

论 著
(临床研究)

基于海拔因素的非注意任务面孔倒置效应事件相关电位研究

董效军, 毋琳, 高伟, 崔军武, 王炳昭, 南洁, 任垒, 潘颖, 谢唯维, 杨群

【摘要】 目的 研究不同海拔对面孔倒置效应的影响。方法 采用经典面孔识别范式,对来自 500 m、2900 m、3700 m、4500 m 不同海拔高度的 120 名男性青年进行脑电测验,分析面孔特异性脑电成分 P1、N170 以及早期后部负电位 (EPN) 的潜伏期、波幅和晚期正成分 (LPP) 成分的平均幅值。结果 ①不同海拔组间 P1 潜伏期主效应显著 ($P<0.001$),刺激类型与组别交互作用显著 ($P=0.015$),波幅左、右脑区主效应显著 ($P<0.001$);②N170 潜伏期正立面孔与倒置面孔刺激主效应显著 ($P<0.001$),刺激类型与组别交互作用显著 ($P=0.003$),正立面孔与倒置面孔刺激的波幅主效应显著 ($P<0.001$),左右脑区主效应显著 ($P<0.001$);③EPN 正立面孔与倒置面孔主效应显著 ($P<0.001$),左右脑区主效应显著 ($P=0.002$),波幅分组主效应显著 ($P=0.003$);④LPP 分组主效应显著 ($P=0.008$)。结论 海拔因素对面孔倒置效应影响显著,主要表现在潜伏期和波幅的变化两个方面。随着海拔升高,可能存在一个认知功能先轻度增强后损伤的变化过程。

【关键词】 高海拔;面孔倒置效应;注意加工;事件相关电位

【中图分类号】 R181.3

【文献标志码】 A

【文章编号】 1672-271X(2019)01-033-06

【DOI】 10.3969/j.issn.1672-271X.2019.01.008

Thenon-face-inversion-task effect during exposure to high altitudes: an ERP study

DONG Xiao-jun¹, WU Lin², GAO Wei², CUI Jun-wu¹, WANG Bing-zhao¹, NAN Jie¹, REN Lei¹, PAN Ying², XIE Wei-wei¹, YANG Qun¹

(1.Department of Medical Psychology, 2.Fundamental Medical College, Air Force Medical University, Xi'an 710032, Shaanxi, China)

【Abstract】 **Objective** In the understanding of non-face-inversion task effect during exposure to high altitudes. **Methods** A total of 120 young male participants (500 m, 2900 m, 3700 m, 4500 m) participated the present study. The event-related potential (ERP) components including P1, N170, early posterior negativity (EPN) and late positive potential (LPP) were analyzed. **Results** ①The main effect of P1 latency among altitudes was significant ($P<0.001$), the interaction between stimulus type and group was significant ($P=0.015$), the main effect of left and right brain was significant ($P<0.001$); ②The main effect of upright and inverted faces of N170 latency was significant ($P<0.001$), the interaction between stimulus type and group was significant ($P=0.003$), the main effect of amplitude between upright and inverted faces was significant ($P<0.001$), the main effect of amplitude between left and right brain was significant ($P<0.001$); ③The main effect of upright and inverted faces was significant ($P<0.001$), the main effect of left and right brain was significant ($P=0.002$), the group main effect of amplitude was significant ($P=0.003$); ④The group main effect of LPP was significant ($P=0.008$). **Conclusion** High altitudes caused the face inversion effect, especially on latency and amplitude. As the altitude rises, there may be changes in damage after mild enhancement of cognitive ability.

