



DOI:10.11817/j.issn.1672-7347.2014.09.005

www.csumed.org/xbwk/fileup/PDF/201409894.pdf

## 海洛因诱导条件性位置偏爱大鼠颞叶联络皮层遥测脑电的分析

李敏<sup>1</sup>, 朱再满<sup>2</sup>, 李晶<sup>1</sup>, 潘群皖<sup>1</sup>

(皖南医学院 1. 生理教研室; 2. 科研处, 安徽 芜湖 241002)

**[摘要]** 目的: 分析海洛因诱导条件性位置偏爱(conditioned place preference, CPP)大鼠颞叶联络皮层(temporal association cortex, TeA)脑电变化与觅药行为产生的关系。方法: 运用大鼠脑立体定位技术对TeA区进行电极埋藏, 通过CPP视频系统结合脑电无线遥测技术, 分别实时记录手术对照组( $n=10$ )、海洛因诱导CPP组( $n=20$ )大鼠TeA区黑、白箱停留状态、黑-白箱穿梭和白-黑箱穿梭时脑电变化, 分析其各脑电波百分比差异。结果: 与手术对照组比较, 海洛因诱导CPP组大鼠在黑、白箱停留状态, 左、右侧TeA区 $\theta$ 波百分比显著增加( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ ); 大鼠黑-白箱、白-黑箱穿梭时, 海洛因诱导CPP组左、右侧TeA区 $\delta$ 波百分比显著减少( $P<0.01$ ),  $\beta$ 波百分比显著增加( $P<0.01$ ), 尤其表现为 $\beta_2$ 波显著增加( $P<0.05$ ,  $P<0.01$ )。与海洛因诱导CPP组大鼠黑箱停留状态比较, 黑-白箱穿梭时右侧TeA区 $\theta$ 波百分比显著减少,  $\beta$ 波百分比显著增加, 尤其以 $\beta_2$ 波增加明显( $P<0.01$ ); 与海洛因诱导CPP组大鼠白箱停留状态比较, 白-黑箱穿梭时右侧TeA区 $\theta$ 波百分比显著减少( $P<0.01$ ), 但 $\beta$ 波差异无统计学意义( $P>0.05$ )。结论: 海洛因诱导CPP大鼠右侧TeA区快波( $\beta$ ,  $\beta_2$ )频率增加, 伴有 $\theta$ 波频率的相应减少, 可能与海洛因诱导CPP大鼠觅药行为产生有关。

**[关键词]** 海洛因; 海洛因诱导; 条件性位置偏爱; 脑电无线遥测

## Telemetry electroencephalograph changes of temporal association cortex in heroin-induced conditioned place preference rats

LI Min<sup>1</sup>, ZHU Zaiman<sup>2</sup>, LI Jing<sup>1</sup>, PAN Qunwan<sup>1</sup>

(1. Department of Physiology; 2. Department of Scientific Research, Wannan Medical College, Wuhu Anhui 241002, China)

### ABSTRACT

**Objective:** To analyze the relationship between the electroencephalograph (EEG) changes of temporal association cortex (TeA) and the drug-seeking behavior in heroin-induced conditioned place preference (CPP) rats.

**Methods:** The rats were randomly divided into an operated control group and a heroin-induced CPP group after the electrodes were buried in TeA by stereotactic technology. The TeA EEG was

收稿日期(Date of reception): 2014-04-01

作者简介(Biography): 李敏, 硕士研究生, 助教, 主要从事神经电生理研究。

通信作者(Corresponding author): 潘群皖, Email: panqunw@163.com

基金项目(Foundation item): 安徽省自然科学基金(090413096); 皖南医学院中青年科研基金(WK201201)。This work was supported by Anhui Natural Science Foundation of Anhui Province (090413096), Wannan Medical College Young Research Fund (WK201201), P. R. China.

recorded by the CPP video system combining with the EEG wireless telemetry, where the rats stayed in black or white chambers, shuttling from black to white chambers or from white to black chambers.

**Results:** Compared with the operated control group, the percentage of TeA  $\theta$  waves was increased significantly when staying in black or white chambers in the heroin-induced CPP group ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ). Compared with the operated control group, when rats shuttling between the 2 chambers, the TeA  $\delta$  waves were reduced ( $P < 0.01$ ), but  $\beta$  waves,  $\beta_2$  waves in particular, were increased ( $P < 0.01$ ) in the heroin-induced CPP group ( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ). Compared with staying in the black chamber, when heroin-induced CPP rats were shuttling between black and white chambers, the right TeA  $\theta$  waves were reduced, and  $\beta$  waves,  $\beta_2$  waves in particular, were increased ( $P < 0.01$ ). Compared staying in the white chamber with shuttling between white and black chambers in the heroin-induced CPP rats, the right TeA  $\theta$  waves, but not  $\beta$  waves, were reduced ( $P < 0.01$ ).

