

风味嗜好学习对睡眠剥夺、游泳训练 大鼠下丘脑 β -内啡肽表达的影响

刘丽萍¹, 马隽¹, 李雷², 白文忠¹, 成翕悦³

(1.河北体育学院 运动人体科学系; 2.河北体育学院 运动训练系, 河北 石家庄 050041;

3.河北医科大学 附属第三医院, 河北 石家庄 050051)

摘 要: 探讨风味嗜好学习与睡眠剥夺、运动性疲劳的内在机制, 寻找简便易行的手段治疗运动引起的睡眠障碍并消除疲劳。采用免疫组化方法, 观察不同风味嗜好学习建立后大鼠下丘脑 β -内啡肽表达的变化。结果发现嗜好学习建立后力竭游泳组大鼠的游泳时间延长。 β -内啡肽表达水平各组之间存在显著差异, 风味嗜好学习后力竭组、睡眠剥夺组显著高于力竭、睡眠剥夺对照组; 风味嗜好学习各组与对应的风味嗜好气味学习组, 奎宁嗜好学习组与对应的氨基酸嗜好学习组间均无显著差异; 风味嗜好学习对适宜游泳各组影响不显著; 睡眠剥夺、力竭游泳各对应组间 β -内啡肽表达呈现同步变化的规律。结果说明风味嗜好学习、睡眠剥夺、游泳训练可以改变下丘脑相关核团 β -内啡肽表达水平, 其影响因刺激手段不同而异; 风味嗜好学习过程中, 味觉因素的作用可能大于刺激物本身的特点, 营养成分对整合认知的影响不大; 睡眠剥夺和力竭运动在其发生发展的过程中可能存在着共同的神经化学途径, 提示利用风味嗜好学习产生无毒副作用的药理学效应, 延时睡眠剥夺、力竭运动的不良进程, 起到改善睡眠、促进恢复的作用。

关 键 词: 风味嗜好学习; 睡眠剥夺; 游泳训练; 下丘脑; β -内啡肽

中图分类号: G804.7 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2008)05-0099-06

The effect of flavor preferred learning on the expression of β -endorphin in hypothalamus of rats deprived of sleep and trained for swimming

LIU Li-ping¹, MA Jun¹, LI Lei², BAI Wen-zhong¹, CHENG Xi-yue³

(1.Department of Human Movement and Science; 2.Department of Movement and Training,

Hebei Institute of Physical Education, Shijiazhuang 050041, China;

3.Third Hospital, Hebei Medical University, Shijiazhuang 050011, China)

Abstract: In order to probe into the intrinsic mechanism between flavor preferred learning and sleep deprivation as well as kinetic fatigue, and to seek for a simply practical way to treat kinetic sleep disorder and eliminate fatigue, the authors adopted an immunohistochemical method to observe the change of the expression of β -endorphin in hypothalamus of rats after different flavors preferred learning was established, and revealed the following findings: after flavor preferred learning was established, the rats in the exhaustive swimming (ES) group swam longer; there is a significant difference in β -endorphin expression level ($E_{\beta\text{-endorphin}}$) between various groups: after flavor preferred learning the $E_{\beta\text{-endorphin}}$ of the rats in the SE group and sleep deprived (SD) group is significantly higher than the $E_{\beta\text{-endorphin}}$ of the rats in corresponding ES control group and SD control group; there is no significant difference in $E_{\beta\text{-endorphin}}$ between various flavor preferred learning groups and corresponding odor preferred learning groups, as well as between the quinine preferred learning group and corresponding amino acid preferred learning group; the

收稿日期: 2008-02-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30671014)。

作者简介: 刘丽萍(1963-), 女, 教授, 硕士, 研究方向:运动人体科学。

effect of flavor preferred learning on various moderate swimming groups is not significant; $E_{\beta\text{-endorphin}}$ shows a pattern of synchronous change between the SD group/ES group and corresponding control group. From the said findings the following conclusions were drawn: flavor preferred learning, sleep deprivation and swimming training can change the $E_{\beta\text{-endorphin}}$ of hypothalamus related nuclear clusters, and their effect varies with stimulation means; in the process of flavor preferred learning, the effect of the taste factor may be greater than the characterizes of stimulants themselves, and the effect of nutrient contents on overall sense is not significant; there might be a common neurochemical channel between sleep deprivation and exhaustive exercise in the process of their occurrence and development. It is hinted that the toxic side effect free pharmacological effect produced by flavor preferred learning can be utilized to delay the adverse process of sleep deprivation and exhaustive exercise, thus performing the function of improving sleep and promoting recovery.

