· 临床研究 ·

睡眠剥夺状态下脑功能显像的多模态研究

轩昂[1]　付畅[1]　孙萌萌[1]　王莉[2]　徐俊玲[1]
[1]郑州大学人民医院、河南省人民医院、河南大学人民医院核医学科、河南省核医学新型分子探针与临床转化医学重点实验室,郑州　450003;[2]河南省医学科学院医学研究和转化中心,郑州　450003
通信作者:徐俊玲, Email: xjlhzq@163.com

【摘要】 **目的**　探讨睡眠剥夺状态下健康志愿者脑葡萄糖代谢和血流灌注的改变以及二者之间的关系,揭示睡眠剥夺后脑功能损伤的具体脑区定位。**方法**　前瞻性选取 2019 年 1 月至 2019 年 12 月间郑州大学人民医院的 17 名健康志愿者[男 8 名、女 9 名,年龄(22.5±1.7)岁],对志愿者进行 2 次磁共振三维(3D)动脉自旋标记(ASL)及^{18}F-FDG PET/CT 显像,第 1 次在正常睡眠后 2 h,第 2 次在睡眠剥夺 24 h 后。应用统计参数图(SPM)软件对 3D-ASL 图像和^{18}F-FDG PET/CT 图像处理,分别得到睡眠剥夺前后脑代谢及灌注差异激活图,再获得代谢及灌注差异共同激活脑区图。将异常激活的脑区设为 ROI,获得其脑血流量(CBF)值及 SUV 比(SUVR)值(以小脑为参考区),采用配对 t 检验及 Pearson 相关分析对数据进行处理。**结果**　受试者睡眠剥夺后脑代谢与脑灌注均减低,且异常脑区相似,脑代谢减低的脑区明显多于灌注减低的脑区;睡眠剥夺后代谢及灌注共同减低的脑区集中于额叶、颞叶、顶叶等脑区;睡眠剥夺后受试者左侧背外侧额上回 CBF 值及 SUVR 值有相关性(r=0.58, P=0.014)。受试者睡眠剥夺后全脑平均 CBF 值[(46.32±7.39) ml · 100 g^{-1} · min^{-1}]及 SUVR 值(1.46±0.04)均低于睡眠剥夺前全脑平均 CBF 值[(54.91±6.51) ml · 100 g^{-1} · min^{-1}]及 SUVR 值(1.53±0.06),差异均有统计学意义(t 值:-2.67、-3.72,P 值:0.012、0.001)。**结论**　初步揭示了睡眠剥夺后受试者脑功能损伤的具体脑区定位。对于睡眠剥夺脑功能研究,^{18}F-FDG PET/CT 与 3D-ASL 具有一致性且前者更为敏感。左侧背外侧额上回可能是睡眠剥夺后脑功能损伤的核心脑区。

【关键词】 睡眠剥夺;正电子发射断层显像术;体层摄影术,X 线计算机;氟脱氧葡萄糖 F18;磁共振成像

基金项目:河南省医学科技攻关计划(201701026)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20201206-00435

Multimodal study on cerebral functional imaging under sleep deprivation

Xuan Ang[1], Fu Chang[1], Sun Mengmeng[1], Wang Li[2], Xu Junling[1]
[1]Department of Nuclear Medicine, People's Hospital of Zhengzhou University, Henan Provincial People's Hospital, People's Hospital of Henan University; Henan Key Laboratory of Novel Molecular Probes and Clinical Translation in Nuclear Medicine, Zhengzhou 450003, China; [2]Medicine Research and Translation Center, Academy of Medical Sciences of Henan Province, Zhengzhou 450003, China
Corresponding author: Xu Junling, Email: xjlhzq@163.com