**Conclusion:** The EEG changes on the right TeA in the heroin-induced CPP rats, including the increased fast waves ( $\beta$ ,  $\beta_2$ ) and the reduced slow wave ( $\theta$ ), may be related to drug-seeking behaviors.

## KEY WORDS

heroin; heroin induction; conditioned place preference; wireless telemetry

条件性位置偏爱(conditioned place preference, CPP)由Katz和Gormenzano<sup>[1]</sup>于1979年提出,其实验原理是将具有中枢奖赏效应的条件性刺激(如成瘾药物)与某个特定的非条件性中性刺激(如特定的场景)相结合,通过对个体动物的反复训练,使后者达到奖赏性条件刺激相一致的行为效应。大鼠CPP模型可反映出成瘾药物的精神依赖性,同时可诱发出动物的强迫性觅药行为。大量研究<sup>[2-5]</sup>表明颞叶联络皮层(temporal association cortex, TeA)在视觉和听觉信息加工、学习记忆中具有重要作用: Iwai<sup>[2]</sup>证明颞下回与视觉信息记忆有关; Newsome等<sup>[3]</sup>发现颞叶与枕叶视皮层和海马之间有纤维联系, TeA损伤会导致顺行性遗忘。近年来研究<sup>[4]</sup>发现大脑颞叶皮层含有丰富的胆碱能神经元,海洛因可导致仔鼠大脑颞叶皮层ACh合成酶活性降低,造成食饵迷宫实验错误次数增加,引起学习记忆障碍。沈政等<sup>[5]</sup>发现双侧TeA存在复杂视觉与动觉的信息加工以及多种信息存贮的记忆功能,主要是参与机体10 s以上短时记忆过程。海洛因加伴药箱场景诱导大鼠形成的CPP和药物性精神依赖,理论上应当与TeA的视觉信息处理及其学习记忆功能有关。海洛因诱导CPP大鼠在不同行为状态下, TeA区实时脑电是否发生了相应的特异性改变? 这种特异性脑电改变是否与大鼠的觅药行为密切相关? 这些都鲜见报道。为此,笔者利用CPP系统结合脑电无线遥测技术,对海洛因诱导CPP大鼠不同状态下TeA区脑电做了实时记录,旨在分析其与觅药行为产生的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 实验动物

SPF Wistar雄性大鼠40只由南京市江宁区青龙山动物繁殖场提供(许可证号: scx(苏)2007-0001),体质量(300±20)g,自由进食饮水,自然采光,室温(23±1)℃。动物随机分为非手术组( $n=10$ )、手术对照组( $n=10$ )及海洛因诱导CPP组( $n=20$ )。

#### 1.1.2 药品和仪器

98%海洛因由芜湖市公安局提供; CPP视频分析系统系上海吉量软件科技有限公司生产(型号: JLBhv); 生理无线遥测系统为成都泰盟科技有限公司生产(型号: BW-200)。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 TeA区记录电极埋藏

部分大鼠采用20%氨基甲酸乙酯经腹腔麻醉后,固定于立体定位仪上,暴露颅骨,术中筛选颅骨前囟至人字缝距离大于9 mm的大鼠做电极埋藏,依据大鼠立体定位图谱确定左右侧TeA定位点(前囟后7.30 mm,中缝左右旁开6.00 mm,硬脑膜下4.5 mm)<sup>[6]</sup>,电极采用0.3 mm漆包镍铬丝。电极埋藏后,连同置于皮下组织的接地电极用自凝牙科水泥固定,术后缝合头皮。

#### 1.2.2 海洛因诱导CPP大鼠模型制作

上述电极埋藏大鼠,术后恢复1周后,均放入

CPP视频箱内习服3 d(45 min/d), 习服期间大鼠可在黑、白箱内自由活动。第4天, 利用视频监控记录大鼠黑、白箱停留时间及其停留时间百分比, 筛选天然黑箱偏爱大鼠, 随机分为海洛因诱导CPP组和手术对照组, 另选10只未做电极埋藏的正常大鼠同法测试后设为非手术组。实验中将白箱作为伴药箱, 在白箱内按一定剂量和时间给海洛因诱导CPP组大鼠皮下注射海洛因<sup>[7-8]</sup>(表1), 药物注射后, 将大鼠置于白箱内45 min; 海洛因注射第7天后停止注射, 使大鼠处于自然戒断状态, 戒断24~48 h, 将大鼠置于CPP黑、白箱内自由活动, 利用视频监控测定大鼠15 min内黑、白箱停留时间及其停留时间百分比, 同时对海洛因诱导CPP组大鼠诱导前、后CPP数据自身对照分析, 以确定大鼠伴药箱CPP的形成。手术对照组和非手术组大鼠按同样的方法注射等量生理盐水, 并测定黑、白箱停留时间及其停留时间百分比。

