



不同训练期间移动靶运动员脑电超慢信号系统的变化特点

郑樊慧¹, 全志伟¹, 张平法²

摘要: 利用脑电超慢涨落技术和《中国射击运动员恢复—应激问卷》对夏训不同训练负荷前后, 上海移动靶运动员安静状态下脑电超慢信号系统(尤其是神经递质信息)和心理状态的变化特点进行了测试与分析。研究结果发现, 在夏训不同训练阶段, 移动靶运动员全脑神经递质的平均激活水平无显著性差异。而从各脑区各递质的变化来看, INH在左前颞的激活水平有显著性变化, 夏训前的值均低于上量两周后及上强度一周后的值。ACh在左顶叶区有显著性变化, 夏训前的值高于上强度训练后的值。INH在左前颞的激活水平有显著性变化, 夏训前的值高于上量两周后的值。在夏训不同训练阶段, 运动员的休息受干扰和睡眠质量两个分量表存在显著性差异。与夏训前相比, 上强度训练一周后的休息受干扰分量表值高于夏训前的值。上量训练两周后的睡眠质量分量表值低于夏训前的值。

关键词: 移动靶; 脑电超慢涨落技术; 神经递质

中图分类号: G804.8 文献标识码: A 文章编号: 1006-1207(2010)06-0044-07

Variation Characteristics of the Ultra-Slow EEG Signal System of Moving Target Shooters in Different Training Periods

ZHENG Fan-hui¹, QUAN Zhi-wei¹, ZHANG Ping-fa²

(Shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030 China)

Abstract: Applying ultra-slow EEG fluctuation technology and the questionnaire on Chinese shooters' recovery and stress, the authors tested the variation characteristics of the ultra-slow EEG signal system, especially the neurotransmitter information and mental status of some Shanghai moving target shooters in tranquil state before and after the summer training with different training loads. The result shows that in the different phases of the summer training, there is no significant difference in average activation level of the whole brain neurotransmitter of the moving target shooters. Concerning the changes of the transmitters in different brain areas, obvious changes of activation level of INH in left anterior temporal are observed. The value before the training is lower than that two weeks after the load-increased training and one week after the intensive training. ACh changes are distinct in the left parietal area. The value before the training is higher than that after the intensive training. There is significant changes of activation level of INH in left anterior temporal area. The value before the training is higher than that two weeks after the load-increased training. During the different phases of the summer training, there is obvious difference between the subscales of disturbed rest and sleep quality. The value of disturbed-rest subscale is higher than that before the summer training. The value of sleep quality subscale the two weeks after the load-increased training is lower than that before the training.

Key words: moving target; ultra-slow EEG fluctuation technology; neurotransmitter

射击属于求稳求准的静力性项目, 所以它对运动员心理和技术动作的稳定性的要求很高。在训练和比赛中, 它要求运动员有高度集中注意的能力、敏锐的感知能力、快速反应能力和良好的情绪稳定性, 这些均是大脑的机能。此外, 由于视觉中枢细胞长时间处于兴奋状态, 更易引起运动员的中枢神经疲劳。我国任未多^[1]指出, 对射击项目的运动训练过程中及赛前的控制, 应把中枢疲劳和脑机能的监测、评定、预防和恢复作为主要目标来考虑。因此, 本研究在夏训不同训

练负荷前后, 对上海移动靶运动员安静状态下脑电超慢信号系统(尤其是神经递质信息)的变化特点进行了测试与分析, 探讨不同训练负荷对运动员递质活动的影响, 从而为利用大脑神经递质指标监测射击运动员中枢机能状况提供一定的科学依据。

脑电超慢涨落技术(SET)是一项新的脑电图分析技术, 该技术在完全自然和绝对无损伤的条件下, 对脑波超慢涨落过程进行扫描, 从而获得有关脑内神经递质活动的信

收稿日期: 2010-10-28

论文说明: 入选第九届全国运动心理学学术会议

第一作者简介: 郑樊慧, 女, 博士, 研究员, 主要研究方向: 运动心理学。

作者单位: 1. 上海体育科学研究所, 上海 200030; 2. 北京太阳电子科技有限公司, 100086



息^[2]。它的创始人是我国航天医学研究所的梅磊教授。他提出^[3]，传统的脑电检测皮层顶树突群中的快突触后电位。而SET检测受体后G蛋白/离子通道系统输出的慢突触后电位。神经递质作用于受体交联的G蛋白时，信号被多级放大，最终很多离子通道被激活而发放复杂超慢信号。这种慢信号带有一种巨涨落的特征，它对脑波α波起到调制作用。其信息按下列次序携带到脑波中：神经递量子释放的涨落→突触后电位幅度的涨落→脑α波的涨落→超慢振荡系统的谱线和谱系结构。这种过程是非线性的，在各个环节上都可以通过自组织而把主要特征(频率、周期)突现出来，锁定在某个稳定的频率上。不同神经递质可以有不同的稳定频率(优势谱线、谱系)。后者即可看作不同神经递质的“动力学密码”。