【**Abstract**】 **Objective**　To reveal the specific region location of brain function injury after sleep deprivation by exploring cerebral glucose metabolism and blood perfusion changes and the correlation between them in healthy volunteers of sleep deprivation. **Methods**　From January 2019 to December 2019, a total of 17 healthy volunteers (8 males, 9 females; age (22.5±1.7) years) from People's Hospital of Zhengzhou University were enrolled prospectively. All patients accepted MRI three-dimensional (3D) arterial spin labeling (ASL) and ^{18}F-FDG PET/CT scanning at 2 h after normal sleep and after sleep deprivation of 24 h. Statistical parametric mapping (SPM) software was used for image processing, and brain metabolism and perfusion differences activation graphs before and after sleep deprivation were obtained respectively. Then the common activated brain regions were obtained as ROI. The cerebral blood flow (CBF) and the SUV ratio (SUVR; the cerebellum was the reference area) were calculated. Pearson correlation analysis and paired t test were used for data analysis. **Results**　The cerebral metabolism and perfusion of the subjects after sleep deprivation were reduced, and the abnormal brain areas were similar. Brain areas with reduced metabolism were more than those with reduced perfusion. The brain areas with reduced metabolism and perfusion after sleep deprivation were commonly in the frontal lobe, temporal lobe, parietal lobe, etc. The CBF and SUVR value of left dorsolateral frontal gyrus after sleep deprivation were correlated (r = 0.58, P = 0.014). The mean CBF value ((46.32±7.39) ml · 100 g^{-1} · min^{-1}) and SUVR value (1.46±0.04) of whole

brain after sleep deprivation were lower than those before sleep deprivation ((54.91±6.51) ml · 100 g^{-1} · min^{-1}, 1.53±0.06; *t* values: −2.67, −3.72, *P* values: 0.012, 0.001). **Conclusions** The specific region's location of brain function injury after sleep deprivation is preliminarily revealed. ^{18}F-FDG PET/CT was more sensitive than 3D-ASL for brain function research of sleep deprivation and left dorsolateral frontal gyrus may be a key responsible functional region in subjects of sleep deprivation.

【Key words】 Sleep deprivation; Positron-emission tomography; Tomography, X-ray computed; Fluorodeoxyglucose F18; Magnetic resonance imaging

Fund program: Medical Science and Technology Project of Henan Province (201701026)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20201206-00435

睡眠剥夺是指由于各种原因引起的睡眠丢失状态,一般指 24 h 内睡眠小于 4 h,会引起情绪、学习记忆、免疫功能等一系列改变,甚至可能出现严重后果[1-2]。这些异常主要由睡眠剥夺引起的脑功能损伤引起,因此准确定位脑功能损伤的脑区对于睡眠剥夺的研究具有重要意义。功能影像学(如 PET)以及功能 MRI(functional MRI, fMRI)可以灵敏检测睡眠剥夺引起的脑功能改变,推动了睡眠剥夺研究的发展[3-7]。^{18}F-FDG PET 可以了解脑葡萄糖代谢状态,进而反映相关脑区的神经元活性状态[8-11]。磁共振三维动脉自旋标记(three-dimensional arterial spin labeling, 3D-ASL)技术可以无创地反映脑血流灌注状况,进而反映脑功能改变状态[8]。睡眠剥夺状态下脑葡萄糖代谢和血流灌注会有怎样的改变?^{18}F-FDG PET 与 ASL 对于睡眠剥夺哪种更为敏感?在睡眠剥夺研究中二者是否具有一致性?睡眠剥夺损伤脑区的具体定位在何处?笔者对同一批受试者在睡眠剥夺前后脑葡萄糖代谢及脑灌注的变化进行研究,对上述问题进行探索。

资料与方法

1.研究对象。本研究通过本院伦理委员会审查,所有受试者在入组前均签署知情同意书。研究在 2019 年 1 月至 2019 年 12 月间展开,前瞻性纳入受试者(来源于郑州大学人民医院)。受试对象入选标准[3,12-14]:(1)中国公民,汉族;(2)右利手;(3)年龄 18~35 岁;(4)近期未服用任何药物;(5)自愿参加研究;(6)填写睡眠日记,表明睡眠情况良好,每晚不晚于 12 点睡觉,不早于 6 点起床,每晚平均睡 6.5~9.0 h。排除标准[3,12-14]:(1)近期有急性感染史;(2)有精神神经疾病史;(3)有肝炎、肿瘤、肾炎、糖尿病、内分泌紊乱等严重病史;(4)有喝咖啡、浓茶及抽烟等习惯。

选取了符合条件的 25 名健康志愿者,从睡眠剥夺前 1 周开始,每日写睡眠日记,保证正常作息,并禁用烟、酒、茶等及中枢兴奋或抑制性药物。最终 17 名志愿者达到要求,进入正式试验,其中男 8 名、女 9 名,年龄(22.5±1.7)岁,体质指数(23.2±2.0) kg/m^2,受教育年限(15.2±3.6)年,每晚睡眠时间(7.8±2.5) h。

