论著

DOI:10.16016/j.1000-5404.201509057

# 睡眠剥夺影响大脑情绪功能网络的静息态功能磁共振成像研究

雷 煜,王路斌,邵永聪,叶恩茂,杨 征 (100850 北京,军事医学科学院基础医学研究所军事心理学教研室)

[摘要] **目的** 探讨睡眠剥夺引起情绪紊乱的大脑功能网络机制。**方法** 采用重复测量自身前后对照设计,利用静息态功能磁共振成像技术,比较睡眠剥夺前后大脑杏仁核3个亚区的全脑功能连接模式表征以及与情绪状态变化的关系。**结果** 睡眠剥夺导致背外侧前额叶、背侧前扣带回、背侧后扣带回以及额下回和杏仁核3个亚区功能连接减弱($P<0.05$);后扣带回/楔前叶、内侧前额叶、喙部前扣带回以及海马旁回功能连接上升。与睡眠剥夺前相比,剥夺后POMS总分显著升高,与内侧前额叶和杏仁核SFA区的功能连接强度显著正相关($r=0.415$, $P<0.05$)。**结论** 睡眠剥夺对杏仁核功能连接模式的影响存在明显的区域和网络特异性,杏仁核与默认网络脑区之间的功能连接上升,而与执行控制网络脑区之间的功能连接减弱,可能是睡眠剥夺后情绪调控能力下降的重要神经机制。

[关键词] 睡眠剥夺;杏仁核;静息态;功能连接

[中图法分类号] R338.63;R395.1;R445.2 [文献标志码] A

# Effect of sleep deprivation on brain emotional function network: a resting-state fMRI study

Lei Yu, Wang Lubin, Shao Yongcong, Ye Enmao, YangZheng (Department of Military Psychology, Institute of Basic Medical Sciences, Chinese PLA Academy of Military Medicine, Beijing, 100850, China)

[**Abstract**] **Objective** To investigate the brain neutral mechanism of emotional disturbance induced by sleep deprivation. **Methods** Resting-state functional magnetic resonance imaging (fMRI) was used to compare the whole brain functional connectivity patterns of 14 male young healthy voluen teers in the rested wakefulness state and sleep deprivation state. **Results** Sleep deprivation resulted in a significant decrease in the functional connectivity between the sub regions of amygdala and several regions including the dorsolateral prefrontal cortex, dorsal anterior cingulate cortex, dorsal posterior cingulate cortex and inferior frontal gyrus ($P<0.05$). The functional connectivity was significantly increased between the sub regions of amygdala and several regions including the posterior cingulate cortex/presumes, medial prefrontal cortex, rostral anterior cingulate cortex and parahippocampal gyrus. Furthermore, the total score of profile of mood states (POMS) was significantly higher in the sleep deprivation state than in the rested wakefulness state. The functional connectivity between the superficial amygdala and medial prefrontal cortex was significantly correlated with the POMS total score ($r=0.415$, $P<0.05$). **Conclusion** Different sub regions of amygdala have distinct functional connectivity patterns. After sleep deprivation, the functional connectivity between the amygdala and regions of default mode network is increased while that between the amygdala and regions of executive control network is decreased. These alterations may be the essential neural mechanism of emotion regulation decline induced by sleep deprivation.

[基金项目] "十二五"国家科技支撑计划(2013BAHD2806);全军后勤科研"十二五"重大项目:(BWS11J045,AWS12J003)

[通信作者] 杨 征,E-mail: yangzhengchina@aliyun.com

[优先出版] http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20151111.1541.009.html

[**Key words**] sleep deprivation; amygdala; resting-state; functional connectivity

Supported by the Key Technologiy R&D Program of China (2013BAHD2806) and the Major Project of the "Twelfth Tive-year Plan" for Medical Research of PLA (BWS11J045, AWS12J003). Corresponding author: Yang Zheng, E-mail: yangzhengchina@aliyun.com

由于持续作业所导致的睡眠剥夺对于作业绩效的负面影响是显而易见的。睡眠剥夺不仅对人们的警觉性、注意力、记忆力、执行控制功能以及决策等高级认知功能造成不良影响[1-2],同时,也会产生紧张,迷茫,易怒、动机下降等负性情绪,并且随着睡眠剥夺觉醒程度的降低,困倦程度增高,负性情绪也不断加剧,提示睡眠剥夺对于认知功能的影响和情绪调控之间具有潜在的关联性。