目前，该技术在临床上得到应用，很多与神经递质变化有关的诸如老年痴呆症、癫痫、帕金森症、弱智、神经衰弱、抑郁症等多种躯体和心理疾病的检测均使用到该项测试技术，这些检测结果特别是神经递质的变化结果与临床疾病上的症状显示和其它医学诊疗设备得出的结论是一致的。这些研究说明SET具有很高的信度和效度^[4]。此外，对于正常人不同认知条件下大脑功能的研究也采用了该项测试技术，这些研究表明，某些特征谱线系在全脑的活动水平与认知功能有关，且它们活动的脑空间分布与认知功能也有密切关系^[5-13]。

在体育领域里，也逐渐运用该项技术开展了一些研究^[14-16]。我们^[7]在对射击、射箭运动员脑电超慢图正常参考值的研究的基础上，对夏训不同训练负荷前后，上海移动靶运动员安静状态下脑电超慢信号系统(尤其是神经递质信息)的变化特点进行了测试与分析，探讨不同训练负荷对运动员递质活动的影响，从而为利用大脑神经递质指标监测射击运动员中枢机能状况进行一些探索性研究。

1 对象与方法

1.1 研究对象

上海射击队移动靶运动员，共7名，其中男运动员3名，女运动员4名，平均年龄21.8±1.5岁。均为右利手。

1.2 测试工具

超慢涨落视频脑电图仪(北京太阳电子科技有限公司生产)。该仪器是采用无笔记录方式的一体化脑电图机。该仪器各频段的划分为δ频段(0.8~3.8 Hz)、θ(4.0~7.8 Hz)、α1(8.0~8.8 Hz)、α2(9.0~10.8 Hz)、α3(11.0~13 Hz)、β(13~30 Hz)。该仪器能从

传统脑电信号中提取SET信息。

《中国射击运动员恢复一应激问卷》(RESTQ-S)，该问卷由郑樊慧、张忠秋编制。

1.3 测试时间

在2008年夏训期间，对移动靶运动员夏训前的休息调整结束后，上量两周后和上强度一周后3个阶段的脑电进行了测试，脑电测试结束后让运动员填写RESTQ-S量表。上量两周的训练安排为：第一周以空枪预习和密度射击为主，主要是夏训的开始阶段的基础训练。第二周为上量周，运动量为中到大量，同时也进行了一天的调整。上强度周训练安排为：将运动负荷的安排从较大的量向上强度转换，进行了一系列的上强度训练，提高了训练的负荷，同时也进行了适当的调整和一些诱导式的训练，为考核做好准备。

1.4 测试程序

脑电测试时让受试者坐在带有扶手的椅子上，安静、闭目，不眨眼、不转动眼球，不想事，勿入睡。电极帽松紧适度，按照国际10/20系统安放电极，安放的位置为F₃、F₄、C₃、C₄、P₃、P₄、O₁、O₂、F₇、F₈、T₅、T₆，双侧耳垂为参考电极，前额正中接地。记录安静时脑电1 024 s。采集完运动员的原始脑电后进行脑电超慢信号提取，计算出脑内递质全脑平均及各脑区抑制性递质(INH)，5-色胺(5-HT)，乙酰胆碱(ACh)，多巴胺(DA)，去甲肾上腺素(NE)，兴奋性递质(EXE)的激活相关值。所得的数值是将测得的频谱特征结构与所建立的递质模型(密码)库进行比较，得到一系列相关数值。所得的数值带有正负号，为了对全脑和各脑区的神经递质的激活程度进行统计分析，本文根据梅磊教授的转换公式对数据进行了变换。

1.5 数据处理

运用SPSS13.0统计软件进行数据统计，采用非参数检验中多个相关样本检验方法进行数据分析。数据值均采用均数加减标准差表示(X±S)。

2 研究结果

2.1 夏训不同训练阶段运动员全脑神经递质平均激活水平的比较

将运动员夏训前、上量两周后及上强度训练一周后神经递质激活水平全脑均值进行了比较，进行多个相关样本检验后结果显示，夏训不同训练阶段运动员全脑神经递质平均激活水平不存在显著性差异(见表1)。

表1 夏训前、上量两周后及上强度训练一周后神经递质激活水平全脑均值比较(N=7)

Table 1 Comparison between the Whole Brain Average Value of the Neurotransmitter Activation Level before the Summer Training, Two Weeks after the Load-Increased Training and One Week after the Intensive Training (N=7)

	INH	5-HT	ACh	DA	NE	EXC
夏训前休息	36.34 ± 8.04	21.46 ± 3.81	30.04 ± 5.07	31.16 ± 6.67	23.99 ± 5.28	25.12 ± 9.89
上量两周后	29.68 ± 5.09	18.47 ± 4.70	30.75 ± 5.42	37.67 ± 7.71	20.83 ± 5.84	30.57 ± 8.57
上强度一周后	33.75 ± 8.08	21.58 ± 6.87	30.11 ± 6.51	33.63 ± 8.74	27.23 ± 4.99	24.01 ± 5.62

2.2 夏训不同训练阶段运动员各脑区各神经递质激活水平的比较

将运动员夏训前休息调整结束后、上量两周及上强度训练一周后各脑区各神经递质激活水平进行比较, 进行多个相

表2 夏训前各神经递质各脑区激活水平(N=7)

Table II Activation Level of the Different Transmitters in Different Brain Areas (N=7)