2.研究方法[12-14]。分别在正常睡眠后 2 h 及睡眠剥夺 24 h 后对受试者进行 fMRI,扫描结束后受试者在休息室内保持清醒、安静、坐位休息 2 h,期间不接受任何打扰,之后进行^{18}F-FDG PET/CT 显像。整个试验过程中有专人监督,确保受试者睡眠剥夺。

(1) fMRI 扫描。使用美国 GE Discovery MR 750 仪,8 通道颅脑线圈。扫描时受试者保持清醒、安静,闭目仰卧,头部固定,不执行任务。扫描序列包括 3D T_1 快速梯度自旋回波序列(fast spoiled gradient recalled, FSPGR)和 3D-ASL 序列。3D T_1 FSPGR 采集参数为重复时间 8.2 ms,回波时间 3.2 ms,反转时间 450 ms,视野 24 cm×24 cm,矩阵 256×256,层厚 1 mm,采集次数 1,扫描层数 156 层。3D-ASL 采集参数为重复时间 4 590 ms,回波时间 10.5 ms,反转时间 450 ms,视野 24 cm×24 cm,矩阵 1 024×8(3D 螺旋采集),层厚 4 mm,扫描层数 36 层。

(2) ^{18}F-FDG PET/CT 显像。采用美国 GE Discovery TM VCT PET/CT 仪;^{18}F-FDG 由医用回旋加速器(美国 GE Minitrace)和 FDG[派特(北京)科技有限公司]自动合成装置合成,放化纯>95%。扫描前受试者禁食 6 h 以上,要求空腹血糖≤11.1 mmol/L;按体质量静脉注射^{18}F-FDG 5.55 MBq/kg。注射药物后,受试者在安静、避光、温度适宜环境中闭目休息 40~50 min 后进行显像;应用 3D 模式采集,采集 15 min。脑部 CT 扫描参数:电压 120 kV,电流 240 mA,层厚 3.75 mm。

3.数据处理。(1)3D-ASL 数据预处理。转化格式后,应用统计参数图(statistical parametric mapping, SPM)软件将图像数据除以 10,与 T_1 相联合配准并映射到标准脑,用 3 倍半高全宽(full width at half maximum, FWHM)进行平滑。(2)^{18}F-FDG 图像预处理。转化格式后,应用 SPM 软件将图像标准化,用 3 倍 FWHM 进行平滑。

4.统计学处理。符合正态分布的定量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示。采用SPM的群体分析(second level analysis)

工具,将经过预处理的睡眠剥夺前后的 3D-ASL 及^{18}F-FDG 数据分别进行配对 t 检验,以整体误差(family wise error, FWE)校正时 $P<0.005$ 且体素范围≥10 为差异具有统计学意义,获得睡眠剥夺前后代谢、灌注差异脑激活图及二者共同激活脑区图。分别将异常激活的脑区设为 ROI,获得其脑血流量(cerebral blood flow, CBF)值及 SUV 比(SUV ratio, SUVR;以小脑为参考区域)值。选取 4 个激活程度显著的脑区,利用 IBM SPSS 18.0 软件行 Pearson 相关分析,$P<0.05$ 为差异或相关性有统计学意义。

结　　果

1.受试者睡眠剥夺后脑代谢与脑灌注均减低,可见多处代谢减低(图 1A)及灌注减低的脑区(图 1B),且代谢异常和灌注异常脑区相似,多集中在大脑皮质,脑代谢减低的脑区明显多于灌注减低的脑区。睡眠剥夺后代谢及灌注共同减低的脑区集中于额叶、颞叶、顶叶等(图 1C;表 1)。

2.选取双侧背外侧额上回、右侧额中回、右侧颞下回为 ROI,相关分析结果显示睡眠剥夺后受试者左侧背外侧额上回(图 2A)CBF 值与 SUVR 值相关($r=0.58$,$P=0.014$),右侧背外侧额上回(图 2B)、右侧额中回(图 2C)、右侧颞下回(图 2D)CBF 值与 SUVR 值均不相关(r 值:0.24、0.31、0.21,P 值:0.350、0.271 和 0.416)。

3.受试者睡眠剥夺后全脑平均 CBF 值为(46.32±7.39) ml · 100 g^{-1} · min^{-1},SUVR 值为 1.46±0.04,两者分别低于睡眠剥夺前全脑平均 CBF 值[(54.91±6.51) ml · 100 g^{-1} · min^{-1}]及 SUVR 值(1.53±0.06),差异均有统计学意义(t 值:−2.67、−3.72,P 值:0.012、0.001)。