### 1.2.3 大鼠自发脑电无线遥测

将脑电无线遥测发射子固定于大鼠背部, 输入端两电极分别连接地电极和左(右)侧TeA埋藏电极, 发射子电磁开关打开后, 自动采集左(右)侧TeA自发脑电波, 经智能接收机解码, 由网络中心机传输至电脑, 利用系统软件记录和分析脑电波信号。利用此方法, 分别记录手术对照组, 海洛因诱导CPP组大鼠自发脑电波。

### 1.3 统计学处理

大鼠CPP数据由CPP系统软件采集; 自发脑电波由无线遥测系统软件采集, 并通过快速傅里叶分析出各频段脑电波百分比。实验数据以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示, 多样本均数采用单因素方差分析, 组间资料采用两个独立样本的t检验进行比较, 方差不齐

时, 采用秩和检验,  $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 海洛因诱导大鼠条件性位置偏爱的确定

非手术组、手术对照组及海洛因诱导CPP组大鼠15 min白箱停留时间及其停留时间百分比见表2。结果显示: 与非手术组比较, 手术对照组大鼠白箱停留时间及停留时间百分比差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。与非手术组、手术对照组大鼠比较, 海洛因诱导CPP组大鼠在白箱给药7 d后的24~48 h, 其白箱停留时间及停留百分比显著增加( $P < 0.01$ ), 给药后白箱停留时间及停留时间百分比比较给药前也显著增加( $P < 0.01$ )。

### 2.2 海洛因诱导 CPP 组与手术对照组大鼠不同状态下 TeA 区遥测自发脑电波比较

#### 2.2.1 黑、白箱停留状态下 TeA 脑电波比较

与手术对照组比较, 海洛因诱导CPP组大鼠在黑、白箱停留状态, 左、右侧TeA区 $\theta$ 波百分比显著增加( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ; 图1), 其中黑箱停留左侧、白箱停留左、右侧TeA区伴有 $\delta$ 波显著减少( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ; 图1A, B, D); 黑箱停留右侧TeA区 $\beta$ 波显著减少( $P < 0.01$ ; 图1C)。

#### 2.2.2 黑-白箱与白-黑箱穿梭时 TeA 脑电波比较

与手术对照组比较, 海洛因诱导CPP组大鼠黑-白箱、白-黑箱穿梭时左、右侧TeA区 $\delta$ 波百分比显著减少( $P < 0.01$ ),  $\beta$ 波百分比显著增加( $P < 0.01$ ), 尤其表现为 $\beta_2$ 波显著增加( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ; 图2); 黑-白箱穿梭时,  $\beta_1$ 波百分比显著增加( $P < 0.05$ ,  $P < 0.01$ ; 图2A, C)。

表 1 海洛因诱导 CPP 组大鼠海洛因注射量/(mg/kg)

Table 1 Dosage of heroin injection for heroin-induced CPP rats/(mg/kg)

| 注射时间点    | 1st d | 2nd d | 3rd d | 4th d | 5th d | 6th d | 7th d |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 9:00 am  | 10    | 20    | 30    | 50    | 60    | 80    | 80    |
| 18:00 pm | 15    | 25    | 40    | 50    | 80    | 80    | 80    |

表 2 3 组大鼠白箱停留时间及其停留时间百分比 ( $\bar{x} \pm s$ )

Table 2 Staying time and percentage of staying time in white chambers of 3 groups ( $\bar{x} \pm s$ )

| 组别        | n  | 白箱停留时间/s             | 白箱停留时间百分比/%         |
|-----------|----|----------------------|---------------------|
| 非手术组      | 10 | 149.39 ± 23.32       | 16.60 ± 5.43        |
| 手术对照组     | 10 | 152.29 ± 30.01       | 15.43 ± 4.98        |
| 海洛因诱导CPP组 | 20 |                      |                     |
| 注射前       |    | 180.61 ± 35.45       | 20.07 ± 6.87        |
| 注射后       |    | 398.54 ± 91.20**††‡‡ | 43.23 ± 11.24**††‡‡ |