	INH	5HT	ACh	DA	NE	EXE
F ₃	25.63 ± 18.57	23.91 ± 7.86	37.50 ± 9.68	26.94 ± 15.42	19.79 ± 9.26	31.06 ± 22.83
F ₄	37.82 ± 13.82	25.02 ± 8.96	29.58 ± 11.33	25.86 ± 8.33	25.70 ± 9.65	23.75 ± 17.82
C ₃	37.68 ± 14.84	23.85 ± 13.19	28.51 ± 9.72	28.79 ± 15.09	25.19 ± 13.36	22.31 ± 15.66
C ₄	40.87 ± 19.39	20.91 ± 10.50	22.71 ± 11.53	29.69 ± 12.54	30.72 ± 13.48	23.18 ± 11.99
P ₃	41.56 ± 19.03	18.06 ± 10.33	36.59 ± 8.16	37.00 ± 19.89	18.36 ± 6.92	21.78 ± 17.21
P ₄	35.51 ± 13.94	23.18 ± 9.01	21.83 ± 7.12	28.16 ± 12.68	22.92 ± 8.96	31.73 ± 13.27
O ₁	35.22 ± 14.38	21.45 ± 14.26	29.96 ± 13.97	34.96 ± 20.86	21.08 ± 10.27	28.24 ± 11.60
O ₂	34.98 ± 15.38	16.90 ± 11.19	32.26 ± 12.39	38.78 ± 17.00	25.96 ± 12.57	21.16 ± 14.69
F ₇	45.08 ± 13.83	20.05 ± 6.84	31.60 ± 11.01	28.73 ± 11.19	26.03 ± 12.92	17.89 ± 9.81
F ₈	29.37 ± 10.37	22.73 ± 4.22	30.09 ± 13.27	29.83 ± 9.68	23.32 ± 17.26	27.30 ± 11.90
T ₅	35.39 ± 13.62	22.70 ± 11.72	31.63 ± 9.98	29.71 ± 13.19	27.58 ± 15.49	23.38 ± 18.63
T ₆	36.98 ± 15.38	18.77 ± 9.51	28.19 ± 10.86	35.51 ± 15.39	21.27 ± 12.65	29.63 ± 17.57

表3 夏训上量两周后各神经递质各脑区激活水平(N=7)

Table III Activation Level of the Different Transmitters in Different Brain Areas Two Weeks after the Load-Increased Training (N=7)

	INH	5HT	ACh	DA	NE	EXE
F ₃	28.70 ± 10.25	15.48 ± 7.84	29.15 ± 11.53	41.76 ± 14.25	24.87 ± 14.00	28.81 ± 19.39
F ₄	30.13 ± 17.15	17.45 ± 8.32	33.05 ± 14.26	33.80 ± 8.13	19.28 ± 6.47	30.77 ± 14.44
C ₃	27.37 ± 11.71	12.01 ± 5.18	36.15 ± 12.90	52.24 ± 15.88	17.99 ± 14.80	30.64 ± 12.34
C ₄	31.66 ± 17.19	27.02 ± 16.24	26.46 ± 12.64	29.20 ± 18.57	22.53 ± 8.06	31.92 ± 14.72
P ₃	29.47 ± 18.55	14.69 ± 5.01	39.18 ± 23.08	40.92 ± 12.57	20.91 ± 16.16	23.71 ± 14.09
P ₄	27.41 ± 10.62	18.26 ± 6.04	23.43 ± 7.53	38.45 ± 9.49	18.77 ± 8.73	41.08 ± 14.36
O ₁	34.62 ± 20.41	22.62 ± 14.01	32.99 ± 14.47	33.24 ± 20.87	20.72 ± 12.88	23.01 ± 20.53
O ₂	28.40 ± 8.93	15.89 ± 7.41	30.57 ± 7.34	40.63 ± 12.92	17.34 ± 5.37	32.94 ± 17.20
F ₇	24.50 ± 8.37*	12.62 ± 6.51	39.07 ± 7.34	49.58 ± 13.60	10.72 ± 5.62*	38.36 ± 14.23
F ₈	30.75 ± 16.21	16.99 ± 7.60	27.11 ± 9.18	37.30 ± 10.35	21.18 ± 8.00	31.97 ± 13.00
T ₅	28.97 ± 10.86	24.66 ± 14.85	24.22 ± 8.72	27.99 ± 16.47	31.15 ± 14.36	26.87 ± 20.36
T ₆	34.17 ± 14.04	23.95 ± 10.29	27.54 ± 9.26	26.87 ± 15.04	24.47 ± 15.39	26.86 ± 15.17

注: 与夏训前比, * 表示 $P < 0.05$

表4 夏训上强度训练一周后各神经递质各脑区激活水平(N=7)

Table IV Activation Level of the Different Transmitters in Different Brain Areas One Week after the Intensive Training (N=7)