早期的正电子发射计算机断层扫描(positron emission tomography, PET)研究发现睡眠剥夺后大脑前额叶代谢活动普遍降低,这些活动和注意及认知功能的下降相关[3]。然而,前额叶并不只是参与了注意资源的调节,它还与大脑中的情绪相关脑区(例如杏仁核)之间具有广泛连接。因此,睡眠剥夺也有可能对大脑的情绪功能脑区产生影响。杏仁核又称杏仁复合体,一般认为是大脑调节情绪的主要部位,具有功能及结构多样性,可分为中央内侧核(centromedial amygdala, CMA)、基底外侧核(basolateral amygdala, BLA)和浅表核(superficial amygdala, SFA)[4-6] 3个亚区。目前睡眠剥夺影响杏仁核3个亚区功能的神经机制还不清楚。

静息态功能磁共振成像(resting-state functional magnetic resonance imaging, rs-fMRI)是一种观测大脑自发功能活动的无创性技术手段,为我们研究大脑不同脑区之间的功能联系提供了新的方法。最近的一些研究已经开始利用静息态功能连接技术研究前额叶区域与杏仁核之间的功能联系[7-10]。利用fMRI技术,目前已经发现了一些参与情绪调控的区域,例如内侧前额叶、背外侧前额叶以及前扣带回,在睡眠剥夺后出现显著异常。深入研究杏仁核脑区的静息态功能连接模式在睡眠剥夺前后的影像学表征,可能为我们提供睡眠剥夺如何影响大脑情绪功能网络的科学依据。

本研究通过静息态功能连接分析,分别比较了3个杏仁核的重要亚区的功能连接模式在睡眠剥夺前后的变化,旨在为深入研究睡眠剥夺影响认知功能与情绪状态的干预策略奠定基础。

## 1 对象与方法

### 1.1 对象

健康志愿者14名,均为男性硕士研究生,年龄21~28岁(平均年龄25.9岁),右利手,裸眼视力或矫正视力正常,之前均未参加过心理、生理相关试验,近期无急性感染史或感染症状,无肝炎、肿瘤、肾炎、糖尿病、内分泌紊乱等严重病史,近期未服用任何药物、无吸烟及饮用咖啡、茶等饮料的习惯、无酒精或药物滥用史,无精神神经疾病史。匹兹堡睡眠质量指数(pittsburgh sleep quality index, PSQI)测验得分均<5分(临床阈值),表明受试者睡眠习惯良好。要求受试者在试验开始前1周及试验过程中不能摄入酒精、咖啡等刺激性食物、饮料,不参加剧烈、竞争性运动。本试验获得军事医学科学院伦理委员会批准,试验开始前向受试者详细说明试验流程及注意事项。所有受试者自愿参加试验并填写了知情同意书。

### 1.2 试验方法

试验采用重复测量的自身前后对照设计,受试者分别参加2次试验,入组后首先安排1次剥夺前功能磁共振扫描。正式试验时,受试于前1天下午3:00进入试验室,完成剥夺前生理、心理各项测试,晚上9:00后正常睡眠,第2天早上6:00起床后开始完全睡眠剥夺,至第3天晚上12:00前再次进行功能磁共振扫描后结束试验,共计42 h。睡眠剥夺试验在专用睡眠试验室和医疗监护条件下进行,由研究人员全程陪伴,统一管理饮食,受试者不允许离开试验室,不允许从事剧烈活动。

### 1.3 磁共振数据采集

磁共振扫描均在解放军总医院磁共振室进行。试验开始前先进行准备工作(去除受试身上金属物品,戴鞋套、耳塞等),受试者平躺于磁共振扫描仪内,头部衬垫海绵块固定。研究采用GE公司3.0T(Signa-HD)磁共振成像系统,使用正交线圈采集MRI信号。在静息扫描期间,要求受试者闭眼、尽量保持头部静止不动、不要想任何事情。在扫描过程中观察并同步记录受试者的心率和呼吸频率,用于在后期数据处理中利用线性回归去除心跳和呼吸对功能磁共振信号的影响。

静息功能磁共振扫描采用平面回波成像(echo-planar imaging,EPI)序列共采集189帧图像,采集参数如下:重复时间=2 000 ms,回波时间=30 ms,视野=256×256 mm,层厚=5 mm,层间距=1 mm,翻转角=90°,采集矩阵=64×64,层数=20。高分辨率T1结构像采用SPGR序列采集,采集参数如下:层厚=1 mm,翻转角=25°,采集矩阵=256×256,视野=240×240 mm。为了保证受试者在静息扫描期间不睡着,在每次扫描前都通过麦克风提醒受试者保持清醒,每次扫描后都询问受试者是否在扫描中保持清醒,所有受试者确认在扫描过程中保持清醒。