Key words: flavor preferred learning; sleep deprivation; swimming training; hypothalamus; β -endorphin

饮食的各种感觉信息在脑内整合,所产生的复合感觉称为“风味”(flavor)。味觉和嗅觉是构成风味的最主要因素,嗅觉信息和味觉信息在神经系统的参与下可发生交互作用。如果动物摄取了具有某种风味特征的食物后,能够缓解饥饿、营养缺乏或其他原因引起的内脏不适,就会增加对该种风味刺激物的摄取,称为“风味嗜好学习”(flavor preference learning)。-内啡肽是内源性阿片肽系统的重要组成部分之一,其功能活动受到食物美味(palatability)或嗜好性风味刺激的影响^[1-2]。风味嗜好学习与脑内-内啡肽的功能活动密切相关^[3],能改变-内啡肽、神经内分泌递质释放量,脑内的-内啡肽含量可能随动物情绪反应变化而改变^[4]。运动性疲劳与运动员大负荷训练密切相关,机体疲劳时除运动能力下降外,常伴有不同程度运动性失眠的出现,运动性失眠可影响运动训练的效果,这是一种因运动训练而直接引起运动员不能获得正常睡眠为特征的病理现象。睡眠除保证机体生理功能的正常进行外,还与学习、记忆功能有关^[5],同时睡眠对保持健康的情绪和适应社会环境方面有一定作用,睡眠失调会加重疲劳的一些症状,并延长恢复的时间,使机能恢复受到影响,进而影响运动水平的发挥。-内啡肽与运动也有密切的关系,-内啡肽在运动持续一定时间和强度范围内分泌会增多,当过度训练时则引起-内啡肽的表达水平下降,并且伴随免疫水平下降,逆反心理增强等症状^[6]。提高-内啡肽的表达水平,可以产生欣快感,降低疲劳、焦虑等消极情绪的程度,提高睡眠质量,巩固训练成效。本研究依据条件反射性免疫抑制相似条件刺激的理论^[7-9],选用风味嗜好学习作为一种促进恢复的手段,探讨风味嗜好学习建立后呈现风味刺激对睡眠剥夺、消除疲劳的作用。寻找简便易行的手段治疗运动引起的睡眠障碍并消除疲劳。揭示睡眠剥夺与运动性疲劳之间的内在联系。

1 实验对象与方法

1.1 动物及分组

健康成年雄性 Wistar 大鼠 128 只,体重(200 ± 10) g,由河北医科大学实验动物中心提供。大鼠购入后适应饲养 2 d 后,随机分为空白对照组、睡眠剥夺对照组、氨基酸嗜好组、氨基酸气味嗜好组(氨基酸+桔子气味)、奎宁嗜好组、奎宁气味嗜好组(奎宁+咖啡气味)、氨基酸嗜好组睡眠剥夺组、氨基酸气味嗜好组睡眠剥夺组、奎宁嗜好组睡眠剥夺组、奎宁气味嗜好组睡眠剥夺组、力竭游泳对照组、氨基酸嗜好力竭游泳组、奎宁嗜好力竭游泳组、适宜游泳对照组、氨基酸嗜好适宜游泳组和奎宁嗜好适宜游泳组,共 16 组每组 8 只,自第 3 天起进行相应学习训练及建立模型。

1.2 建立风味嗜好学习模型

学习训练的前 1 d(第 0 天),于 10:00~10:20 让嗜好组大鼠自由饮水,15:40~16:00 用两瓶法分别测定风味溶液和水的摄取量,其余时间禁水。此后进行嗜好学习训练,每日自 10:00 起让大鼠先后分别摄取风味溶液和 0.2 mol/L 蔗糖溶液 20 min,15:40~16:00 用两瓶法测定风味溶液和水的摄取量,其余时间禁水,连续 5 d,根据风味溶液和水的摄取量按下式分别计算风味溶液的嗜好比:

$$\text{风味溶液嗜好比} = \frac{\text{风味溶液摄取量}}{\text{风味溶液摄取量} + \text{水摄取量}} \times 100\%$$