	INH	5HT	ACh	DA	NE	EXE
F ₃	22.53 ± 14.76	25.07 ± 13.84	27.41 ± 9.93	29.45 ± 18.56	28.67 ± 9.79	30.19 ± 16.38
F ₄	37.81 ± 18.67	16.72 ± 11.24	32.66 ± 13.15	41.03 ± 21.37	21.82 ± 13.81	22.26 ± 13.02
C ₃	30.50 ± 12.07	18.59 ± 14.35	36.71 ± 9.70	38.24 ± 17.34	17.46 ± 6.95	27.17 ± 12.22
C ₄	38.60 ± 23.66	26.65 ± 7.40	31.15 ± 8.08	19.51 ± 6.41	37.71 ± 8.40	15.16 ± 14.08
P ₃	24.11 ± 10.11	18.72 ± 12.90	25.94 ± 7.39*	38.26 ± 19.01	23.94 ± 15.38	36.30 ± 14.61
P ₄	43.40 ± 15.28	23.78 ± 13.13	23.40 ± 10.87	26.79 ± 12.39	34.52 ± 16.10	18.83 ± 12.53
O ₁	37.88 ± 12.44	21.37 ± 16.43	28.02 ± 8.75	34.37 ± 20.93	29.76 ± 14.88	21.80 ± 15.12
O ₂	41.23 ± 18.18	17.65 ± 8.88	33.33 ± 21.03	34.19 ± 15.37	30.30 ± 19.12	18.02 ± 14.16
F ₇	27.82 ± 7.67*	25.25 ± 21.40	35.98 ± 18.58	37.57 ± 22.87	17.19 ± 9.30	29.17 ± 13.39
F ₈	30.40 ± 13.92	16.32 ± 8.60	30.07 ± 12.67	40.00 ± 15.94	23.60 ± 19.33	32.38 ± 17.78
T ₅	39.00 ± 12.38	28.92 ± 16.80	29.29 ± 12.98	26.30 ± 16.43	32.13 ± 15.60	13.73 ± 6.78
T ₆	31.74 ± 10.78	19.96 ± 12.29	27.34 ± 10.04	37.88 ± 20.80	29.71 ± 15.57	23.09 ± 13.66

注: 与夏训前比, * 表示 $P < 0.05$

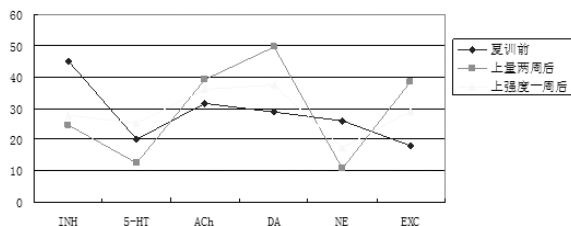


图1 夏训不同阶段移动靶运动员左前颞区各神经递质激活水平比较

Figure 1 Comparison between the Moving Target Shooters' Activation Levels of the Neurotransmitters in Left Anterior Temporal in the Different Phases of Summer Training

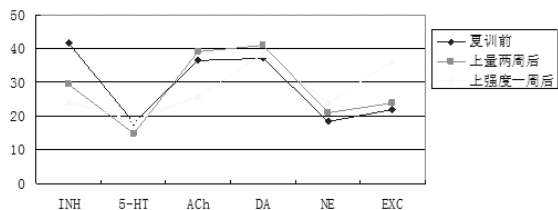


图2 夏训不同训练阶段移动靶运动员左侧顶区各神经递质激活水平比较

Figure 2 Comparison between the Moving Target Shooters' Activation Levels of the Neurotransmitters in Left Parietal Area in the Different Phases of Summer Training

关样本检验后结果显示,在夏训3个不同的训练阶段递质 INH 在左前颞叶 (F_7) 存在非常显著性差异 ($P=0.001 < 0.01$),进一步进行两个相关样本检验表明,夏训前的值与上量两周后 ($P=0.016 < 0.05$) 和夏训前与上强度训练一周后的值 ($P=0.016 < 0.05$) 存在显著性差异,训练后 INH 在 F_7 的值均低于夏训前的值。ACh 在左顶叶区 (P_3) 存在显著性差异 ($P=0.021 < 0.05$),进一步进行两个相关样本检验表明,夏训前的 ACh 值与上强度训练一周后的值有显著性差异 ($P=0.016 < 0.05$)。上强度后 ACh 在 P_3 的值低于夏训前。递质 NE 在左前颞叶 (F_7) ($P=0.016 < 0.05$) 存在非常显著性差异,进一步进行两个相关样本检验表明,夏训前和上量两周后的 NE 值存在显著性 ($P < 0.016$) (见表 2~4)。上量两周后, NE 在 F_7 的值低于夏训前的值。DA 在左前颞叶 (F_7) 的差异接近显著性水平 ($P=0.051$),两周上量后和一周上强度的值均高于夏训前。

2.3 夏训不同训练阶段运动员《中国射击运动员恢复—应激问卷》值的比较

将运动员夏训前休息调整结束后、上量两周后及上强度训练一周后的《中国射击运动员恢复—应激问卷》的各分量表值进行比较,进行多个相关样本检验后结果显示,休息受干扰 ($P=0.004 < 0.01$) 存在非常显著性差异,睡眠质量 ($P=0.011 < 0.05$) 存在显著差异。进一步进行两个相关样本的检验表明,在夏训前休息调整结束后与上强度训练一周后的休息受干扰分量表存在显著差异 ($P=0.016 < 0.05$),上强度训练后的值高于夏训前的值;睡眠质量分量表在夏训前休息调整结束后与上量两周后存在显著差异 ($P=0.016 < 0.05$),上量两周后的值低于夏训前的值 (见表 5)。

表5 夏训前、上量两周及上强度训练一周 RESTQ-S 各分量表的均值比较 (N=7)

Table V Comparison between the Moving Target Shooters' Activation Levels of the Neurotransmitters in Left Anterior Temporal in the Different Phases of Summer Training

