变，且改变方式依赖于疼痛条件，这一现象说明了肌肉协同模式的任務相关性。此外，Israely指出9个方向触碰动作的代表肌肉协同模式与单方向的模式只有中等的相似性，说明CNS的调控基于一套共有的基本肌肉协同模式，同时代表肌肉协同模式忽略了某些与触碰方向相关的特征。【方法】本工作创建了一个虚拟现实环境，其中十二个目标球随机且等距出现在圆周上，要求受试者在一次试验中成功触碰这十二个目标球，完成三次试验。采集八块上肢肌肉的表面肌电信号(EMG)，分别是：肱二头肌、肱三头肌、三角肌中束、旋前圆肌、肱肌、肱桡肌、胸大肌锁骨头及冈下肌。将预处理后的12个触碰方向的EMG按方向顺序串接成一个肌电矩阵，利用非负矩阵分解算法从中提取出代表肌肉协同模式，从12个包含单方向触碰的EMG矩阵中分别提取12个单方向肌肉协同模式。计算不同方向的模式之间的皮尔逊相关系数(R)以量化相似性，并以方向距离为因素进行重复性测量方差分析。【结果】结果表明，代表肌肉协同模式与12组单方向的肌肉协同模式有中等相似性；当触碰方向相近时，肌肉协同模式的相似性显著增加，说明了触碰方向对肌肉协同模式结构的影响。【结论】由此，我们提出CNS根据不同的任务约束对基本肌肉协同模式进行调整，从而调解了关于肌肉协同模式是反映控制机制还是任务约束的争论。这项研究指出了肌肉协同模式结构与任务约束的关系，有助于预测和设计适应于不同任务情景的模式结构，对实现外骨骼机器人和FES的精细控制有引导作用。

【关键词】肌肉协同模式；触碰方向；相似性；神经运动控制机制；非负矩阵分解算法

## S07-OR11

## 全面性癫痫的多重调控理论

郭大庆

电子科技大学

【目的】癫痫是全球重大神经系统疾病之一，长期反复的癫痫发作可导致患者多种认知功能损伤，因此对其发病机制和干预手段的研究，具有重大科学意义和潜在医学应用前景。对癫痫机制的研究不仅需要整合跨尺度、多模态神经数据，还需要充分借助理论与多层次神经计算模型。作为一类常见的特发性全面性癫痫，失神癫痫是主要发病于儿童时期，其异常放电特征是仅维持数秒的2-4Hz棘慢波。近期研究表明，失神癫痫特异性放电的产生与皮层-丘脑系统异常交互高度相关，而皮层-丘脑系统内部的前馈抑制性通路基底节均可能参与

了失神癫痫异常放电的调控，但相关调控的生物物理学机制尚不明确。【方法】利用啮齿类动物的解剖学数据，我们率先建立了“皮层-丘脑-基底节”神经环路的神经场计算模型，系统地提出失神癫痫特征放电的多重调控机制。【结果】我们发现基底节可以通过黑质网状部 (SNr) 发往特定丘脑核与丘脑网状核的两条通路调控失神癫痫，而且由于双通路竞争的存在，从正常发放水平升高或降低 SNr 处神经元活性能双向抑制失神癫痫放电。在此基础上，我们发现提升基底节中苍白球外侧 (GPe) 神经元的活性，能够通过 GPe 发往皮层的直接抑制性投射压制失神癫痫放电行为。此外，丘脑内部的前馈抑制性通路在调控失神癫痫过程中扮演着重要的角色，增强该前馈抑制性通路的强度可以压制失神癫痫特征放电行为。【结论】以上结果为建立“失神癫痫的皮层-丘脑内/外部多重调控框架”提供了理论基础。考虑到全面性癫痫一般均涉及皮层-丘脑网络异常，上述研究成果为进一步临床干预全面性癫痫预示了新的可能。