### 1.4 fMRI数据预处理

所有磁共振数据采用AFNI(http://afni.nimh.nih.gov/afni/)、FSL5.0(http://fsl.fmrib.ox.ac.uk/fsl/fslwiki/)和SPM8(www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8)软件包进行处理。对于静息态fMRI数据,为了消除扫描初期的磁饱和影响,在数据预处理前首先丢弃10帧图像。然后去掉呼吸及心跳噪声,由于1名受试者的生理信号数据不完整,在后期的数据分析中只有13名受试者。剩下的数据预处理步骤包括去除尖峰数据、时间校正、头动校正以及功能像和结构像之间的配准。头动校正结果表明所有受试者在$x$、$y$和$z$轴方向上的位移都不超过1 mm,旋转均不超过1°。

利用SPM8的New Segment工具对所有受试者的T1结构像进行分割,获得每名受试者的白质、灰质和脑脊液区域图像。然后将白质、脑脊液信号、线性漂移以及6个头动参数及对应的一阶微分信号去除。最后通过带通滤波获得频率在0.015~0.1 Hz之间的全脑时间序列。手动将每名受试者的T1结构像转换到Talairach空间,然后将完成预处理的静息态fMRI数据转换到Talairach空间。

### 1.5 功能连接分析

我们在功能连接分析中将杏仁核分为三部分,采用FSL中的Juelich脑区模版来进行感兴趣区域定位,然后将感兴趣区域的平均时间序列与全脑体素的时间序列进行Pearson相关分析,由此得到全脑体素和种子点的皮尔逊相关系数模式图。再利用Fisher Z变换对每个体素的相关系数进行标准化并通过半高宽为6 mm的高斯核函数对数据进行平滑处理。

### 1.6 情绪状态评估

采用心境状态量表(profile of mood states, POMS)来测量受试者的情绪状态。POMS量表有6个维度,分别是紧张-焦虑、抑郁-沮丧、愤怒-敌意、疲劳、困惑以及精力。POMS量表的总分等于前5个因子得分减去精力因子得分。

### 1.7 统计学分析

利用全脑体素水平的单样本$t$检验得到睡眠剥夺前后不同种子点的全脑功能连接模式图($P<0.01$,alphasim校正)。采用配对双样本$t$检验比较睡眠剥夺前后种子点功能连接模式的差异($P<0.05$,alphasim校正)。

## 2 结果

### 2.1 受试者生理及行为学数据

配对$t$检验表明,在静息态功能磁共振扫描期间,受试者的呼吸[睡眠剥夺状态:(18.42±2.62)/min,正常状态:(19.01±2.42)/min]和心跳[睡眠剥夺状态:(72.00±6.61)/min,正常状态:(68.42±7.62)/min]差异无统计学意义($P>0.05$),两组之间的头动参数差异也无统计学意义($P>0.05$)。睡眠剥夺后的POMS总分显著高于睡眠剥夺前($P<0.01$)。

### 2.2 杏仁核功能连接模式

**2.2.1 基底外侧核(BLA)** 右侧BLA的功能连接模式主要由双侧海马旁回、双侧颞上回以及双侧脑岛的正功能连接,左侧后扣带回、双侧背外侧前额叶、左侧背侧前扣带回及右侧内侧前额叶的负功能连接组成。左侧BLA的功能连接模式主要由双侧海马旁回、双侧脑岛以及双侧额下回的正功能连接,右侧丘脑、右侧背侧前扣带回以及左侧海马旁回的负功能连接组成(图1)。

**2.2.2 中央内侧核(CMA)** 右侧CMA的功能连接模式主要由双侧脑岛、双侧豆状核、双侧额下回以及双侧颞上回的正功能连接,左侧后扣带回、双侧枕叶以及左侧内侧前额叶的负功能连接组成。左侧CMA的功能连接模式主要由双侧豆状核、双侧额下回以及双侧脑岛的正功能连接,右侧海马旁回以及右侧舌回的负功能连接组成(图1)。

**2.2.3 浅表核(SFA)** 右侧SFA的功能连接模式主要由双侧海马旁回、双侧颞中回、双侧颞上回以及双侧脑岛的正功能连接,左侧楔前叶、右侧丘脑、右侧舌回以及左侧额上回的负功能连接组成。左侧SFA的功能连接模式主要由双侧海马旁回、双侧脑岛以及双侧额下回的正功能连接,左侧丘脑、右侧前扣带回、双侧内侧前额叶以及双侧颞中回的负功能连接组成(图2)。