与非手术组比较, \*\* $P < 0.01$ ; 与手术对照组比较, †† $P < 0.01$ ; 与注射前比较, ‡‡ $P < 0.01$

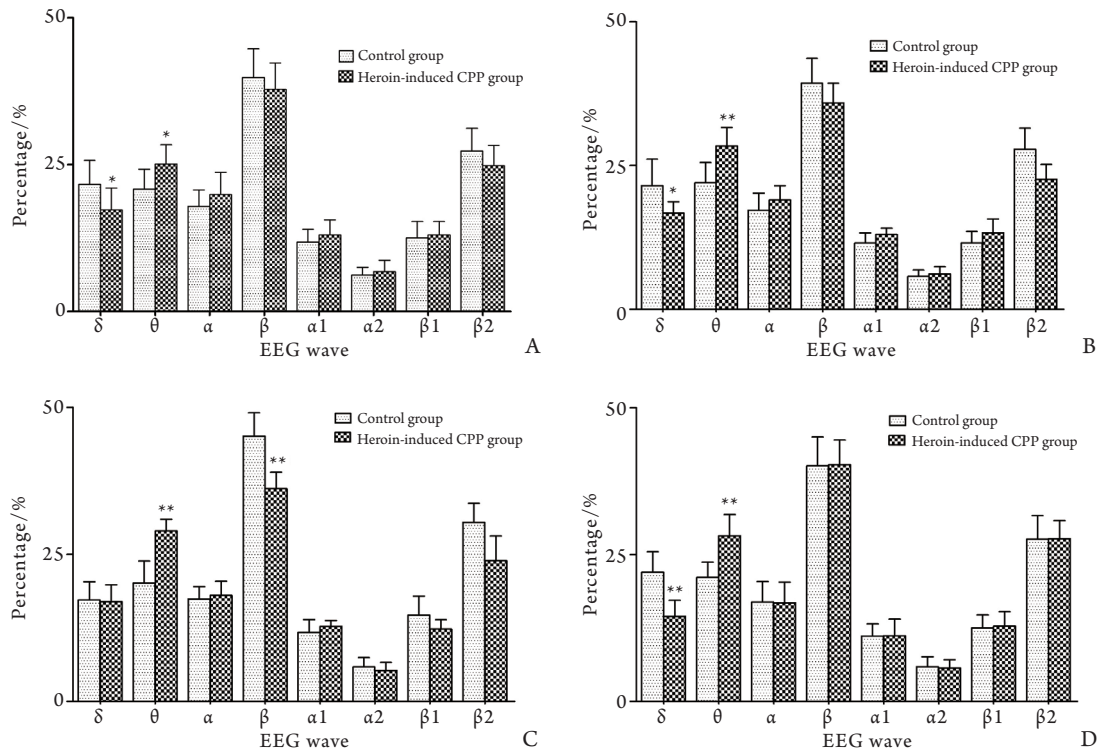


图 1 大鼠黑、白箱停留状态TeA区脑电波

Figure 1 EEG percentage recorded on TeA between 2 groups of rats in staying status

EEG percentage recorded on the left TeA when the rats staying in black chamber (A) and white chamber (B), or the right TeA when the rats staying in black chamber (C) and white chamber (D); \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$  vs the control group

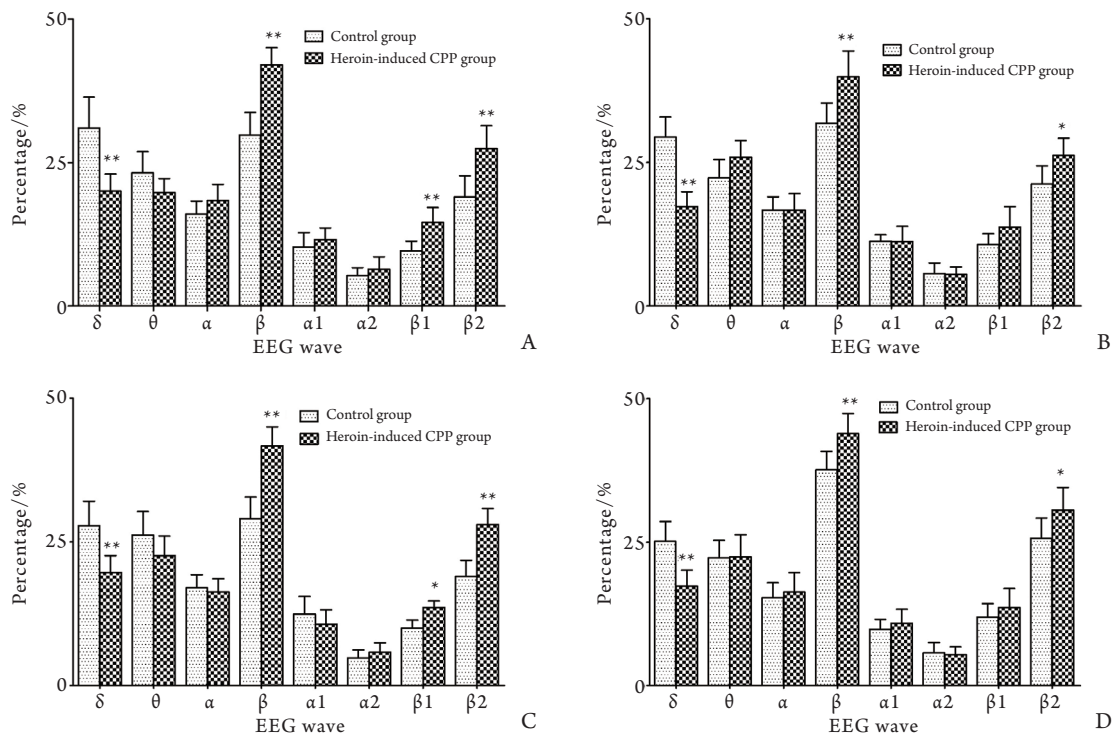


图 2 大鼠黑、白箱穿梭状态TeA区脑电波

Figure 2 EEG percentage recorded on TeA between 2 groups of rats in shuttling status