1.3 建立大鼠睡眠剥夺模型

采用小平台水环境法制备大鼠睡眠剥夺模型。在风味嗜好学习建立后,将睡眠剥夺组大鼠进行睡眠剥夺 36 h。睡眠剥夺箱为 70 cm × 50 cm × 50 cm 的塑料水箱,底部正中固定一直径 6 cm 圆形平台,高 8 cm,箱中注水水面低于平台约 1.0 cm,由笼盖处向下放置水和食物悬垂在平台上方 15 cm 处,大鼠在平台上可以自由进食和饮水,若其睡眠,则由于肌肉张力松弛而落入水中,大鼠只能重振精神爬上平台。睡眠剥

夺各组给予日光灯照射,排除昼夜明暗交替,每日更换剥夺箱中的水。正常对照组单独笼养,自然光照。

1.4 建立游泳训练模型

游泳组大鼠在实验前适应性游泳 3 次,每次 10 min,以消除游泳时水环境应激所带来的非实验因素干扰。在水深 40 cm,水温(26±1)℃,70 cm×50 cm×50 cm 的泳槽中,不断轻轻搅动水面使力竭组大鼠不停运动至力竭。力竭判断标准:大鼠沉入水下 10 s 仍不能返回水面,捞出后不能完成翻正反射,记录力竭游泳时间。适宜游泳组大鼠进行间歇游泳训练,游泳 40 min,间歇 20 min 后再游 20 min 结束。

1.5 脑切片制备

向各组大鼠侧脑室内注射秋水仙素,以阻断 β -内啡肽从神经元胞体向轴突末端的运输。注射秋水仙素 32 h 后向大鼠腹腔内注射质量分数为 25%氨基甲酸乙酯(1.1 g/kg)使其深度麻醉,灌流固定后,切取含下丘脑的脑段,制作冠状冰冻连续切片,片厚 40 μ m。脑片进行常规免疫组化染色,参照大鼠脑立体定位图谱^[9]对 β -内啡肽免疫阳性细胞较多的下丘脑室旁核(paraventricular hypothalamic nucleus, Pa)、视上核(supraoptic nucleus, SO)、尾侧大细胞核(caudal magnocellular nucleus, CMC)3 个核团进行观察统计。

1.6 数据处理

在 200 倍显微镜下将切片输入计算机,用 IPP 图象分析系统计数各核团限定面积(Pa: r=760 μ m; SO: 520 μ m×840 μ m; CMC: 450 μ m×480 μ m)内的 β -内啡肽阳性细胞,以 5 张切片内的阳性细胞总数表示 β -内啡肽表达水平,所得数据用 SPSS 统计软件进行单因素方差分析和 Mann-Whitney 检验。

2 实验结果及分析

2.1 嗜好学习建立后大鼠对不同溶液嗜好比的变化

奎宁嗜好学习 1、2 组共 32 只大鼠进行奎宁嗜好学习训练,学习训练前 19 只大鼠没有摄取奎宁溶液,学习训练第 1 天有 15 只、第 2 天有 8 只、第 3 天有 3 只大鼠没有摄取奎宁溶液,第 4 天全部大鼠均摄取奎宁溶液;奎宁气味嗜好学习组共 16 只大鼠进行奎宁气味嗜好学习训练,学习训练前 9 只大鼠没有摄取奎宁气味溶液,学习训练第 1 天有 7 只、第 2 天有 5 只、第 3 天有 3 只大鼠没有摄取奎宁气味溶液,第 4 天全部大鼠均摄取奎宁气味溶液;氨基酸嗜好学习 1、2 组共 32 只大鼠进行氨基酸嗜好学习训练,学习训练前 15 只大鼠没有摄取氨基酸溶液,学习训练第 1 天有 10 只、第 2 天有 5 只、第 3 天有 4 只大鼠没有摄取氨基酸溶液,第 4 天全部大鼠均摄取氨基酸溶液;氨基酸气味嗜好学习组共 16 只大鼠进行氨基酸气味嗜好学习训练,学习训练前 9 只大鼠没有摄取氨基酸气味溶液,学习训练第 1 天有 5 只、第 2 天有 4 只、第 3 天有 3 只大鼠没有摄取氨基酸气味溶液,学习训练第 4 天全部大鼠均摄取氨基酸气味溶液。配对 Wilcoxon 符号秩和检验结果表明,嗜好学习训练第 1 天以后嗜好比均显著高于学习前;学习训练第 2 天以后,与前一天相比具有升高的趋势,各学习组对相应溶液的嗜好比基本维持稳定,但各组学习速度不同,对风味溶液的摄取量和嗜好比随学习天数延长不断增加。大鼠嗜好学习组间比较,嗜好学习的速度没有差别,嗜好比也无显著差异。