【Key words】 high altitudes; face inversion effect; attention processing; event-related potential

0 引 言

高原环境的特点有空气稀薄、低压低氧、干燥寒冷、昼夜温差大、紫外线辐射强等,对人体的生理心理健康影响极大^[1-2]。研究发现,高原环境对人的认知功能如短时记忆、注意广度及注意转换、思维判断、

基金项目:军队后勤科研项目(AWS12J004)

作者单位:710032 西安,空军军医大学军事医学心理学系(董效军、崔军武、王炳昭、南洁、任垒、谢唯维、杨群),基础医学院(毋琳、高伟、潘颖)

通信作者:杨群, E-mail: yangqun@fmmu.edu.cn

反应时等均产生明显影响,降低心理功能,影响心理生理适应^[3-5],进而影响作业绩效^[6-8]。同时,也有研究发现,短暂的低氧暴露或者间歇性低氧暴露空间记忆能力反而得到提高^[9],长期生活于海拔约 3700 m 高原地区的青少年,其认知能力与平原地区青年并无明显差异,在一些认知功能上甚至有些提高^[10-11],学者认为高原青少年在生长发育过程中逐渐习服了慢性低氧暴露环境,达到高原适应^[12-13]。目前研究多采用工效学和神经心理量表方法测定,不能有效排除“高原恐惧”的心理暗示影响,相关研究也未形成一致结论。事件相关电位技术(event-related potential, ERP)有着高时间分辨率、低耗、无损等优点,可以提供更加客观的指标^[14-15]。

当前,关于情绪、意识水平、注意状态、性别、种族等对面孔倒置效应(face inversion effect, FIE)影响的研究较多,而关于高原特殊环境对面孔倒置效应的影响研究鲜有报道。本研究以 4 个不同海拔地区青年为研究对象,采用非注意条件下面孔倒置效应的 ERP 研究^[16-17],探索高原环境对面孔倒置效应成分 P1、N170、早期后部负电位(early posterior negativity, EPN)及晚期正成分(late positive potentials, LPP)的影响,探寻其变化特点,为研究高原环境对认知功能的影响提供新的数据。

1 资料与方法

1.1 对象 根据方便抽样原则,分别从海拔<500 m、2900 m、3700 m、4500 m 的 4 个地区各选取男性汉族被试者 30 名(按海拔分为 4 组),年龄 18~24 岁,500 m 组、2900 m 组、3700 m 组和 4500 m 组平均年龄分别为(20.20±1.16)岁、(19.87±1.01)岁、(20.20±1.73)岁、(20.07±1.27)岁,右利手,无神经系统或精神疾病史,1 周内未生病和服药情况,裸眼视力或矫正视力正常,出生地均为平原地区(<500 m)且在现居地生活时间超过 18 个月。匿名检测以达到一定的保密要求和消除被试者的隐私顾虑。4 组年龄等一般资料比较差异无统计学意义($P>0.05$)。该试验经空军军医大学第一附属医院药物临床试验伦理委员会批准(伦审号 KY20182047-F-1 号),所有被试者自愿参与并且签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 试验材料 采用处理过的真实照片作为刺激材料,尺寸均为 300×360 像素(屏幕分辨率为

800×600 像素)。分别为正立面孔(60 张、男女各半、中性情绪、免冠、去除头发等因素干扰)、倒置面孔(同正立面孔)和正立向日葵(各式向日葵正面图片 60 张)^[18-19]。

1.2.2 试验程序 采用 E-prime3.0 软件在计算机上呈现试验材料,试验分 3 个测验部分,正式试验开始前有练习 12 个试次,每部分等比随机呈现各种刺激,各试验部分之间休息(被试按键控制),用来消除疲劳效应。3 个部分分别包含 100、101、100 个试次,在第 2 个部分中多 1 次向日葵试次。每个试验部分中,首先呈现 1000 ms 空屏,而后屏幕中心呈现 1000 ms、28 号字体的“+”注视点,再呈现 1000 ms 空屏,开始正式测验,每个试次中刺激图片呈现时间 300 ms,之后呈现 800 ms 空屏。要求被试对向日葵图片进行计数,在每个试验部分结束后按键回答,忽略向日葵以外其他刺激。