	夏训前	上量两周后	上强度一周后
情绪应激	1.37 ± 0.73	1.89 ± 1.77	1.60 ± 1.15
休息受干扰	1.86 ± 1.16	2.54 ± 1.31	3.32 ± 1.12**
社会应激	0.94 ± 0.91	1.11 ± 0.92	1.29 ± 0.82
心理耗竭	2.61 ± 2.04	2.14 ± 1.97	2.36 ± 1.85
疲劳	2.05 ± 1.50	3.31 ± 1.82	3.79 ± 1.78
总体感觉良好	4.18 ± 0.91	3.57 ± 1.31	3.21 ± 0.85
身体健康	3.93 ± 0.92	3.07 ± 1.07	2.96 ± 0.81
睡眠质量	4.79 ± 1.02	3.18 ± 1.48*	3.32 ± 1.29
社会支持	4.93 ± 0.81	4.46 ± 1.25	4.39 ± 1.11
自我调节	4.00 ± 1.42	3.63 ± 1.90	3.69 ± 1.42
自我效能	3.63 ± 0.91	3.26 ± 1.62	3.26 ± 1.70

注:与夏训前比,*表示 $P < 0.05$

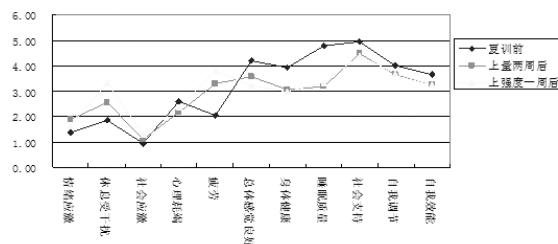


图3 夏训不同训练阶段移动靶运动员 RESTQ-S 各分量表值
Figure 3 RESTQ-S Subscale Values of the Moving Target Shooters in the Different Phases of Summer Training

3 分析与讨论

中枢神经递质不仅与人的感觉、知觉、疼痛、情绪、学习和记忆等心理活动有关,而且对中枢神经系统所控制和调节的各种功能活动,如睡眠和觉醒以及饮水和摄食等行为活动有密切的关系。所以,开展对中枢神经递质的研究,为研究和揭示人的心理活动的生理机制以及研究各种因素对人的心理活动的影响开辟了新的前景。

SET 技术可以在完全自然、无损伤的情况下,反映大脑及各脑区的神经递质激活程度。梅磊教授在测试了正常年轻人、医务工作者及航天实验员等人群后发现,正常人闭眼安静状态下, DA 激活率高, 5-HT 激活率低, ACh 为激活率高, NE 激活率低, INH 与 EXC 处于平衡状态。多数人闭眼时抑制递质略高于兴奋递质。此外,在 SET 中对众所周知, DA 与 5-HT、ACh 与 INH 及 INH 与 EXC 之间存在拮抗关系可以整合显示,所得图形似飞鸟之主体及两翼,梅教授称之为“飞鸟图”,可以作为一般人员的参数标准^[3]。我们前期的研究也表明,射击、射箭运动员在休息调整后,他们在安静状态下全脑各神经递质的平均激活水平,也呈现“飞鸟”图形^[17]。

由于中枢通过神经递质对大脑皮质的运动区、基底神经

节等进行调节,影响运动和行为习惯;另一方面,这些神经递质影响下丘脑的机能,通过内分泌系统对机体进行调节,影响着运动能力。因此,目前在运动领域,中枢神经递质与运动之间的相互关系是研究的热点问题之一。但这些研究多以动物为实验对象。这些研究更多关注的是氨基酸类神经递质、单胺类神经递质等。

在中枢神经系统内氨基酸类递质分为:兴奋性氨基酸,主要有谷氨酸(GLU)和天冬氨酸(ASP);抑制性氨基酸,主要有 γ -氨基丁酸(GABA)、甘氨酸(GLY)。抑制性氨基酸以 γ -氨基丁酸最为重要。它主要分布于锥体外系、下丘脑、脑桥、基底部和下丘脑。它在中枢的生理功能主要包括:(1)抗焦虑作用;(2)对垂体激素的作用;(3)与镇痛有关;(4)对摄食的影响;(5)参与视觉通路信息的传递和调控等作用。

前苏联生理学家首先发现运动性疲劳大鼠脑中抑制性氨基酸— γ -氨基丁酸(GABA)含量升高,进而提出 γ -氨基丁酸正是中枢神经系统保护性抑制的物质基础。目前认为,长时间运动后,脑组织递质性氨基酸可以发生改变,影响中枢的兴奋与抑制过程,是导致运动性疲劳的可能机制之一。我国李人等人^[18]的研究发现,安静状态下训练和未训练过的大鼠脑中GLU/GABA的比值无明显差别,这说明它们在安静时各脑区的GLU与GABA的代谢水平是相近的,而经过1 h、2 h、5 h游泳后脑中有部分脑区GABA低于安静值,而GLU高于安静值,并有显著性差异,意味脑中出现以兴奋为主的效应。而经过9 h长时间的运动后,所测脑区中GLU与GABA都有十分显著的增多,而GLU/GABA的比值明显下降,可初步认为脑中GABA水平对于长时间运动引起的运动性疲劳的中枢抑制过程有关,特别是当机体运动出现疲劳时各脑区中GLU与GABA的代谢平衡发生的改变,原有安静时的平衡被破坏,各脑区中GABA含量升高的幅度大于GLU升高的幅度,使脑中以GABA抑制效应占优势。