EEG percentage recorded on left TeA when the rats shuttled from black to white chambers (A), from white to black chambers (B), and right TeA when the rats shuttled from black to white chambers (C), from white to black chambers (D); \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$  vs the control group

### 2.3 海洛因诱导 CPP 组大鼠黑、白箱停留状态与两箱穿梭时 TeA 区脑电波比较

与海洛因诱导 CPP 组大鼠黑箱停留状态比较, 黑-白箱穿梭时右侧 TeA 区  $\theta$  波百分比显著减少,  $\beta$  波百分比显著增加, 尤其以  $\beta_2$  波增加明显

( $P < 0.01$ , 图 3C); 与海洛因诱导 CPP 组大鼠白箱停留状态比较, 白-黑箱穿梭时右侧 TeA 区  $\theta$  波百分比显著减少( $P < 0.01$ , 图 3D); 左侧黑-白箱穿梭、白-黑箱穿梭与停留状态脑电波比较均无显著变化(图 3A, 3B)。

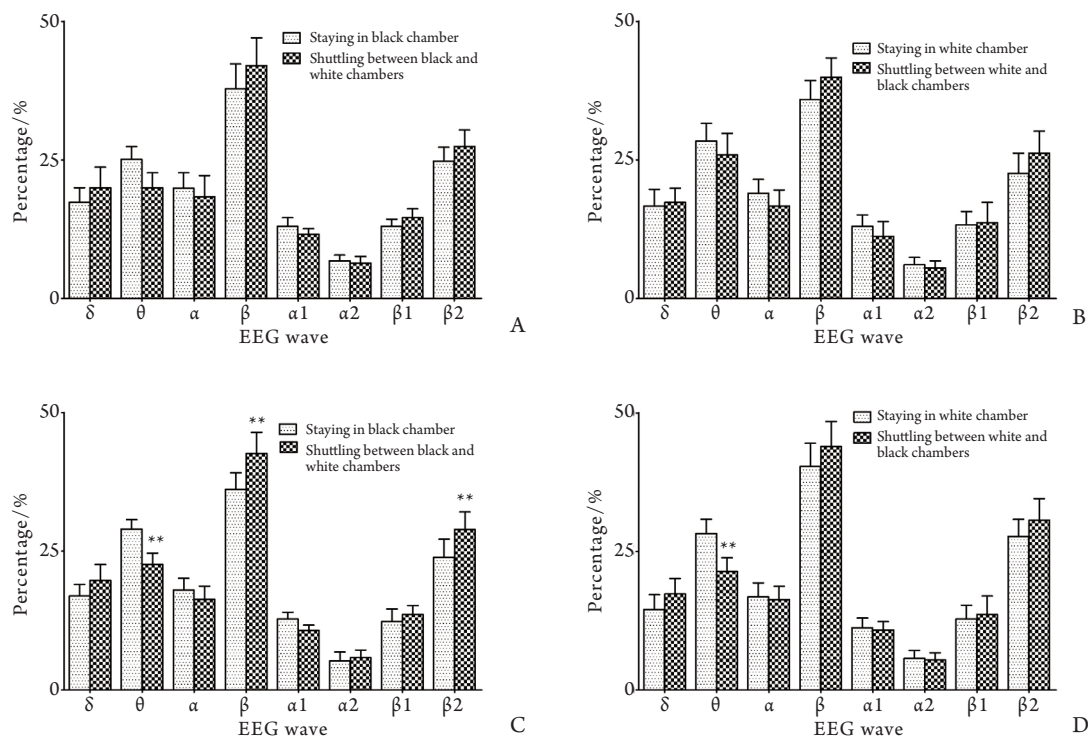


图 3 大鼠黑、白箱停留状态与两箱穿梭状态 TeA 区脑电波

Figure 3 EEG percentage recorded on TeA between the rats in staying and shuttling status

A, B: EEG waves recorded on left TeA; C, D: EEG waves recorded on right TeA. \*\* $P < 0.01$  vs staying in black or white chambers