表 1　17 名健康志愿者睡眠剥夺后较睡眠剥夺前代谢及灌注共同减低的脑区

脑区	MNI 坐标			体素数	t 值	P 值
	x	y	z			
右侧中央前回	59	2	28	14	1.46	0.001
左侧额上回	−17	61	28	34	1.29	0.003
右侧额上回	29	59	13	66	1.27	0.003
左侧额中回	−35	56	4	37	1.27	0.003
右侧额中回	38	58	4	84	1.39	0.002
左侧额下回	−40	−3	11	12	1.30	0.002
右侧直回	5	44	−20	48	1.35	0.002
左侧中央后回	−50	2	39	8	1.23	0.003
左侧顶下小叶	−49	−46	39	11	1.40	0.001
左侧楔前叶	−6	−60	39	11	1.20	0.003
右侧颞中回	51	−56	13	7	1.25	0.003
右侧颞下回	55	−56	−10	29	1.25	0.003

注:MNI 为蒙特利尔神经病学研究所;17 名志愿者中男 8 名、女 9 名,年龄(22.5±1.7)岁

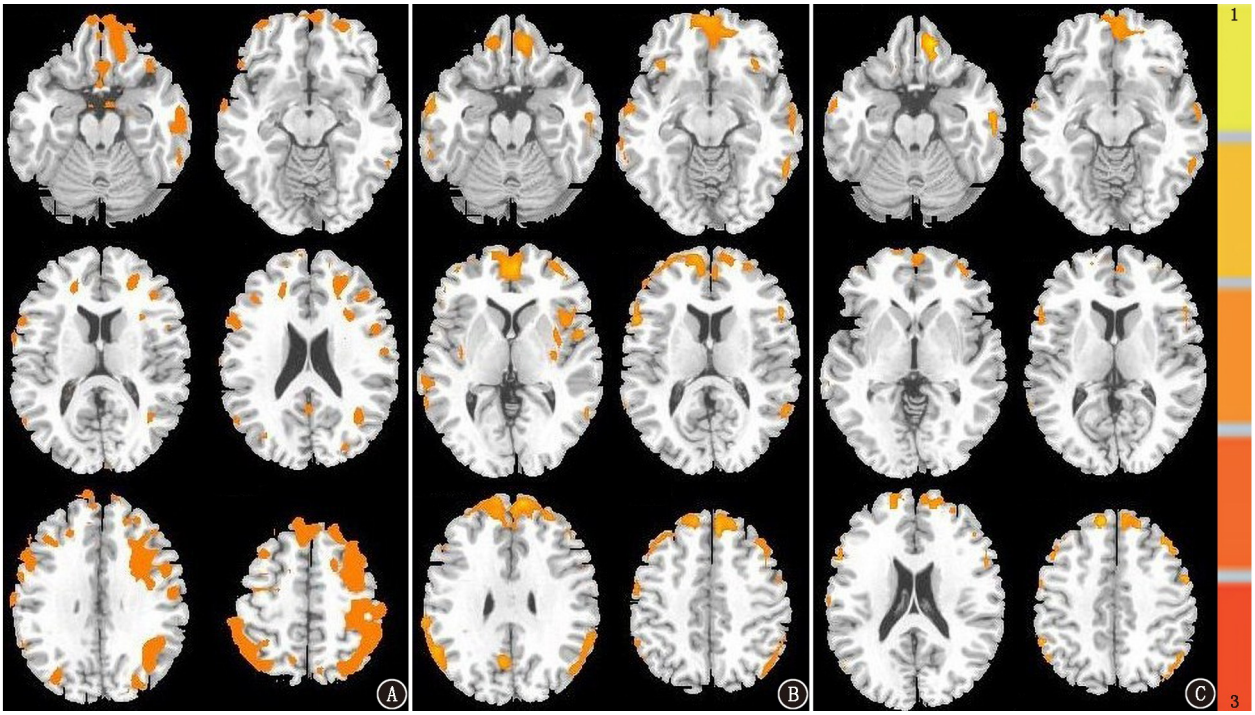

图 1　17 名健康志愿者[男 8 名、女 9 名,年龄(22.5±1.7)岁]睡眠剥夺前后 MRI 和^{18}F-FDG PET/CT 图像的统计参数图(SPM)分析结果。A.受试者睡眠剥夺后较睡眠剥夺前代谢减低的脑区;B.受试者睡眠剥夺后较睡眠剥夺前灌注减低的脑区;C.受试者睡眠剥夺后较睡眠剥夺前代谢及灌注共同减低的脑区。彩色部位即减低的脑区;右侧颜色由浅至深指 t 值由低到高