1.2.3 脑电数据采集与处理 采用 Scan4.5-32 导联脑电采集系统,按照国际 10-20 系统扩展的 32 导 Ag/AgCl 电极帽,对试验中被试的脑电进行连续记录。脑电记录时,以鼻尖为参考电极,前额接地,左眼上下 1.5 cm 处贴电极贴记录垂直眼电,以位于双眼外侧 1.5 cm 处贴电极贴记录水平眼电,滤波带通为 0.1~70 Hz,采样频率为 1000 Hz。脑电记录过程中,所有电极与头皮接触阻抗小于 5 k Ω 。

脑电数据采用 Scan4.5 离线处理,去眼电(ICA 法)、去除伪迹(标准为 $\pm 100 \mu V$)、分段(刺激呈现前 200 ms 为基线,刺激呈现后保留 600 ms)、基线校正、叠加平均,低通 30 Hz (24 dB/oct) 数字滤波。将所关注的 4 个脑电成分 P1、N170、EPN 和 LPP 的时间窗分别定为 80~150 ms、150~200 ms、200~300 ms 和 300~500 ms。根据既往研究,4 个脑电成分均选取颞枕区 T5、T6 两个电极点,对各个时间窗的 ERP 波形进行波幅检测。

1.3 统计学分析 采用 SPSS 22 软件进行数据分析,幅值和潜伏期数据用均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)的形式记录,进行 2(脑区:左半球/右半球) \times 2(刺激类型:正立/倒置面孔) \times 4(不同海拔分组:500 m 组/2900 m 组/3700 m 组/4500 m 组)的三因素重复测量方差分析,有主效应因素的多重比较用最小显著性差(the least significant difference, LED)法,多因素方差分析的 P 值,用 Greenhouse-Geisser 法校正,以 $P\leq 0.05$ 为差异有统计学意义。