张东明^[19]等用激光诱导荧光检测的高效毛细管电泳结合微透析技术测定急性力竭运动前后的大鼠下丘脑区细胞外液中的氨基酸神经递质的含量。结果显示,急性力竭运动后4 h以及72 h大鼠下丘脑区的细胞外液中的GLU、GABA、Gly有统计意义地增加,他们认为下丘脑递质性氨基酸在应激过程中可能起着重要作用。

耿青青^[20]研究了长期递增负荷运动对大鼠氨基酸类神经递质的影响。研究表明,GLU在4周递增运动负荷中,在运动后即刻上升,运动后3 h下降,但仍高于安静值;在第0、2、4周,GLU的安静值不断上升,且在运动后即刻上升的幅度也在减小;GABA在4周递增运动负荷中,在运动后即刻下降,运动后3 h上升,高于安静值;在第0、2、4周,GABA的安静值不断上升,且运动后即刻下降的幅度也在减小。GAD65、GAD67在4周递增运动负荷中,在运动后即刻下降,运动后3 h有回升趋势,但仍低于安静值,并发现,在GAD67有升高时,总伴随GAD65的下降现象。

在本研究中,从夏训不同训练对移动靶运动员超慢涨落信号系统的影响可以看出,训练量和训练强度增加后,INH全脑激活水平平均值均低于夏训前的休息调整后的值。从各脑

区看,训练量和训练强度增加后,左侧前颞区的INH值均低于夏训前的休息调整后的值,并有显著性差异。而在该区DA则呈现相反方向的变化。这有可能说明训练负荷的增加大脑抑制过程减弱,兴奋过程增加。

颞叶位于大脑外侧沟下方,顶枕沟和枕前切迹连线的前方。它分为外侧面和底面,在外侧面上有颞上回、颞中回和颞下回。有研究表明颞叶具有听觉功能,语言和记忆等复杂认知机能及与情绪有关。但沈政^[21]报道,颞叶皮层不仅在听觉信息加工中具有重要作用,还存在复杂视觉与动觉的信息加工以及多种信息存储的记忆功能,颞叶皮层的认知功能是复杂而重要的。美国的Roy等人^[22]经多年研究发现,猴内侧颞上回存在着特殊视觉感受细胞,称两眼视差相关的方向选择神经元。它们为认知者提供自身运动方向的信息,主要是对认知者自身运动与其观察物体的相对关系发生反应,特别是当这种变化发生在水平方向时,此类细胞的选择性反应最灵敏,它们提供认知者自身在水平面上的运动方向信息,成为认知主体的自身运动知觉的特殊检测细胞。如果参照物位于两眼焦点以远的部位时,视差相关的方向选择细胞对自身与参照物同一方向运动时反应最大;反之,参照物位于两眼聚交点之内时,则视差相关的方向选择细胞对自身反向运动反应最大。所以,颞叶还与靠视觉反馈的自身运动知觉有关。此外,锥体外系也有缘自颞叶皮层,而锥体外系的主要功能是调节肌紧张、维持姿势和习惯性动作。而移动靶射击时,要求运动员站立在原地举枪,对来回移动的靶子进行射击,因此,训练后左前颞区INH激活水平的下降,可能表明随训练负荷增加该区兴奋增强有关。

乙酰胆碱(ACh)是运动神经、自主神经系统中的节前纤维和副交感神经节后纤维的兴奋性递质,以ACh为递质的神经总称为胆碱能神经。中枢神经系统中许多神经元之间也是以ACh联系。脑内胆碱能神经元的集中分布区域是大脑的前脑基底部,从隔区的吻侧延续到底丘脑核的尾端。脑内胆碱能神经元的主要功能为:参与情感和学习记忆,影响机体的复杂行为;调节内脏;参与网状结构上行激动系统的构成,在保证大脑皮层的清醒状态中起重要作用,参与睡眠和觉醒的调节。皮层和海马等脑区的ACh主要来源于基底前脑胆碱能神经元的纤维投射。目前应用微透析技术在体检测清醒、自由活动动物认知过程中脑内乙酰胆碱的含量,以研究ACh与特定行为反应和认知活动之间的关系^[23]。研究发现,脑内ACh与认知活动之间关系复杂。在学习与记忆、注意、新环境下的探究行为和自发活动等各种认知活动中,脑内ACh多呈现同步升高的趋势,但是也有不同的结果。各种认知活动中脑内ACh的改变主要表现在皮层、海马等脑区,它们主要接受来自基底前脑的胆碱能纤维投射。虽然不同的认知活动也可以引起某些特定相关脑区ACh的升高,但是这方面的研究证据尚不充分。另外,脑内ACh的改变还与认知过程中不同的信息加工环节和模式有关。

近年来的研究还发现,中枢乙酰胆碱(ACh)对调节机体运动具有重要作用,在锥体系及大脑皮质的锥体细胞是胆碱敏感细胞,脑干和脊髓发出的神经元属于胆碱能神经;在锥体外系中,尾状核ACh和DA之间的平衡对维持机体的运动有重要的意义^[24],而且其水平变化与运动性中枢疲劳形成