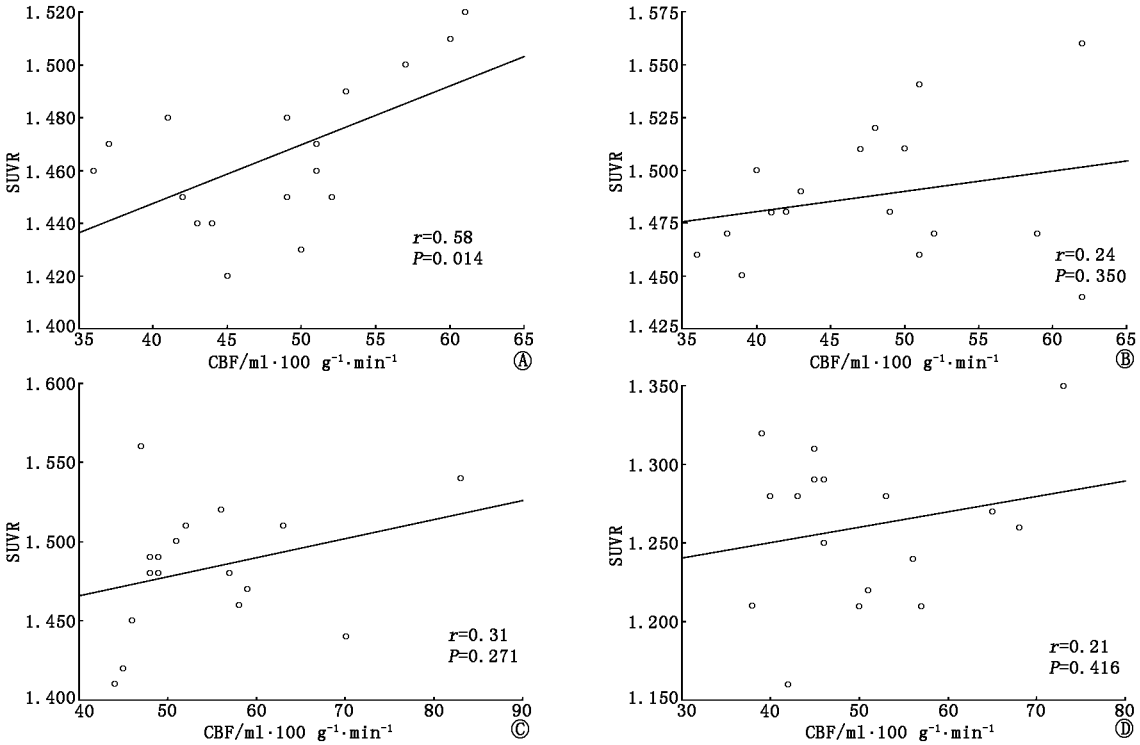

图 2 睡眠剥夺后受试者感兴趣脑区脑血流量(CBF)值与 SUV 比(SUVR;以小脑为参考区域)值的相关分析图。A.左侧背外侧额上回;B.右侧背外侧额上回;C.右侧额中回;D.右侧颞下回

讨 论

睡眠剥夺会引起个体反应迟钝、负性情绪增加、记忆力和注意力下降等一系列不良心理反应[1-2]。近年来,睡眠剥夺的发生率明显升高,已成为多个领域的研究热点[15]。睡眠剥夺引起一系列神经、行为学的改变,脑是神经、行为学的载体,因而研究睡眠剥夺要从研究脑功能变化入手。PET 及 fMRI 等为睡眠理论的研究提供了新的方法和技术[3-7]。其中,^{18}F-FDG PET 可反映相关脑区的神经元活性状态;3D-ASL 技术可以反映脑功能改变状态,且具有非创伤性、不需注射造影剂等优点[8,16-17]。局部脑葡萄糖代谢和脑血流灌注均与脑内神经活动密切相关,为反映脑功能改变的重要指标。