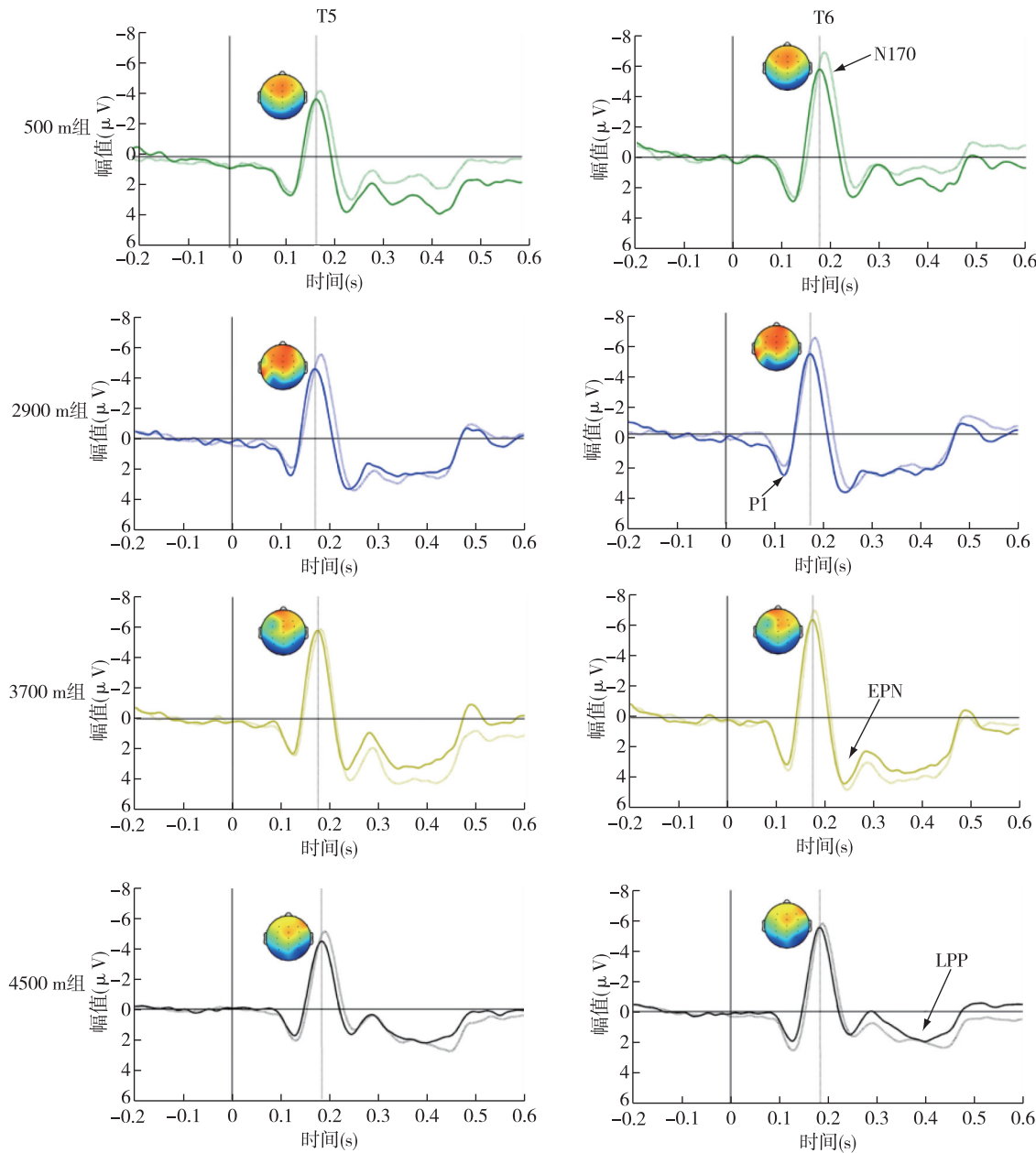
2 结 果

分析了 102 名有效被试者(500 m 组 26 名、2900 m 组 24 名、3700 m 组 25 名、4500 m 组 27 名)的脑电数据,见图 1。18 名被试者(500 m 组 4 名、2900 m 组 6 名、3700 m 组 5 名、4500 m 组 3 名)由于有效叠加次数过少(<40 次)被剔除。

2.1 P1 潜伏期和幅值结果 P1 潜伏期的三因素重复测量方差分析结果表明:①组间主效应显著

($P<0.001$),其中 2900 m 组诱发 P1 成分早于 3700 m 组与 4500 m 组,差异有统计学意义($P=0.039, P<0.001$);②刺激与组别交互作用显著($P=0.015$),其中 4500 m 组正立面孔诱发 P1 成分早于倒置面孔,差异有统计学意义($P=0.006$)。

P1 幅值的三因素重复测量方差分析结果表明:左脑区与右脑区主效应显著($P<0.001$),右脑区 T6 电极点诱发 P1 成分幅值显著大于左脑区 T5 电极点。



实线为正立面孔,虚线为倒置面孔

图 1 各海拔组 T5、T6 电极点正立面孔、倒置面孔脑电图比较

2.2 N170 潜伏期和幅值结果 N170 潜伏期的三因素重复测量方差分析结果表明:①正立面孔与倒置面孔主效应显著($P<0.001$),较之正立面孔,倒置面孔诱发更晚的 N170 成分;②刺激与分组交互作用显著($P=0.003$),较之正立面孔,各组倒置面孔均诱发更晚的 N170 成分,差异有统计学意义(所有 $P<0.001$),与 2900 m 组相比,4500 m 组的正立面孔与倒置面孔均诱发更晚的 N170 成分,差异有统计学意义($P=0.004, P=0.037$),与 3700 m 组相比,4500 m 组倒置面孔诱发更晚的 N170 成分,差异有统计学意义($P=0.007$)。

N170 幅值的三因素重复测量方差分析结果表明:①正立面孔与倒置面孔主效应显著($P<0.001$),较之正立面孔,倒置面孔诱发更负的 N170 成分;②左脑区 T5 与右脑区 T6 主效应显著($P<0.001$),右脑区诱发更负的 N170 成分。

2.3 EPN 潜伏期和幅值结果 EPN 潜伏期的三因素重复测量方差分析结果表明:①正立面孔与倒置面孔主效应显著($P<0.001$),较之正立面孔,倒置面孔诱发更晚的 EPN 成分;②左脑区 T5 与右脑区 T6 主效应显著($P=0.002$),较之左脑区 T5 电极点,右脑区 T6 电极点诱发了更晚的 EPN 成分。