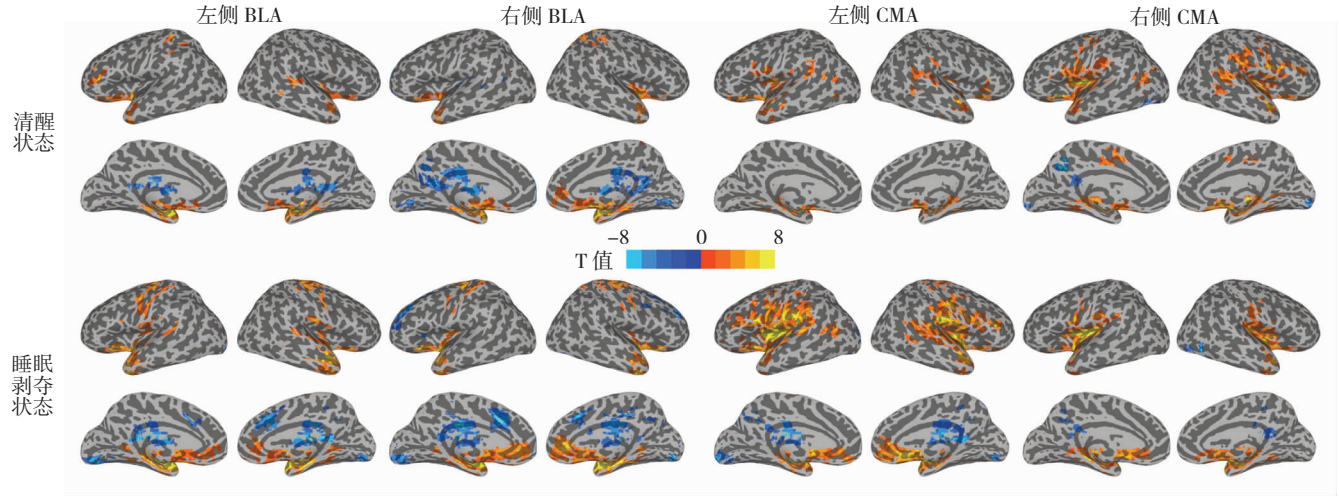



**图 1　BLA 和 CMA 的全脑功能连接模式**　（暖色表示正功能连接，冷色表示负功能连接）

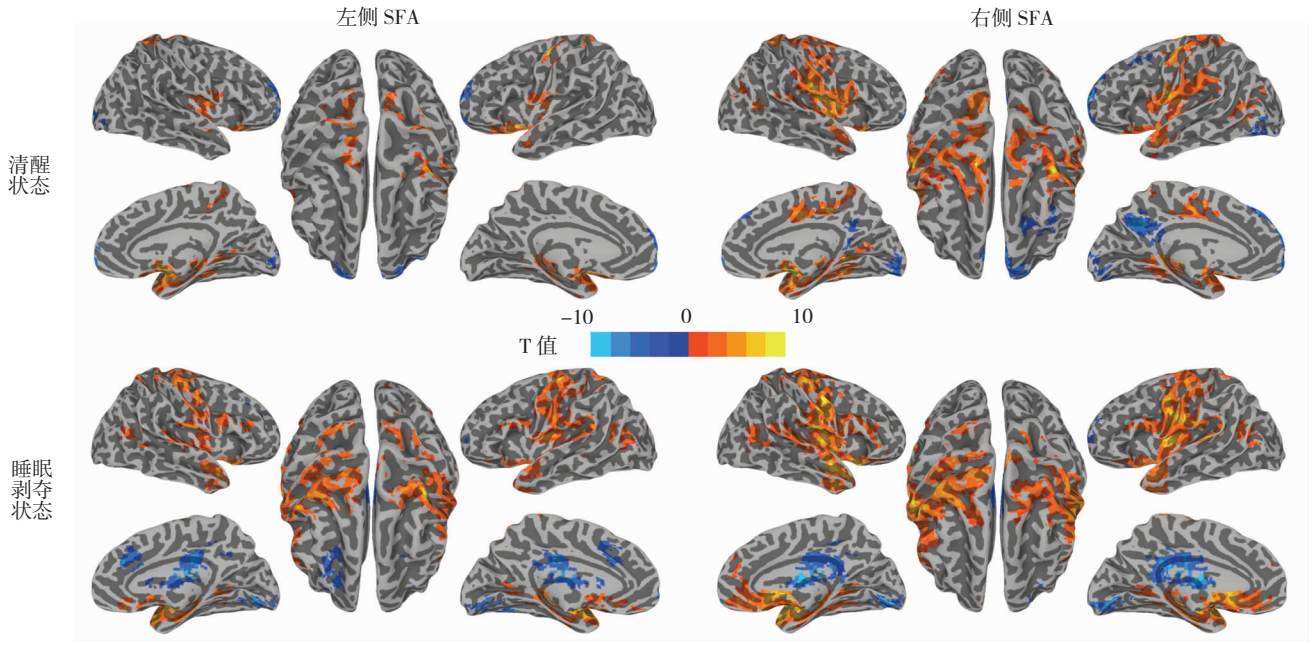



**图 2　SFA 的全脑功能连接模式**　（暖色表示正功能连接，冷色表示负功能连接）

### 2.3　睡眠剥夺前后功能连接模式差异

2.3.1　基底外侧核（BLA）　和正常清醒状态相比，睡眠剥夺组的右侧 BLA 功能连接在左侧背外侧前额叶，右侧背侧前扣带回，右侧额下回存在显著下降，在左侧后扣带回/楔前叶存在显著上升。左侧 BLA 功能连接主要在右侧背侧前扣带回存在显著下降，在左侧后扣带回/楔前叶和右侧海马旁回存在显著上升（图 3，表 1）。

2.3.2　中央内侧核（CMA）　和正常清醒状态相比，睡眠剥夺组的右侧 CMA 功能连接在右侧喙部前扣带回存在显著上升。左侧 CMA 功能连接在右侧中央沟存在显著上升（图 3，表 1）。

2.3.3　浅表核（SFA）　和正常清醒状态相比，睡眠剥夺组的右侧 SFA 功能连接在右侧背侧后扣带回存在显著下降，在右侧内侧前额叶存在显著上升。左侧 SFA 功能连接在右侧背侧后扣带回和右侧背侧前扣带回存在显著下降（图 4，表 1）。

### 2.4　功能连接与心境状态得分

回归分析结果表明，SFA 和内侧前额叶的功能连接与 POMS 得分之间存在显著相关关系（$r = 0.415$，$P = 0.035$）。在其他区域没有发现 POMS 得分和功能连接的显著相关关系（$P > 0.05$）。