本研究显示,受试者睡眠剥夺后较睡眠剥夺前脑代谢与脑灌注均减低,且异常脑区相似,2 种显像方法具有一致性,睡眠剥夺后代谢及灌注共同减低的脑区集中于额叶、颞叶、顶叶等脑区,且左侧背外侧额上回 2 种功能的改变具有相关性($r=0.58$,$P=0.014$)。研究显示,睡眠剥夺在情绪和动机、注意力和警觉水平以及认知和记忆功能等方面的影响最显著[2]。额叶皮质是最复杂和高度进化的神经皮质,是参与大脑高级认知的重要组成部分[5]。颞叶与情绪、精神活动及记忆有重要关系。顶叶与许多高水平的认知功能有关,如情景记忆,自我相关的信息处理等。上述脑区的功能下降与认知行为的损伤有着密切的关系[5]。有研究发现前额叶皮质在睡眠剥夺后认知功能的下降中扮演着非常重要的角色,其中前额叶皮质的腹侧区与工作-记忆信息贮存有关;背侧区与工作记忆执行加工功能有关,在对空间和客体工作记忆的分析中发现,背侧区对于参与工作记忆的脑区的影响是主要的[6]。本研究中,左侧背外侧额上回的 2 种功能改变具有相关性,提示其可能是睡眠剥夺的重要受损脑区。本研究结果还显示,睡眠剥夺后脑代谢减低的脑区多于灌注减低的脑区,这提示睡眠剥夺后功能损伤的脑区的葡萄糖代谢和脑血流改变并非完全同步,代谢异常的发生可能早于血流灌注改变,因而^{18}F-FDG PET 显像能较 3D-ASL 对睡眠剥夺后功能损伤的脑区更敏感,这可能与睡眠剥夺后大脑生物学改变的发生机制有关,也可能与^{18}F-FDG PET、3D-ASL 的成像原理不同、敏感性不同有关。

在关于睡眠剥夺的功能影像学研究中,Wu 等[5]报道,受试者睡眠剥夺后,其额叶、丘脑、基底节区及小脑代谢减低,视觉皮质代谢增高;有综述显示,受试者经睡眠剥夺后全脑的葡萄糖代谢减低,其中代谢下降显著的脑区集中于丘脑、前额叶及顶下小叶[6]。在不同的睡眠剥夺的脑葡萄糖代谢研究

中,异常改变的脑区不尽相同,然而大多数研究显示了睡眠剥夺后前额叶的脑葡萄糖代谢减低[5-6,14]。杨春华等[18]用 3D-ASL 技术对急诊科青年医师睡眠剥夺后脑血流灌注变化进行研究,结果显示睡眠剥夺后双侧额叶、右侧颞叶及顶叶、双侧丘脑、脑干及左侧梭状回血流灌注升高,双侧岛叶、枕叶及左侧额中回、半卵圆中心血流灌注减低。吴瑶等[3]利用静息态 fMRI 对睡眠剥夺的健康成年男性情绪功能网络进行研究,结果显示睡眠剥夺导致内侧前额叶、楔前叶与杏仁核功能连接增强,而与丘脑、岛叶之间的功能连接减弱。国外 1 项关于 ASL 的研究表明,受试者睡眠剥夺后其右侧额-顶叶注意网络的 CBF 值下降[12]。从上述研究可以看出,用^{18}F-FDG PET 和 fMRI 研究的睡眠剥夺的脑功能损伤定位不同,但睡眠剥夺后受试者前额叶的损伤较为一致,这与本研究结果类似。

本研究初步揭示了睡眠剥夺后受试者脑功能损伤的具体脑区定位,提示对于睡眠剥夺脑功能研究,^{18}F-FDG PET/CT 与 3D-ASL 具有一致性且^{18}F-FDG PET/CT 更敏感,左侧背外侧额上回可能是睡眠剥夺后脑功能损伤的核心脑区。本研究亦存在不足之处:(1)受试者 fMRI 与^{18}F-FDG PET/CT 为非同机扫描,且在 fMRI 后 2 h 进行^{18}F-FDG PET/CT 扫描,虽然安排专人保证受试者在此期间不受任何打扰,但毕竟非同机同时采集,可能对研究结果有一定的影响;(2)样本量不足够大;(3)没有展开进一步的神经心理量表的测评等。上述问题均待在以后的工作中进一步研究补充及解决。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　轩昂、付畅、孙萌萌:研究实施、论文撰写、统计分析;王莉:研究实施、论文修改;徐俊玲:研究指导、论文修改、经费支持

参 考 文 献

[1] Gottlieb DJ, Ellenbogen JM, Bianchi MT, et al. Sleep deficiency and motor vehicle crash risk in the general population: a prospective cohort study[J]. BMC Med, 2018, 16(1): 44. DOI: 10.1186/s12916-018-1025-7.