EPN 幅值的三因素重复测量方差分析结果表明:分组主效应显著($P=0.003$),较之 2900 m 组和 3700 m 组,4500 m 组诱发更小的 EPN 成分,差异有统计学意义($P=0.022, P=0.018$)。

2.4 LPP 幅值均值结果 LPP 没有显著峰值,选择 300~500 ms 时间窗,取 LPP 成分幅值均值进行三因素重复测量方差分析。结果表明:分组主效应显著($P=0.008$)。其中 3700 m 组 LPP 平均幅值大于 500 m 组与 2900 m 组,差异有统计学意义($P=0.001, P=0.017$)。

3 讨 论

Yin(1969)最早通过学习再认试验,对面孔倒置效应(FIE)进行研究,即与识别正立面孔相比,识别倒置面孔更加困难,而同等处理的房子或飞机等物体的识别没有表现出同样明显的倒置效应^[20-21]。有研究认为,面孔倒置效应的出现,主要原因是人们对面孔的结构或整体的认知被倒置所致^[22]。Bentin, Allision 等(1996)采用 ERP 技术发现了面孔识别的早期特异成分——N170,与识别正立面孔

相比,识别倒置面孔时诱发的 N170 成分的潜伏期显著延长,且波幅增大^[23-25]。N170 成分不受面部表情、性别、种族、熟悉程度影响^[26],不受自上而下注意控制的影响,具有自动加工的性质。Adolphs(2002)的面孔加工模型指出,在面孔加工早期(120 ms 左右, P1 成分)存在一个由杏仁核、一些皮层下组织和纹状体皮层联合执行的快速知觉阶段,用于加工高显著性刺激,且 P1 成分不依赖意识,具有自动加工的性质^[27-28],P1 成分又被认为是视觉刺激类型(如面孔与非面孔)、刺激空间构型改变(如面孔倒置)的内源性加工的最早客观指标之一^[29],反映杏仁核、皮层下组织和视觉皮层探测系统,对面孔进行粗糙而迅速的早期分类^[30]。面孔加工除诱发 N170 和 P1 成分外^[31],还有 EPN(200~300 ms)和 LPP(300 ms 以后)。在 200~300 ms 左右于枕颞区产生一个正倾向成分,并伴随着一个中央区负成分,它们统称为早期后部负电位 EPN,作为刺激的研究均发现了情绪的 EPN 效应,表现为情绪刺激诱发的 EPN 波幅大于中性刺激(中性场景图片或中性面孔图片),并且不受情绪类型的影响。EPN 的这种情绪普遍性说明该成分反映了在知觉编码完成后,视觉皮层对环境中的情绪信息给予了进一步的选择性注意^[32]。在刺激位于中央注视区之内时,EPN 涉及的心理加工过程不受注意的影响,因此与 N170 和 P1 一样,也具有自动加工性质。

本研究通过对不同海拔地区青年在非注意条件下,对正立/倒置面孔感知的脑电成分进行比较分析,研究海拔因素对人基本认知能力的影响。选择面孔倒置效应的经典脑电成分 P1、N170、EPN 及 LPP,主要测量其潜伏期和波幅指标。结果表明,海拔因素对面孔倒置效应影响显著,主要表现在潜伏期和波幅的变化方面。

3.1 海拔因素影响机体对刺激物的早期感知 在 120 ms 左右(P1 成分),机体对刺激的低级物理属性敏感^[33],已完成刺激的早期分类,能辨别面孔类刺激和非面孔类刺激(或称专家型刺激和非专家性刺激)^[34],尚不能对刺激进行详细分类^[35]。与正立面孔相比,倒置面孔没有因为难度增大延长潜伏期或诱发更大的波幅。其潜伏期受海拔因素影响显著,在轻度低氧条件下(2900 m 组),潜伏期最短,低氧加重后(4500 m 组)潜伏期会显著延长,这与 Pagani 等^[36]研究结果一致,可能是由于机体长期