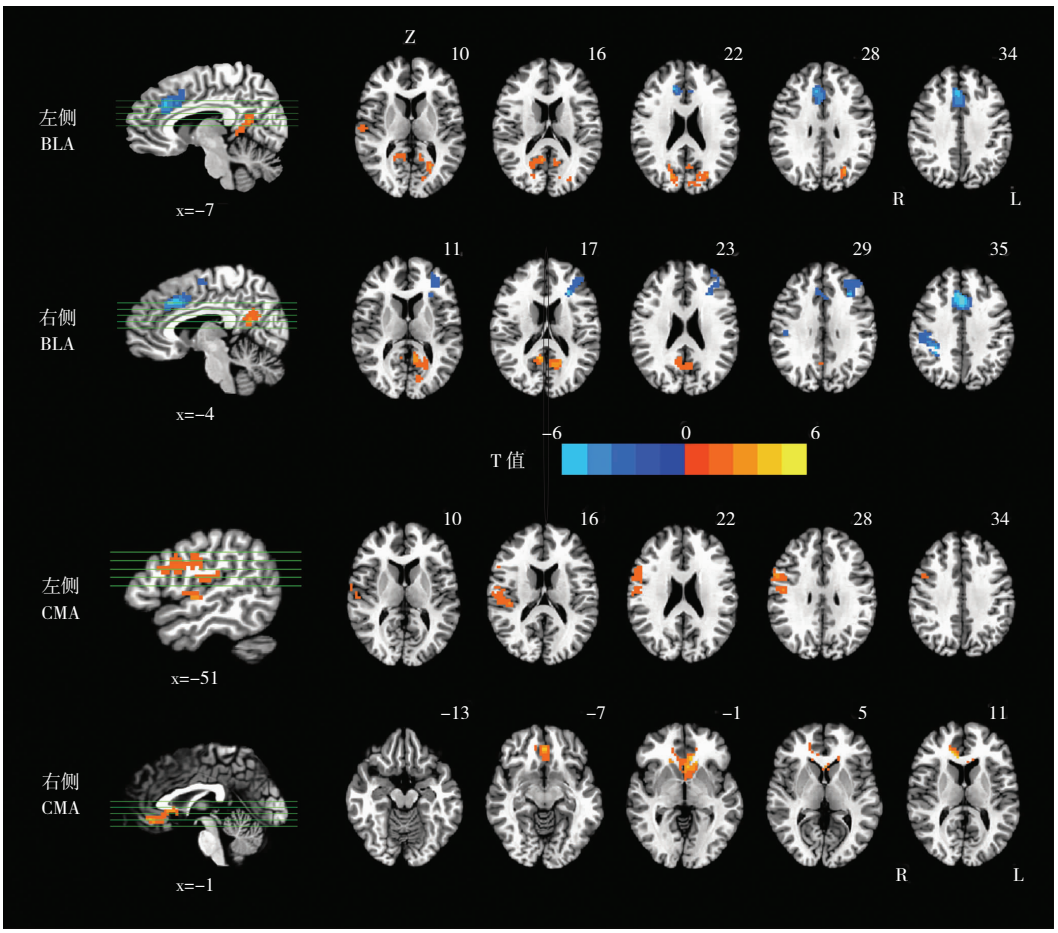



**图3 BLA和CMA的功能连接模式在睡眠剥夺前后的差异** （暖色表示睡眠剥夺后显著增强，冷色表示睡眠剥夺后显著下降）

**表1 睡眠剥夺前后杏仁核3个子区域功能连接模式差异**

| 脑区 | 大小 | Talairach坐标(mm) | | | T值 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | *x* | *y* | *z* | |
| 种子点:左侧BLA（睡眠剥夺 *vs* 清醒状态） | | | | | |
| 右侧海马旁回 | 355 | -27.4 | 33.9 | 2.3 | +2.83 |
| 左侧后扣带回 | 252 | 19.3 | 57.4 | 10.4 | +2.20 |
| 右侧背侧前扣带回 | 238 | -3.9 | -20.1 | 34.7 | -3.50 |
| 种子点:右侧BLA（睡眠剥夺 *vs* 清醒状态） | | | | | |
| 左侧后扣带回 | 320 | 10.1 | 53.8 | 9.3 | +2.45 |
| 右侧背侧前扣带回 | 228 | -0.9 | -13.3 | 38.6 | -4.76 |
| 左侧背外侧前额叶 | 208 | 30.9 | -36.5 | 19.3 | -2.32 |
| 右侧额下回 | 205 | -37.6 | 35.1 | 41.1 | -3.52 |
| 种子点:左侧CMA（睡眠剥夺 *vs* 清醒状态） | | | | | |
| 右侧中央沟 | 222 | -50.5 | 6.2 | 22.3 | +2.68 |
| 种子点:右侧CMA（睡眠剥夺 *vs* 清醒状态） | | | | | |
| 右侧喙部前扣带回 | 246 | -0.9 | -25.9 | 1.2 | +2.19 |
| 种子点:左侧SFA（睡眠剥夺 *vs* 清醒状态） | | | | | |
| 右侧背侧后扣带回 | 564 | -1.5 | 28.5 | 38.5 | -5.01 |
| 左侧丘脑 | | 9.0 | 19.0 | 17.0 | -3.05 |
| 右侧背侧前扣带回 | 284 | -7.5 | -31.5 | 26.5 | -6.03 |
| 右侧枕叶 | 233 | -37.5 | 64.5 | -9.5 | +5.72 |
| 左侧小脑顶 | 209 | 7.5 | 67.5 | 9.5 | -4.17 |
| 种子点:右侧SFA（睡眠剥夺 *vs* 清醒状态） | | | | | |
| 右侧内侧前额叶 | 324 | 1.5 | 43.5 | 23.5 | +4.46 |
| 右侧背侧后扣带回 | 301 | 13.5 | 28.5 | 38.5 | -6.67 |