### 3 讨论

药物依赖是一种以反复复吸为特征的心理和身体依赖性的慢性脑病。药物依赖者往往从偶尔体验和药物耐受中, 逐渐过渡至强迫性用药的阶段, 在此过程中, 药物依赖使中枢神经系统发生适应性改变, 导致个体陷入依赖、敏化、渴求与复吸的循环过程。对药物依赖者治疗的关键在于预防复吸, 而药物加场景暴露的诱导, 是形成复吸的主要因素。本研究将成瘾药物与特定场景反复联系; 即将位置偏爱视频白箱作为伴药箱, 连续 7 d 小剂量递增注射海洛因, 成功建立 CPP 大鼠模型。此模型一方面可模拟药物依赖者强迫性觅药行为(即复吸)的产生, 另一方面可利用此模型, 通过相关脑区电极埋藏和脑电无线遥测技术, 实时记录大鼠觅药行为过程中脑电波变化。

本实验首先对海洛因诱导 CPP 大鼠黑、白箱

停留状态, 左、右侧 TeA 区脑电无线遥测分析, 结果显示: 与对照大鼠相比, 海洛因诱导 CPP 大鼠黑、白箱停留状态, 左、右侧 TeA 区  $\theta$  波频率增加。有研究<sup>[9]</sup>指出: 毒品抑制中枢神经系统功能, 长期吸食可导致大脑皮层发生退行性改变, 吸毒者中 94.3% 脑电图发生异常。另有研究<sup>[10]</sup>发现海洛因依赖者异常脑电图通常表现为多脑区慢波频率增加。郭韬等<sup>[11]</sup>研究吗啡急性成瘾猫脑电图时, 发现正常生理波减少, 异常病理性尖波、棘波、棘慢波及慢波逐渐增多, 特别是颞叶慢波(以  $\theta$  波为主)明显增多, 有时连续发放。在青少年网络成瘾中, 由于过度使用互联网而导致青少年对外界事物兴趣减退, 当不使用互联网时, 大脑处于低活动水平的抑制状态, 其额叶、颞叶慢波发放频率增多, 快波频率减少<sup>[12]</sup>。本研究结果显示海洛因诱导 CPP 大鼠急性戒断期停留状态慢波频率增加, 这与上述研究结论相符。一般认为, 高幅

度的慢波( $\theta$ 波), 频率在4~7 Hz, 通常颞叶、顶叶最为显著, 是大脑皮层处于抑制状态时的脑电活动, 表现在本研究中, 大鼠处于相对安静的无觅药停留状态。值得一提的是,  $\theta$ 波节律在控制脑部的信息整合、记忆、回想等认知过程中起重要作用<sup>[13]</sup>, 特别是在执行记忆任务时, 人体脑电图会出现大幅度的 $\theta$ 波节律<sup>[14]</sup>。本研究中, 海洛因诱导CPP大鼠通常停留一段时间后, 会进行穿梭活动, 推测大鼠的停留状态可能是相关场景暴露诱发的记忆整合和回想过程。 $\theta$ 波节律同步化经常用来研究神经系统导致的认知功能障碍。周平艳等<sup>[15]</sup>的研究表明海洛因成瘾者急性戒断期存在严重的情绪加工缺陷。也有研究指出,  $\theta$ 波可反映实验动物的焦虑程度<sup>[16]</sup>; 人类 $\theta$ 波节律与焦虑情绪密切相关, 当受试者主诉有焦虑情绪出现时, 脑磁图(magnetoencephalography, MEG)显示 $\theta$ 波节律增高<sup>[17]</sup>。本研究中实时脑电遥测的时间在自然戒断后的24~48 h, 此时间段海洛因诱导CPP大鼠处于急性戒断期, 表现出强烈的稽延性戒断反应, 如震颤、流涕流泪、体毛竖起、瞳孔散大、焦虑不安、烦躁、恐惧等, 这些戒断反应中, 认知功能缺陷(如焦虑情绪)的产生可能与TeA区 $\theta$ 波频率增加有关。

动物行为起源于脑电活动已被广泛认可。依据现代生理学理论: 随意运动设想(如觅药动机)的产生起源于皮层联络区, 并且整合在皮层生物电的序列中, 形成的运动(如觅药行为)经皮层小脑和基底神经节编程后输送到大脑皮层运动区发起随意运动。故大鼠在黑、白箱之间穿梭活动, 特别是黑-白箱穿梭过程中脑电的变化, 与大鼠伴药箱觅药行为及其动机的形成有关。本研究中, 海洛因诱导CPP大鼠黑-白箱、白-黑箱穿梭时左、右侧TeA区 $\delta$ 波频率减少,  $\beta$ 波频率增加, 尤其表现为 $\beta_2$ 波显著增加。一般认为,  $\delta$ 波是0.5~3 Hz的慢波, 常见部位颞叶和枕叶。 $\beta$ 波是频率14~30 Hz快波, 为新皮层兴奋活动时的脑电波。大鼠在黑、白箱穿梭, 活动本身是大脑皮层由抑制状态向兴奋状态转变的过程, 故出现 $\delta$ 波频率降低,  $\beta$ 波频率增加的结果。另有研究<sup>[18]</sup>指出, 阿片类药物可以使大鼠中脑网状结构对丘脑-皮层神经环路的激励增加, 抑制丘脑-皮层环路的自身振荡, 从而导致皮层产生去同步化的高频快波。在急性戒断期, 海洛因诱导CPP大鼠由黑-白箱穿梭时, 白箱作为药物相关场景暴露诱发其觅药动机产生, 中脑网状结构激励增加, 促进TeA神经兴奋性增加, 导致TeA区脑电呈去同步化快波。笔者先前的研究<sup>[19-20]</sup>发现: 海洛因诱导CPP大鼠黑-白箱穿梭时额叶联