处于轻度低氧环境中通过自身调节达到习服状态^[36]。轻度低氧刺激提高了神经兴奋性,随着海拔的进一步增高,低氧等因素影响更加严重,超出机体习服阈限,认知能力开始下降,P1 的潜伏期开始显著增加。在高海拔环境(4500 m 组),正立面孔和倒置面孔诱发 P1 成分的潜伏期出现显著差异,可能有多种原因导致:一是随着海拔高度增加,低氧等因素逐步加重任务负荷,而到达一定海拔高度,该影响由量变诱发质变,任务难度提高;二是正立面孔和倒置面孔本身的加工方式不同,在海拔作用下差异得以显著化;三是机体的早期感知即对海拔因素敏感,当海拔上升到一定高度时,信息加工的方式发生变化。对波幅进行左右脑区对比研究发现,右脑区幅值显著大于左脑区,表现出右脑加工强度优势的现象。

3.2 高海拔因素可以弱化面孔倒置效应 在不同海拔环境,面孔倒置效应均非常显著,且呈现出右脑区加工强度优势,与以往研究结果一致^[37]。随着海拔高度的增加,潜伏期出现先降后升趋势,与 P1 潜伏期变化趋势相似。由于海拔越高空气中的含氧量越低,从而导致机体神经兴奋度增加,无论正立面孔还是倒置面孔,诱发 N170 的潜伏期都有先降后升趋势,且两者变化趋势相似却不同步。波幅也出现相似趋势,但没有达到显著程度。海拔逐步升高过程中,正立面孔与倒置面孔诱发 N170 的潜伏期与波幅差值均有缩小趋势,即面孔倒置效应呈现弱化。这可能是在平原地区和中高海拔的环境中,任务难度是刺激感知的主要影响因素,而在海拔较高地区,低氧等因素对机体感知觉的负荷度逐步超过感知任务难度的影响,成为影响机体对刺激的感知的主要影响因素。也可能是低氧等因素对正立面孔的整体构形加工与对倒置面孔的局部特征加工影响有差异,即低氧等因素对整体构形加工影响更为显著,而对特异性加工影响相对较轻。

3.3 高原环境对中晚期成分影响相对减轻 正立面孔和倒置面孔作为任务无关刺激,都诱发了明显的 EPN 成分,两者在潜伏期上呈现显著差异,且存在左脑加工速度优势,受海拔因素影响不显著。其幅值受海拔因素影响显著,在海拔 2900~3700 m,其幅值显著增大,受正立面孔、倒置面孔刺激类型影响不明显。EPN 成分作为非随意注意的主要成分^[38],受到高级认知功能监管,面孔正立和倒置的

任务难度的负荷性显著降低,加工速度受海拔因素影响相对减弱,而加工强度受海拔因素影响明显,EPN 成分对高原低氧环境的适应性也较早期成分 P1、N170 有所增强。从 LPP 平均幅值来看,受正立倒置面孔影响不显著,受海拔因素影响显著,不随意注意条件下,高级认知功能参与刺激信息加工,在海拔 3700 m 左右,神经兴奋性较强,加工强度有显著提升。且随着海拔升高,LPP 平均幅值整体有升高趋势,可能是因为高海拔环境中信息加工需投入更多心理资源。

当前高原研究显示,认知功能随海拔的升高而降低,对复杂认知任务的影响大于对简单认知任务的影响,且在进入高原后一段时间认知功能可逐渐恢复^[39-41]。本研究结论与以往结果基本一致,而在海拔 3000~3700 m 区间出现认知能力不降反增,可能以下几方面原因,一是本研究主要是针对非注意条件下的感知觉,属于简单认知任务,以往研究普遍认为低氧对简单认知任务影响较小,今后还应对复杂认知任务进行更深层次的研究;二是 P1、N170 属于脑电的早期成分,不受(或较少受到)注意自上而下的控制影响,可以基本排除心理暗示干扰;三是本试验时间是 4 月下旬,林芝、拉萨等地万物复苏,气温有所回升,大气中氧饱和度稍有提高,低氧等因素在一定程度上得以缓解;四是本研究被试为高中学历青年,生活规律、身体健康,可能对结果有一定的积极影响。