[2] Kusztor A, Raud L, Juel BE, et al. Sleep deprivation differentially affects subcomponents of cognitive control[J]. Sleep, 2019, 42(4): zsz016. DOI: 10.1093/sleep/zsz016.

[3] 吴瑶,李继元,宋云龙,等.静息态功能磁共振成像对 36 小时睡眠剥夺健康成年男性情绪功能网络影响的研究[J].临床放射学杂志, 2019, 38(2): 219-223. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2019.02.008.
Wu Y, Li JY, Song YL, et al. The influence of 36 hours sleep deprivation on the emotional function network of healthy adult men: a resting state functional magnetic resonance imaging study[J]. J Clin Radiol, 2019, 38(2): 219-223. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2019.02.008.

[4] 李继元,宋云龙,齐建林.睡眠剥夺对健康成人学习记忆网络影响的功能磁共振研究[J].安徽医科大学学报, 2017, 52(9): 1335-1340. DOI: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2017.09.018.
Li JY, Song YL, Qi JL. Effect of sleep deprivation on learning and memory network in healthy adults by fMRI[J]. Acta Univ Med Anhui, 2017, 52(9): 1335-1340. DOI: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2017.09.018.

[5] Wu JC, Gillin JC, Buchsbaum MS, et al. Frontal lobe metabolic decreases with sleep deprivation not totally reversed by recovery sleep[J]. Neuropsychopharmacology, 2006, 31(12): 2783-2792. DOI: 10.1038/sj.npp.1301166.

[6] Ma N, Dinges DF, Basner M, et al. How acute total sleep loss affects the attending brain: a meta-analysis of neuroimaging studies[J]. Sleep, 2015, 38(2): 233-240. DOI: 10.5665/sleep.4404.

[7] Zhu Y, Feng Z, Xu J, et al. Increased interhemispheric resting-state functional connectivity after sleep deprivation: a resting-state fMRI study[J]. Brain Imaging Behav, 2016, 10(3): 911-919. DOI: 10.1007/s11682-015-9490-5.

[8] 孙逊,刘芳,阮伟伟,等.帕金森综合征 PET/MR 同步采集^{18}F-FDG 显像与 ASL 脑血流灌注成像相关性及鉴别诊断价值[J].中华核医学与分子影像杂志, 2019, 38(6): 337-343. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.06.004.
Sun X, Liu F, Ruan WW, et al. Correlation and differential diagnostic value of ^{18}F-FDG imaging and arterial spin labeling cerebral perfusion imaging acquired by synchronous PET/MR in Parkinsonism[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 38(6): 337-343. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.06.004.

[9] 窦社伟,付畅,轩昂,等.首发抑郁症患者脑葡萄糖代谢与脑功能局部一致性的关系[J].中华核医学与分子影像杂志, 2015, 35(1): 27-31. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.01.007.
Dou SW, Fu C, Xuan A, et al. Consistency of FDG uptake on ^{18}F-FDG PET/CT and regional homogeneity on functional MRI in major depression disorder patients[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 35(1): 27-31. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2015.01.007.

[10] 孙萌萌,张红菊,轩昂,等.首发抑郁症患者纹状体多巴胺 D_2 受体结合力改变及其与行为学的相关分析[J].中华核医学与分子影像杂志, 2017, 37(9): 532-537. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.09.003.
Sun MM, Zhang HJ, Xuan A, et al. Non-displaceable binding potential changes of striatal dopamine D_2 receptors in patients with first-episode major depressive disorder and the correlation with clinical features[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2017, 37(9): 532-537. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2017.09.003.

[11] 付畅,轩昂,高永举,等.自身免疫性脑炎患者^{18}F-FDG PET/CT 影像学特征[J].中华核医学与分子影像杂志, 2019, 39(3): 142-145. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.03.004.
Fu C, Xuan A, Gao YJ, et al. Imaging features of ^{18}F-FDG PET/CT in patients with autoimmune encephalitis[J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 39(3): 142-145. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2019.03.004.