在学习训练后,氨基酸嗜好组对氨基酸溶液的嗜好比,有高于奎宁嗜好组对奎宁溶液的嗜好比的趋势;奎宁气味嗜好组、氨基酸气味嗜好组对奎宁气味溶液、氨基酸气味溶液的嗜好比,有高于奎宁、氨基酸嗜好组对奎宁溶液、氨基酸溶液的嗜好比的趋势;但经 Mann-Whitney 秩检验,各组之间的差异均无统计学意义($P>0.05$), (见表 1)。

表 1 嗜好学习建立后各组大鼠对不同溶液的嗜好比的比较 (Mann-Whitney 秩检验) %

组 别	动物数	学习前	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天
奎宁嗜好组 1 (对照、睡眠剥夺组)	16	5.61	10.62 ¹⁾	14.59	19.16	26.31 ²⁾
奎宁嗜好组 2 (适宜、力竭游泳组)	16	6.01	14.64 ²⁾	15.49	24.64 ²⁾	31.59 ¹⁾
奎宁气味嗜好组 (对照、睡眠剥夺组)	16	2.91	7.77 ¹⁾	16.34 ²⁾	22.29 ¹⁾	33.86 ²⁾
氨基酸嗜好组 1 (对照、睡眠剥夺组)	16	7.37	14.53 ²⁾	18.37	24.03 ²⁾	28.87 ¹⁾
氨基酸嗜好组 2 (适宜、力竭游泳组)	16	7.92	12.70 ¹⁾	18.90 ²⁾	22.38 ¹⁾	29.60 ²⁾
氨基酸气味嗜好组 (对照、睡眠剥夺组)	16	6.21	13.19 ¹⁾	23.37 ¹⁾	30.58 ²⁾	37.75 ¹⁾

嗜好比与前 1 天比较, 1) $P<0.05$; 2) $P<0.01$

2.2 不同条件刺激对大鼠下丘脑 β -内啡肽表达的影响

嗜好学习建立后力竭游泳组大鼠的游泳时间延长;嗜好睡眠剥夺组大鼠警觉性增强,表现出情绪

激动、易怒、攻击性增强等行为,麻醉用药剂量明显增多。免疫组织化学结果显示,下丘脑 SO、Pa 内 β -内啡肽表达水平各组之间存在显著差异;CMC 核团中

-内啡肽表达水平差异不显著。嗜好学习各组(奎宁、氨基酸、奎宁气味、氨基酸气味溶液嗜好学习组)与空白对照、游泳力竭、睡眠剥夺组相比, Pa、SO 内啡肽阳性细胞数显著增多;睡眠剥夺、力竭游泳组与空白对照组相比显著减少;力竭游泳组与睡眠剥夺组、奎宁嗜好学习组与氨基酸嗜好学习组、奎宁嗜好学习组与奎宁气味嗜好学习组、氨基酸嗜好学习

组与氨基酸气味学习组、嗜好学习后游泳力竭各组与嗜好学习后睡眠剥夺对应各组比较无显著差异。奎宁、奎宁气味、氨基酸、氨基酸气味嗜好学习后睡眠剥夺组、游泳力竭组与对照组比较无显著差异,与相对应的嗜好学习组比较显著降低;适宜游泳组与对照组、力竭游泳组和睡眠剥夺组比较均显著性增多;但与氨基酸嗜好学习适宜游泳组比较无差异,见表 2。