络皮层(front association cortex, FrA)和内侧前额皮层缘前区( prelimbic cortex, PrL) $\delta$ 波百分比降低,  $\beta$ 波百分比增加, 本实验结果进一步证实了前期的实验结果。

海洛因诱导CPP大鼠黑-白箱穿梭活动被认为是大鼠觅药行为的产生, 而白-黑箱穿梭则是大鼠天然喜黑行为的表现, 与觅药行为无关, 故黑-白箱穿梭活动中慢波频率降低、快波频率增加不能笼统地认为是觅药行为产生的特异性脑电活动。为此, 笔者将海洛因诱导CPP组大鼠黑箱停留状态TeA区脑电与黑-白箱穿梭脑电进行比较, 将白箱停留状态脑电与白-黑箱穿梭脑电进行比较, 结果发现: 与海洛因诱导CPP大鼠黑箱停留状态比较, 黑-白箱穿梭时大鼠左侧TeA区未出现明显的特异性脑电改变, 但右侧TeA区则表现为 $\theta$ 波百分比显著减少,  $\beta$ 波百分比显著增加, 尤其以 $\beta_2$ 波(18~30 Hz)增加明显; 而与白箱停留状态比较, 白-黑箱穿梭时大鼠虽然右侧TeA区 $\theta$ 波百分比显著减少, 但未出现明显的 $\beta$ 波百分比改变。基于上述脑电的综合比较, 笔者认为海洛因诱导CPP大鼠右侧TeA区快波( $\beta$ ,  $\beta_2$ )频率增加, 伴有 $\theta$ 波频率的相应减少, 可能与海洛因诱导CPP大鼠觅药行为及其动机的形成有关。

## 参考文献

1. Katz RJ, Gormezano G. A rapid and inexpensive technique for assessing the reinforcing effects of opiate drugs[J]. *Pharmacol Biochem Behav*, 1979, 11(2): 231-233.
2. Iwai E. Memory-3. Brain injury and memory. b. Neural mechanism of memory in experimental animals[J]. *Nihon Rinsho*, 1985, 43(7): 1326-1331.
3. Newsome WT, Wurtz RH. Probing visual cortical function with discrete chemical lesions[J]. *Trends Neurosci*, 1988, 11(9): 394-400.
4. 王昱, 李重阳, 俞诗源, 等. 注射海洛因、麻黄素对仔鼠大脑颞叶皮层结构及学习记忆能力的影响[J]. *解剖学报*, 2009, 40(5): 724-731.  
WANG Yu, LI Chongyang, YU Shiyuan, et al. Effects on the structure of cerebral temporal lobe cortex and capability of learning and memory of filial mice after administration of heroin and ephedrine[J]. *Acta Anatomica Sinica*, 2009, 40(5): 724-731.
5. 沈政, 林庶芝. 颞叶皮层的认知功能[J]. *生理科学进展*, 1993, 24(1): 49-52.  
SHEN Zheng, LIN Shuzhi. The cognitive function of temporal cortex[J]. *Progress in Physiological Sciences*, 1993, 24(1): 49-52.
6. George P, Charles W. 大鼠脑立体定位图谱[M]. 诸葛启钊译. 3版.