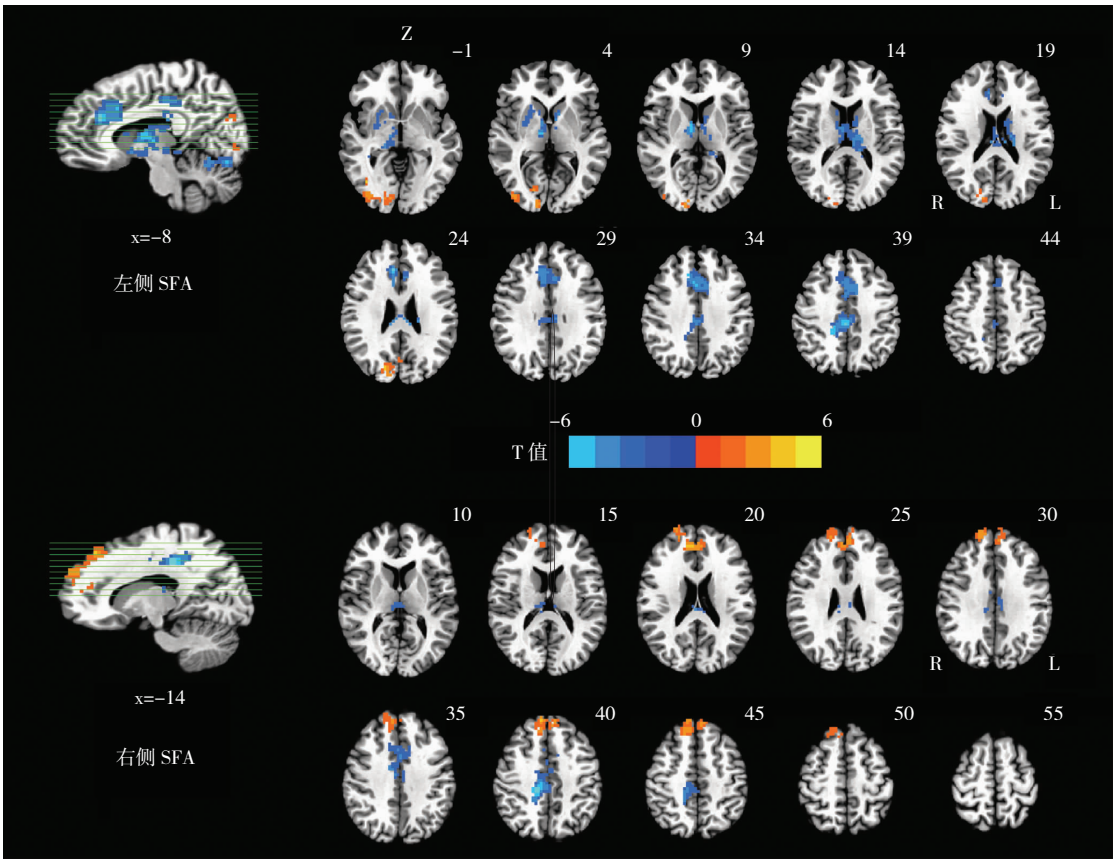



**图 4　SFA 的功能连接模式在睡眠剥夺前后的差异**　（暖色表示睡眠剥夺后显著增强，冷色表示睡眠剥夺后显著下降）

## 3　讨论

本研究利用静息态功能磁共振成像技术研究了以杏仁核为中心的情绪功能网络在睡眠剥夺前后的变化以及它们与个体情绪状态之间的相关性，发现睡眠剥夺后左侧背外侧前额叶、右侧背侧前扣带回、右侧额下回与杏仁核之间功能连接显著下降，杏仁核和右侧海马旁回、左侧后扣带回、右侧前扣带回喙部、右侧中央沟的功能连接显著上升。SFA 和右侧内侧前额叶之间的功能连接在睡眠剥夺后显著上升，与内侧前额叶之间的功能连接和 POMS 总分之间存在显著正相关。

情绪的调节是由前额叶对杏仁核的自上而下的抑制作用导致的[10-11]，背外侧前额叶对杏仁核区域活动的调节，在情绪诱导的推理任务中发挥着重要作用[12]。此外，抑郁、焦虑以及具有冲动性攻击行为的受试者在执行认知-情绪任务时，杏仁核表现出显著的功能异常[13-15]。本研究发现的 BLA-背外侧前额叶之间功能连接的下降，进一步证实了睡眠剥夺可导致人的情绪调控能力下降。

本研究的另一项重要发现是受试者 SFA 和内侧前额叶之间的功能连接在睡眠剥夺之后显著上升，而且与情绪状态得分之间显著正相关，提示我们 SFA 和内侧前额叶之间的功能连接可能在情绪的调控中发挥着重要作用。内侧前额叶是情绪调控默认网络的重要脑区，因为内侧前额叶不仅在功能上，而且在结构上和杏仁核之间存在联系[16]，前额叶区域（包括内侧前额叶、背外侧前额叶和前扣带回）与杏仁核之间的功能连接被称作杏仁核-额叶情绪调控环路[7,10]，该环路在情绪产生和调节中具有重要作用。有研究表明睡眠剥夺可以导致负性情绪增加和心境的紊乱[17-18]，而且杏仁核和内侧前额叶之间的功能连接在完成认知任务时会显著下降[19]。本研究发现杏仁核和内侧前额叶之间功能连接的增强，推测可能系大脑对于睡眠剥夺后情绪相关网络功能下降的代偿，调动更多的认知资源来抑制负性情绪的影响。

本研究还发现睡眠剥夺对杏仁核不同亚区的影响存在显著的特异性。睡眠剥夺后和杏仁核的 3 个亚区功能连接上升的区域主要包括后扣带回/楔前叶、海马旁回、前扣带回喙部以及内侧前额叶等区域，这些区域都属于默认网络。而和杏仁核的 3 个亚区功能连接下降的区域主要包括背外侧前额叶、背侧前扣带回以及额下回，这些区域都是执行控制网络的主要脑区。因

此,从功能网络的角度分析,杏仁核与执行控制网络功能连接的减弱,与默认网络的功能连接增强,可能是大脑对情绪调控能力减弱的神经机制。

本研究存在的不足之处主要包括两点。首先,被试全部是青年男性,缺少女性被试,从而限制了结果的普适性。其次,我们在核磁扫描过程中只是通过事后问卷确认被试在扫描过程中没有睡着,在今后的研究中应该对被试进行实时脑电监控,确保在整个扫描过程中被试没有睡着。