和发展密切相关。有研究报道^[25],在马拉松比赛中,运动员血浆胆碱水平将会下降约40%。如补充适量的胆碱饮料以保持血浆胆碱水平,将会推迟疲劳的产生。还有研究者^[26]检测了运动负荷后,清醒状态时大脑皮层中ACh的变化,发现5 min的运动使ACh升高得最为明显,同时NA和5-HT也有升高。当中枢ACh浓度下降时,中枢疲劳就会发生。

在本研究中,在夏训期间,上量两周后ACh的激活水平较夏训前大部分脑区均有提高,特别是左侧的C₃、P₃、O₁、F₇的激活水平,但差异不显著。而在上强度后,ACh在P₃的激活水平的显著地低于夏训前,而其他脑区的激活值的变化趋势与上量两周后基本相同。顶叶皮层主要有躯体感觉区、躯体感觉整合区、味觉区和感觉语言区。躯体感觉和躯体感觉整合区主要接受来自皮肤、肌肉、关节、和来自视觉皮层的各种感觉的传入。经过它们的汇集和整合,产生运动方向感、肌体空间位置觉和空间认知觉。近年的研究表明后顶叶区在视觉资源配置中起重要作用^[27]。还有研究者认为^[28],下顶叶皮层具有指导视觉注意的神经机制,即注视着关心的目标物。当目标缓慢移动时,维持视跟动作。而在视野出现新目标物时则发动快速扫视的眼运动。因此,当移动靶训练时,顶叶区的激活程度增加,随着训练量的增加,可能会出现疲劳,导致ACh的下降。

在中枢神经系统中去甲肾上腺素(NE)能神经元的胞体主要集中在延脑和桥脑。NE能神经元发出的纤维广泛地投射脑内各个部位,其中上行纤维背侧束可投射到全部端脑,腹侧束可投射到中脑、间脑、端脑边缘系统及嗅球;下行纤维可投射到脊髓的前角、后角、中间外侧柱和中央管周围。它的功能主要有:对心血管系统的调节;镇痛作用;参与维持中枢递质间的动态平衡,保持正常的运动能力;与情感障碍、体温调节、摄食控制及维持中枢的觉醒有关。研究表明^[29],长期的运动刺激可以提高脑组织中的NE含量的代谢增强,训练的强度和方式引起NE反应性不同,耐力训练可引起运动后下丘脑NE的升高。但SET的研究者们指出^[30],微电泳和脑室注入NE,对中枢神经元有抑制作用,而用药物加强NE神经元的功能,则往往出现兴奋、激动、欣快等反应。他们的研究工作得出的NE的最优谱线(D1)效应主要是抑制性的,他们认为这反映了NE的一种强效应,是脑室给药的特殊反应。而在NE的中、弱效应中,可能出现一般的兴奋性反应。在本研究中,夏训期间,上量两周后NE的全脑激活水平均值低于夏训前,而继续上强度一周后的值则高于夏训前,但均无显著性差异。而从各脑区来看,NE的激活水平在左前额叶(F₇)存在非常显著性差异,夏训前和上量两周后的NE值存在显著性,上量两周后,NE在F₇的值低于夏训前的值。这个变化与INH的相一致,有可能表明,随着运动量的增加,大脑兴奋水平提高。

4 结论

4.1 在夏训不同训练阶段,移动靶运动员全脑神经递质的平均激活水平无显著性差异。而从各脑区各递质的变化来看,INH在左前额的激活水平有显著性变化,夏训前的值均低于上量两周后及上强度一周后的值。ACh在左顶叶区有显著性变化,夏训前的值高于上强度训练后的值。INH在左前额

的激活水平有显著性变化,夏训前的值高于上量两周后的值。

4.2 通过《中国射击运动员恢复一应激问卷》测试结果表明,在夏训不同训练阶段,运动员的休息受干扰和睡眠质量两个分量表存在显著性差异。与夏训前相比,上强度训练一周后的休息受干扰分量表值高于夏训前的值。上量训练两周后的睡眠质量分量表值低于夏训前的值。

参考文献:

- [1] 任未多. 运动性中枢疲劳、脑机能状态和竞技状态的跟踪研究[J]. 中国射击射箭, 2005, 5: 11-13.
- [2] 梅磊. ET-脑功能研究新技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995: 199-225.
- [3] 梅磊. 解码脑波—SET: 发现隐藏着的量子化世界[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2008: 1-33.
- [4] 张理义, 徐志雄. 脑电超慢涨落图技术在心理疾病中的应用[J]. 中国行为医学科学, 2006, 15(6): 569-570.
- [5] 刘昌, 李德明, 梅磊. 成人脑涨落图年龄变化特点的研究[J]. 心理学报, 1996, 28(3): 307-313.
- [6] 沃建中, 林崇德, 曹河圻等. 6~12岁儿童脑波功率涨落特点与信息加工速度的关系[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(1): 118-125.
- [7] 梅磊, 刘月红, 曲战胜. 记忆状态下脑波超慢涨落图分析[J]. 航天医学与航天工程, 1989, 2(3): 157-163.
- [8] 李德明, 刘昌, 梅磊. 与年龄及认知功能相关的成人脑波功率涨落图特点[J]. 心理学报, 1996, 28(4): 405-411.
- [9] 沃建中, 林崇德, 曹河圻等. 6~12岁儿童脑波功率涨落特点与信息加工速度的关系[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(1): 118-125.
- [10] 沃建中, 林崇德, 刘军. 6~12岁儿童脑波超慢涨落功率与计算速度的关系[J]. 心理学报, 2001, 33(6): 526-531.
- [11] 沃建中, 刘慧娟, 林崇德. 记忆状态下儿童青少年脑波超慢涨落特点的研究[J]. 心理科学, 2002, 25(3): 286-289.
- [12] 潘昱, 沃建中, 林崇德. 13~18岁青少年表象能力的发展和脑电α波的关系[J]. 心理发展与教育, 2001, 4: 6-11.
- [13] 李会杰, 刘涵慧, 沃建中. 图形推理的脑波超慢涨落研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2006, 42(3): 305-309.
- [14] 魏高峡, 梁承谋, 李佑发等. 优秀游泳运动员赛前心理状态的脑功能特征研究[J]. 体育科学, 2005, 25(10): 41-46.
- [15] 南开, 庞俊华. 初探优秀射箭运动员脑波涨落图特征[J]. 生物医学工程学杂志, 2007, 24(4): 760-763.
- [16] 王晓军. 短期强度负荷对射击运动员脑神经递质的影响[J]. 体育科技, 2008, 29(3): 66-67.
- [17] 郑樊慧, 全志伟, 张平法. 射击、射箭运动员脑电超慢图正常参考值的初步研究[J]. 体育科研, 2010, 31(1): 70-76.
- [18] 李人, 陶心铭. 运动性疲劳与脑中γ-氨基丁酸[J]. 中国运动医学, 1985, 4(2): 81.
- [19] 张东明等. 急性力竭运动对大鼠下丘脑氨基酸神经递质的影响[J]. 高等学校化学学报, 2002, 23(2): 230-233.

- [20] 耿青青. 长期递增负荷运动对大鼠氨基酸类神经递质的影响[M]. 华南师范大学硕士生论文, 2005.
- [21] 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.
- [22] Roy, J.P., Wurtz, R.H. (1990). The role of disparity-sensitive cortical neurons in signalling the direction of self-motion[J]. *Nature*, 348:160-162
- [23] 于萍, 渠春环等. 脑内乙酰胆碱与认知活动的关系[J]. 心理科学进展, 2008, 16(3): 453-457.
- [24] 田野主编. 运动生理学高级教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003, 456-469.
- [25] 许礼哲, 邓树勋等. 运动性中枢疲劳生化基础[J]. 浙江体育科学, 2000, 22(2): 59-60.
- [26] Mieko, K. (1993). Extracellular release of acetylcholine, norepinephrine and serotonin increases in the cerebral cortex during walking in conscious rats[J]. *Neuroscience Letters*, 16:73-76.
- [27] 张学民, 李永娜等. 视觉注意的脑功能成像研究进展[J]. 神经解剖学杂志, 2009, 25(5): 582-586.
- [28] 徐秉炬. 视觉注意的顶叶神经机制[J]. 心理科学通讯, 1981, 4: 14-15.
- [29] 张蕴琨. 运动时中枢神经递质的代谢调节[A]. 见: 冯炜权, 谢敏豪等. 运动生物化学研究进展[M]. 北京: 体育大学出版社, 2006: 305-329.
- [30] 白延强, 刘月红等. 家兔脑室注射乙酰胆碱、去甲肾上腺素的脑波涨落图分析[J]. 航空医学和医学工程, 1995, 8(3): 183-186.

(责任编辑: 何聪)

(上接第36页)

- [11] Wu G, Siegler S, Allard P, Kirtley C, Leardini A, Rosenbaum D, Whittle M, D'Lima DD, Cristofolini L, Witte H, Schmid O, Stokes I. (2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion--part I: ankle, hip, and spine. *International Society of Biomechanics*[J]. *J Biomech*, 35(4): 543-548.
- [12] Boyer KA, Nigg BM. (2007). Quantification of the input signal for soft tissue vibration during running[J]. *J Biomech*, 40(8): 1877-1880.
- [13] Frederick EC, Hagy JL. (1986). Factors affecting peak vertical ground reaction forces in running[J]. *Int J of Sport Biomech*, 2: 41-49.
- [14] Hennig EM, Valiant GA, Liu Q. (1996). Biomechanical variables and the perception of cushioning for running in various types of footwear[J]. *J Appl Biomech*, 12: 143-150.
- [15] Nigg BM, Bahlsen HA, Luethi SM, Stokes S. (1987). The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running[J]. *J Biomech*, 20(10): 951-959.
- [16] Zhang S, Clowers K, Kohstall C, Yu YJ. (2005). Effects of various midsole densities of basketball shoes on impact attenuation during landing activities[J]. *J Appl Biomech*, 21(1): 3-17.
- [17] Lafortune MA, Lake MJ, Hennig EM. (1996). Differential shock transmission response of the human body to impact severity and lower limb posture[J]. *J Biomech*, 29(12): 1531-1537.
- [18] Hardin EC, van den Bogert AJ, Hamill J. (2004). Kinematic adaptations during running: effects of footwear, surface, and duration[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 36(5): 838-844.
- [19] Challis JH, Pain MT. (2008). Soft tissue motion influences skeletal loads during impacts[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 36(2): 71-75.
- [20] Wakeling JM, Liphardt AM, Nigg BM. (2003). Muscle activity reduces soft-tissue resonance at heel-strike during walking[J]. *J Biomech*, 36(12): 1761-1769.

(责任编辑: 何聪)