本研究采用非注意条件下的面孔识别范式,通过更加客观的脑电指标,为研究不同海拔对机体认知的影响提供了数据。但本试验为小样本研究,数据具有一定局限性,且受试验条件限制。今后的研究,应充分考虑到样本容量、代表性以及更高海拔等试验条件的问题,以期得到更为全面和精确的结论。

[参考文献]

- [1] 高钰琪. 高原军事医学[M]. 重庆:重庆出版社,2004:237-238.
- [2] 黄书润,邱双双,王贵国. 援藏人员如何适应高原环境的几点体会[J]. 东南国防医药,2004,6(5):364-365.
- [3] 樊璐璐,卢宁. 高原军人慢性疲劳综合征的相关研究进展[J]. 东南国防医药,2015,17(3):290-293.
- [4] 丰惠,贾宁阳,刘燕,等. 高原驻训官兵肝脏脂肪变性与缺氧等关系探讨[J]. 东南国防医药,2016,18(3):259-261.

- [5] 梁海君,孙明光,汤忠国,等. 急进高原驻训官兵常见病的防治对策[J]. 东南国防医药,2011,13(3):264-265.
- [6] 杨国愉,冯正直,汪 涛.高原缺氧对心理功能的影响及防护[J].中国行为医学科学,2003,12(4):471-473.
- [7] 杨国愉,冯正直,秦爱粉,等. 高原训练期间军人认知功能的追踪研究[J]. 医学争鸣,2005,26(3):272-275.
- [8] 毋 琳,徐 莉,杨 磊,等. 特勤疗养对高海拔官兵反应时的影响研究[J]. 解放军预防医学杂志,2017,35(6):565-567,587.
- [9] Wittner M, Riha P. Transient hypobaric hypoxia improves spatial orientation in young rats [J]. *Physiol Res*, 2005, 54(3): 335-340.
- [10] 韦 新. 高原青年官兵认知功能的特征与事件相关电位研究[D]. 第四军医大学,2015.
- [11] 崔军武,南 洁,董效军,等. 初入高原新兵认知能力变化的纵向追踪研究[J]. 职业与健康,2018,34(3):363-366.
- [12] Richardson C, Hogan AM, Bucks RS, *et al.* Neurophysiological evidence for cognitive and brain functional adaptation in adolescents living at high altitude[J]. *Clin Neurophys*, 2011, 122(9): 1726-1734.
- [13] Hogan AM, Virues OJ, Botti AB, *et al.* Development of aptitude at altitude[J]. *Dev Sci*, 2010, 13(3): 533-544.
- [14] 张 焱,贡京京,宋华森. 事件相关电位在脑力疲劳研究中的应用[J]. 中国健康心理学杂志,2014,22(9):1437-1439.
- [15] Kutas M, Federmeier KD. Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP)[J]. *Annu Rev Psychol*, 2011, 62(1):621-623.
- [16] 赵 仑, ERPs 试验教程(修订版)[M]. 南京:东南大学出版社,2010:50-56.
- [17] 贡京京,张 焱,张微微,等. 面孔倒置效应和诱导效应的行为学研究[J]. 中华行为医学与脑科学杂志,2011,20(7):638-640.
- [18] Zheng Y, Li H, Ning Y, *et al.* Sluggishness of Early-Stage Face Processing (N170) Is Correlated with Negative and General Psychiatric Symptoms in Schizophrenia[J]. *Front Hum Neurosci*, 2016, 10(2):15-17.
- [19] Gao L, Xu J, Zhang B, *et al.* Aging effects on early-stage face perception: An ERP study[J]. *Psychophysiology*, 2009, 46(5): 970-983.
- [20] 孔祥慧,张萍淑,吴小英,等. 正常成人在面孔识别过程中的脑事件相关电位特征[J]. 中国健康心理学杂志,2017,25(1):21-26.
- [21] Yin RK. Looking at upside-down faces[J]. *J Exp Psychol*, 1969, 81(1):141-145.
- [22] 贡琳琳,朱 霞,苗丹民. 面孔局部变化对倒置效应的影响[J]. 中国健康心理学杂志,2011,19(11):1404-1406.