- 北京: 人民卫生出版社, 2005: 33-34.  
George P, Charles W. The rat brain in stereotaxis coordinates[M]. Translated by ZHUGE Qichuan. 3rd ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005: 33-34.
7. Katz RJ, Gormezano G. A rapid and inexpensive technique for assessing the reinforcing effects of opiate drugs[J]. *Pharmacol Biochem Behav*, 1979, 11(2): 231-233.
  8. 潘群皖, 朱再满, 李晶, 等. 海洛因诱导条件性位置偏爱大鼠顶叶联络皮层遥测脑电分析[J]. *四川大学学报: 医学版*, 2014, 45(1): 84-88.  
PAN Qunwan, ZHU Zaiman, LI Jing, et al. Telemetry EEG of parietal association cortex in heroin-induced CPP rats[J]. *Journal of Sichuan University. Medical Science Edition*, 2014, 45(1): 84-88.
  9. Polunina AG, Davydov DM. EEG spectral power and mean frequencies in early heroin abstinence[J]. *Prog Neuropsychopharmacol Biol Psychiatry*, 2004, 28(1): 73-82.
  10. 段云牧, 刘昊, 高海涛, 等. 43例海洛因依赖病人的脑电图改变[J]. *中国药物依赖性杂志*, 2007, 16(1): 36-40.  
DUAN Yunmu, LIU Hao, GAO Haitao, et al. The electroencephalogram of 43 heroin dependent patients[J]. *Chinese Journal of Drug Dependence*, 2007, 16(1): 36-40.
  11. 郭韬, 郑杰, 康进生, 等. 吗啡急性成瘾猫症状学与神经电生理变化[J]. *中国老年学杂志*, 2011, 31(9): 3528-3530.  
GUO Tao, ZHENG Jie, KANG Jinsheng, et al. Study of semeiology and neural electrophysiology about the cat with acute morphine addiction[J]. *Chinese Journal of Gerontology*, 2011, 31(9): 3528-3530.
  12. 田明琴, 李国良, 李振光, 等. 38例网络成瘾青少年脑电图分析[J]. *癫痫与神经电生理学杂志*, 2013, 22(1): 21-24.  
TIAN Mingqin, LI Guoliang, LI Zhenguang, et al. The analysis of EEG in 38 adolescence with internet addiction disorder[J]. *Journal of Clinical Electroneurophysiology*, 2013, 22(1): 21-24.
  13. 葛曼玲, 郭宝强, 陈雪, 等. 匹罗卡品颞叶癫痫大鼠模型中尖波对theta节律的抑制作用[J]. *生理学报*, 2014, 66(2): 118-128.  
GE Manling, GUO Baoqiang, CHEN Xue, et al. Inhibitory effects of epileptic spikes on theta rhythm in rat pilocarpine model of temporal lobe epilepsy[J]. *Acta Physiologica Sinica*, 2014, 66(2): 118-128.
  14. Staudigl T, Hanslmayr S. Theta oscillations at edconding mediate the context-dependent nature of human episodic memory[J]. *Curr Biol*, 2013, 23(12): 1101-1106.
  15. 周平艳, 周仁来, 惠颖, 等. 不同戒断期海洛因戒断者情绪加工的损伤和恢复[J]. *心理学探新*, 2014, 34(2): 172-178.  
ZHOU Pingyan, ZHOU Renlai, HUI Ying, et al. The damage and recovery of emotional process in different withdraw period in heroin abstinent[J]. *Psychological Exploration*, 2014, 34(2): 172-178.
  16. Erdi P, Huhn Z, Kiss T. Hippocampal theta rhythms from a computational perspective: code generation, mood regulation and navigation[J]. *Neural Netw*, 2005, 18(9): 1202-1211.
  17. Cornwell BR, Arkin N, Overstreet C, et al. Distinct contributions of human hippocampal theta to spatial cognition and anxiety[J]. *Hippocampus*, 2012, 22(9): 1848-1859.
  18. 阮迪云, 寿天德. 神经生理学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1992: 180-184.  
RUAN Diyun, SHOU Tiande. *Neurophysiology*[M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 1992: 180-184.
  19. 潘群皖, 黄磊, 朱再满, 等. 海洛因诱导的条件性位置偏爱大鼠额叶联络皮层脑电的无线遥测及其分析[J]. *中国病理生理杂志*, 2012, 28(9): 1589-1596.  
PAN Qunwan, HUANG Lei, ZHU Zaiman, et al. EEG changes of front association cortex in heroin-induced CPP rats detected by wireless telemetry[J]. *Chinese Journal of Pathophysiology*, 2012, 28(9): 1589-1596.
  20. 李晶, 潘群皖, 白家明, 等. 吗啡急性戒断大鼠边缘前皮层无线遥测脑电活动的研究[J]. *中国药理学通报*, 2014, 30(1): 122-125.  
LI Jing, PAN Qunwan, BAI Jiaming, et al. Research on wireless telemetry electrical activity in prelimbic cortex of acute morphine withdrawal rats[J]. *Chinese Pharmacological Bulletin*, 2014, 30(1): 122-125.

(本文编辑 陈丽文)

本文引用: 李敏, 朱再满, 李晶, 潘群皖. 海洛因诱导条件性位置偏爱大鼠颞叶联络皮层遥测脑电的分析[J]. *中南大学学报: 医学版*, 2014, 39(9): 894-900. DOI:10.11817/j.issn.1672-7347.2014.09.005  
Cite this article as: LI Min, ZHU Zaiman, LI Jing, PAN Qunwan. Telemetry electroencephalograph changes of temporal association cortex in heroin-induced conditioned place preference rats[J]. *Journal of Central South University. Medical Science*, 2014, 39(9): 894-900. DOI:10.11817/j.issn.1672-7347.2014.09.005