【关键词】全面性癫痫；失神癫痫；基底节；皮层-丘脑系统；计算神经科学

## S07-OR12

### 基于 P300 和 SSVEP 的高效脑控机械臂汉字书写系统

韩 锦

天津大学

【目的】目前基于视觉型脑-机接口 (Brain-computer interface, BCI) 的汉字书写系统获得了越来越多的关注，由于汉字具有二维拓扑信息，而 BCI 的输出模式仅为一维，因此大部分研究是“拼”而不是“写”汉字。本研究将 BCI 与机械臂技术相结合，首次提出了一种新的视图编码方法——“像素书法”，基于此设计了一种大指令集 (108 个)、高速率、舒适度较好的高效 BCI 汉字书写系统，首次实现了 BCI 信息输出方式由一维到二维的变革。【方法】该系统主要包括 BCI 编解码子系统、坐标映射算法、机械臂子系统。对于 BCI 子系统，刺激界面包括 12 个独立且频率相位不同的子拼写器，每个子拼写器内的 9 个像素块以不同的伪随机顺序遍历闪烁。每个像素块的刺激持续时间为 200ms，刺激间隔为 -100ms。所有子拼写器同时触发，仅用时 1 秒，所有像素完成一次完整闪烁，称为 1 个轮次。每个像素的中心称为端点，对需要编码的汉字目标设置成由若干个目标端点组成的二维拓扑结构。通过对目标端点的识别顺序和端点之间连接关系的规定，就能实现对具有二维拓扑结构目标的编码和解码。坐标映射算法主要是将 BCI 输出的二维信息映射为智能机械臂的 6D 空间坐标，实现对机械臂系统的指令输入。机械臂子系统主要对 BCI 输出的二维信息进行实时的书写。【结果】系统采用任务相关成分分析算法，提取 4 种特征 (统称为混合特征) 用于分类：传统的时间调制 P300、频率相位调制稳态视觉诱发电位 (steady-state visual evoked potential, SSVEP)，和本研究首次提出的时间调制 SSVEP、频率相位调制 P300。对 10 位受试者进行的离线结果表明：混合特征比单一特征提供了更多的信息，实现了更好的分类结果；在线结果表明，所有被试在第一个轮次处书写汉字“福”的平均正确率为 81.67%，证明了本系统的可行性和有效性。【结论】该系统实现了 BCI 对具有二维拓扑结构目标的编码，并解码输出二维信息的变革，是目前最高像素分辨率、最大指令集的高速 BCI 系统。在神经工程领域，该系统大大拓宽了 BCI 的控制自由度，具有广阔的应用前景和优势。

【关键词】超大指令集；高速 BCI 系统；汉字书写；SSVEP；P300

## S07-OR13

### 静脉复合神经组织活性微颗粒修复大鼠坐骨神经缺损的实验研究

汪 靖

皖南医学院

【目的】周围神经损伤的修复在外科手术中具有挑战性。自体神经移植是修复周围神经缺损的金标准，但存在供区感觉异常和神经管径不匹配等问题。根据缺损的长度，可选择神经移植物和神经导管。目前，壳聚糖管、硅胶管、尼龙纤维管、聚氨酯管等来源广泛，可为神经再生提供管道，但在体内降解缓慢，易引发异物排斥反应。与神经导管相比，静脉容易获得、免疫原性低、较少引起炎症反应，且外膜富含胶原蛋白，中膜肌肉层富含层粘连蛋白，均可促进神经再生。此外，将正常的神经制备成活性微颗粒，其内含大量雪旺细胞及神经营养因子，同样可促进神经生长。因此，本研究以股静脉为基础，将其与神经组织活性微颗粒复合构建一种新型的组织工程神经移植物，用于修复坐骨神经缺损，并评价其修复效果。【方法】(1) 体外实验：将神经活性微颗粒与雪旺细胞 (SCs)、背根神经节 (DRG) 分别共培养，借助免疫荧光染色等实验方法评价雪旺细胞增殖、分泌及背根神经节轴突生长的影响。(2) 动物体内实验：以神经活性微颗粒为基础，通过股静脉复合构建组织工程神经移植物，并将其用于 10mm 的坐骨神经缺损。实验动物随机分为三组：股静脉组，股静脉+神经活性微颗粒组，自体坐骨神经反转组。术后通过电生理、组织学、形态学等检测方法评价其对大鼠坐骨神经缺损的修复效果。【结果】(1) 体外共培养结果：活性神经微颗粒可以显著加快 DRG 轴突生长及促进雪旺细胞的增殖和分泌。(2) 动物体内修复术后 12 周，股静脉+神经活性微颗粒组神经电生理、再生神经组织学及靶器官恢复情况等评价结果均优于股静脉组。【结论】本实验验证了神经组织活性微颗粒含有大量雪旺细胞及神经营养因子；由神经活性微颗粒复合股静脉构建的组织工程神经移植物能够有效用于坐骨神经缺损。

【关键词】周围神经再生，神经修复，股脉移植物