- [23] Bentin S, Allison T, Puce A, *et al.* Electrophysiological Studies of Face Perception in Humans[J]. *J Cognit Neurosci*, 1996, 8(6): 551-565.
- [24] 李明芳,张 焱,张庆林. 面孔识别中脑电成分 N170 的研究概述[J]. 心理科学进展,2010,18(12):1942-1948.
- [25] 田海鹏. N170 与面孔识别关系的探讨[J]. 科教文汇,2015,5(14):138-139.
- [26] 汪海玲,傅世敏. 面孔倒置效应的研究与理论述评[J]. 心理科学进展,2011,19(11):1588-1594.
- [27] Adolphs R. Recognizing Emotion from Facial Expressions: Psychological and Neurological Mechanisms [J]. *Behav Cogn Neurosci Rev*, 2002, 1(1):21-62.
- [28] 侠 牧,李雪榴,叶 春,等. 面部表情加工的 ERP 成分[J]. 心理科学进展,2014,22(10):1556-1563.
- [29] Itier RJ, Taylor MJ. Inversion and Contrast Polarity Reversal Affect both Encoding and Recognition Processes of Unfamiliar Faces: A Repetition Study Using ERPs[J]. *Neuroimage*, 2002, 15(2):353-372.
- [30] Luo W, Feng W, He W, *et al.* Three stages of facial expression processing: ERP study with rapid serial visual presentation[J]. *Neuroimage*, 2010, 49(2):1857-1867.
- [31] 张萍淑,孔祥慧,元小冬,等. 听觉和视觉认知电位 P300 系列成分的临床电生理学特征[J]. 中国健康心理学杂志,2017,25(1):16-20.
- [32] Schupp HT, Flaisch T, Stockburger J, *et al.* Emotion and attention: event-related brain potential studies[J]. *Prog Brain Res*, 2006, 156(156):31-51.
- [33] Johannes S, Münte TF, Heinze HJ, *et al.* Luminance and spatial attention effects on early visual processing[J]. *Cognit Brain Res*, 1995, 2(3):189-205.
- [34] Gauthier I, Skudlarski P, Gore J C, *et al.* Expertise for cars and birds recruits brain areas involved in face recognition[J]. *Nat Neurosci*, 2000, 3(2):191-197.
- [35] 吕 勇,刘亚平,罗跃嘉. 记忆面孔,男女有别:关于面孔再认性别差异的行为与 ERP 研究[J]. 科学通报,2011,56(14):1112-1123.
- [36] Pagani M, Ravagnan G, Salmaso D. Effect of Acclimatisation to Altitude on Learning[J]. *Cortex*, 1998, 34(2):243-251.
- [37] 李明芳,张 焱,贾 磊,等. 面孔识别特异性本质的 ERP 研究[J]. 心理发展与教育,2011,27(5):459-467.
- [38] Zhao L. Experimental tutorial of ERP[M]. Tientsin: Tientsin Social Sciences Press, 2004:28-34.
- [39] 张 宽,朱玲玲,范 明. 高原环境对人认知功能的影响[J]. 军事医学,2011,35(9):706-709.
- [40] 陈勇胜,王生成. 高原低氧环境对睡眠和脑功能的影响[J]. 空军医学杂志,2012,28(3):150-153.
- [41] 乔 昆,张 鹏. 高原外训军人心理健康、认知因素与急性高山病的相关性[J]. 中国健康心理学杂志,2015,23(1):61-64.

(收稿日期:2018-04-14; 修回日期:2018-12-08)

(责任编辑:叶华珍; 英文编辑:吕铨烽)