睡眠剥夺对杏仁核功能连接模式的影响存在明显的网络特异性,杏仁核与默认网络脑区之间的功能连接上升,而与执行控制网络脑区之间的功能连接减弱,可能是睡眠剥夺后情绪调控能力下降的重要神经机制,为深入研究睡眠剥夺影响认知功能与情绪状态的干预策略提供了重要的影像学依据。

**参考文献:**


[1] Mu Q, Nahas Z, Johnson K A, *et al*. Decreased Cortical Response to Verbal Working Memory Following Sleep Deprivation[J]. Sleep, 2005, 28(1): 55-67.

[2] Durmer J S, Dinges D F. Neurocognitive consequences of sleep deprivation[J]. Semin Neurol, 2005, 25(1): 117-129.

[3] Thomas M, Sing H, Belenky G, *et al*. Neural basis of alertness and cognitive performance impairments during sleepiness. I. Effects of 24 h of sleep deprivation on waking human regional brain activity [J]. J Sleep Res, 2000, 9(4): 335-352.

[4] Fruhholz S, Grandjean D. Amygdala subregions differentially respond and rapidly adapt to threatening voices[J]. Cortex, 2013, 49(5): 1394-1403.

[5] Phelps E A, LeDoux J E. Contributions of the amygdala to emotion processing: from animal models to human behavior [J]. Neuron, 2005, 48(2): 175-187.

[6] Ochsner K N, Gross J J. The neural architecture of emotion regulation[M]//Gross J J. Handbook of emotion regulation. New York: Guilford Press, 2007: 87-109.

[7] Burghy C A, Stodola D E, Ruttle P L, *et al*. Developmental pathways to amygdala-prefrontal function and internalizing symptoms in adolescence[J]. Nat Neurosci, 2012, 15(12): 1736-1741.

[8] Gee D G, Humphreys K L, Flannery J, *et al*. A developmental shift from positive to negative connectivity in human amygdala-prefrontal circuitry[J]. J Neurosci, 2013, 33(10): 4584-4593.

[9] Kim M J, Gee D G, Loucks R A, *et al*. Anxiety dissociates dorsal and ventral medial prefrontal cortex functional connectivity with the amygdala at rest[J]. Cereb Cortex, 2011, 21(7): 1667-1673.

[10] Banks S J, Eddy K T, Angstadt M, *et al*. Amygdala-frontal connectivity during emotion regulation[J]. Soc Cogn Affect Neurosci, 2007, 2(4): 303-312.

[11] Kohn N, Eickhoff S B, Scheller M, *et al*. Neural network of cognitive emotion regulation--an ALE meta-analysis and MACM analysis[J]. Neuroimage, 2014, 87: 345-355.

[12] Duerden E G, Taylor M J, Soorya L V, *et al*. Neural correlates of inhibition of socially relevant stimuli in adults with autism spectrum disorder[J]. Brain Res, 2013, 1533: 80-90.

[13] Greicius M D, Flores B H, Menon V, *et al*. Resting-state functional connectivity in major depression: abnormally increased contributions from subgenual cingulate cortex and thalamus[J]. Biol Psychiatry, 2007, 62(5): 429-437.

[14] Demenescu L R, Kortekaas R, Cremers H R, *et al*. Amygdala activation and its functional connectivity during perception of emotional faces in social phobia and panic disorder[J]. J Psychiatr Res, 2013, 47(8): 1024-1031.

[15] Hahn A, Stein P, Windischberger C, *et al*. Reduced resting-state functional connectivity between amygdala and orbitofrontal cortex in social anxiety disorder [J]. Neuroimage, 2011, 56(3): 881-889.

[16] Hermann A, Schafer A, Walter B, *et al*. Emotion regulation in spider phobia: role of the medial prefrontal cortex[J]. Soc Cogn Affect Neurosci, 2009, 4(3): 257-267.

[17] Selvi Y, Gulec M, Agargun M Y, *et al*. Mood changes after sleep deprivation in morningness-eveningness chronotypes in healthy individuals[J]. J Sleep Res, 2007, 16(3): 241-244.

[18] Rosen I M, Gimotty P A, Shea J A, *et al*. Evolution of sleep quantity, sleep deprivation, mood disturbances, empathy, and burnout among interns[J]. Acad Med, 2006, 81(1): 82-85.

[19] Yoo S S, Gujar N, Hu P, *et al*. The human emotional brain without sleep--a prefrontal amygdala disconnect[J]. Curr Biol, 2007, 17(20): R877-R878.


(收稿:2015-09-10;修回:2015-10-10)

(编辑 王小寒)