[12] Asplund CL, Chee MW. Time-on-task and sleep deprivation effects are evidenced in overlapping brain areas[J]. Neuroimage, 2013, 82: 326-335. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.119.

[13] Yeo BT, Tandi J, Chee MW. Functional connectivity during rested wakefulness predicts vulnerability to sleep deprivation[J]. Neuroimage, 2015, 111: 147-158. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2015.02.018.

[14] Xu J, Zhu Y, Fu C, et al. Frontal metabolic activity contributes to individual differences in vulnerability toward total sleep deprivation-induced changes in cognitive function[J]. J Sleep Res, 2016, 25(2): 169-180. DOI:10.1111/jsr.12354.

[15] 侯成,卢光照,鲁莹,等.军事人员对抗睡眠剥夺策略的研究进展[J].第二军医大学学报, 2020, 41(9): 1012-1020. DOI:10.16781/j.0258-879x.2020.09.1012.
Hou C, Lu GZ, Lu Y, et al. Strategies against sleep deprivation in military personnel: recent progress[J]. Acad J Sec Mil Med Univ, 2020, 41(9): 1012-1020. DOI:10.16781/j.0258-879x.2020.09.1012.

[16] Vidorreta M, Wang Z, Rodríguez I, et al. Comparison of 2D and 3D single-shot ASL perfusion fMRI sequences[J]. Neuroimage, 2013, 66: 662-671. DOI:10.1016/j.neuroimage.2012.10.087.

[17] Towgood KJ, Pitkanen M, Kulasegaram R, et al. Regional cerebral blood flow and FDG uptake in asymptomatic HIV-1 men[J]. Hum Brain Mapp, 2013, 34(10): 2484-2493. DOI: 10.1002/hbm.22078.

[18] 杨春华,饶钦盼,朱蓉蓉,等. 3D-ASL 技术对急诊科青年医师睡眠剥夺前后脑血流灌注变化的研究[J].宁夏医学杂志, 2016, 38(12): 1150-1152. DOI:10.13621/j.1001-5949.2016.12.1150.
Yang CH, Rao QP, Zhu RR, et al. The research of emergency department young physicians' cerebral blood flow changes before and after sleep deprivation using a MR 3D-ASL technology[J]. Ningxia Med J, 2016, 38(12): 1150-1152. DOI:10.13621/j.1001-5949.2016.12.1150.

(收稿日期:2020-12-06)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

中华医学会系列杂志论文作者署名规范

为尊重作者的署名权,弘扬科学道德和学术诚信精神,中华医学会系列杂志论文作者署名应遵守以下规范。

一、作者署名

中华医学会系列杂志论文作者姓名在题名下按序排列,排序应在投稿前由全体作者共同讨论确定,投稿后不应再作改动,确需改动时必须出示单位证明以及所有作者亲笔签名的署名无异议书面证明。

作者应同时具备以下 4 项条件:(1)参与选题和设计,或参与资料的分析与解释者;(2)撰写论文或对其学术内容的重要方面进行关键修改者;(3)对最终要发表的论文版本进行全面的审阅和把关者;(4)同意对论文的所有方面负责,保证对涉及研究工作的任何部分的准确性和科研诚信的问题进行恰当的调查,并及时解决者。仅参与获得资金或收集资料者不能列为作者,仅对科研小组进行一般管理者也不宜列为作者。

二、通信作者

每篇论文均需确定一位能对该论文全面负责的通信作者。通信作者应在投稿时确定,如在来稿中未特殊标明,则视第一作者为通信作者。集体署名的论文应将对该文负责的关键人物列为通信作者。规范的多中心或多学科临床随机对照研究,如主要责任者确实超过一位的,可酌情增加通信作者。无论包含几位作者,均需标注通信作者,并注明其 Email 地址。

三、同等贡献作者

不建议著录同等贡献作者,需确定论文的主要责任者。确需著录同等贡献作者时,可在作者单位项后另起一行著录"××和××对本文有同等贡献",英文为"×× and ×× are contributed equally to the article"。英文摘要中如同等贡献者为第一作者且属不同单位,均需著录其单位。同一单位同一科室作者不宜著录同等贡献。作者申请著录同等贡献时需提供全部作者的贡献声明,期刊编辑委员会进行核查,必要时可将作者贡献声明刊登在论文结尾处。

中华医学会杂志社