表 2 不同处理组各核团 β -内啡肽免疫阳性神经元数($\bar{x} \pm s$)及其比较

组别	n/只	SO	Pa	CMC
空白对照组	8	549.75±42.79	449.38±64.35	101.25±17.49
睡眠剥夺对照组	8	502.37±28.43 ¹⁾	389.65±71.33 ²⁾	128.19±53.74
氨基酸嗜好组	8	657.44±45.28 ²⁾⁴⁾⁸⁾	681.31±25.79 ²⁾⁴⁾⁸⁾	114.58±32.69
氨基酸气味嗜好组	8	667.69±68.19 ²⁾⁴⁾⁸⁾	653.86±39.45 ²⁾⁴⁾⁸⁾	106.21±35.72
奎宁嗜好组	8	643.25±68.30 ²⁾⁴⁾⁸⁾	598.42±25.41 ²⁾⁴⁾⁸⁾	118.16±25.19
奎宁气味嗜好组	8	659.47±43.51 ²⁾⁴⁾⁸⁾	663.56±58.26 ²⁾⁴⁾⁸⁾	99.33±28.06
氨基酸嗜好后睡眠剥夺组	8	551.24±27.45 ³⁾⁶⁾⁷⁾	483.45±46.25 ⁴⁾⁶⁾	107.96±45.31
氨基酸气味嗜好后睡眠剥夺组	8	563.87±41.77 ³⁾⁶⁾⁷⁾	487.24±27.98 ¹⁾⁴⁾⁸⁾	107.45±33.33
奎宁嗜好后睡眠剥夺组	8	535.28±47.16 ⁶⁾	471.96±17.98 ⁴⁾⁶⁾	109.44±37.68
奎宁气味嗜好后睡眠剥夺组	8	543.36±38.27 ³⁾⁶⁾⁷⁾	495.19±63.21 ¹⁾⁴⁾⁶⁾	106.68±35.62
力竭游泳对照组	8	505.38±20.61 ¹⁾	486.74±45.65 ¹⁾⁴⁾	105.10±31.55
氨基酸嗜好力竭游泳组	8	554.88±37.25 ³⁾⁷⁾¹⁰⁾	537.69±49.51 ¹⁾⁴⁾⁷⁾¹⁰⁾	109.52±34.19
奎宁嗜好力竭游泳组	8	561.72±42.36 ³⁾⁷⁾	523.56±19.33 ¹⁾⁴⁾⁹⁾	97.68±63.58
适宜游泳对照组	8	642.74±25.36 ²⁾⁴⁾⁸⁾	629.56±32.81 ²⁾⁴⁾⁸⁾	112.34±37.02
氨基酸嗜好适宜游泳组	8	659.34±40.14 ²⁾⁴⁾⁸⁾	617.25±27.33 ²⁾⁴⁾⁸⁾	116.52±17.51
奎宁嗜好适宜游泳组	8	598.65±24.68 ¹⁾⁴⁾⁸⁾	574.89±37.47 ²⁾⁴⁾⁸⁾	100.05±42.78

与空白对照组比较; 1)P<0.05, 2)P<0.01; 与睡眠剥夺组比较, 3)P<0.05, 4)P<0.01; 与相应奎宁、氨基酸嗜好、气味嗜好组比较, 5)P<0.05, 6)P<0.01; 与力竭游泳对照组比较, 7)P<0.05, 8)P<0.01; 与相应氨基酸、奎宁嗜好适宜游泳组比较; 9)P<0.05, 10)P<0.01

3 讨论

3.1 风味嗜好学习对下丘脑 β -内啡肽表达的影响

在实验室内通过将苦味刺激和报酬性刺激相结合,可以增加动物对先天厌恶性的苦味溶液的摄取^[10]; Drewnowski 等^[11]在对人的研究中发现,内源性阿片肽主要参与调解对美味食物的味觉反应和嗜好。Yamamoto 等^[1]让大鼠自由摄取水和各种味溶液后,发现美味溶液或嗜好性味刺激可使脑脊液 -内啡肽含量增高,但奎宁等先天性的厌恶味刺激不影响脑脊液 -内啡肽含量。本实验行为学结果表明,大鼠对风味溶液的摄取量和嗜好比随学习时间延长不断增加,证明条件性风味嗜好学习可以形成。大鼠嗜好学习组间比较,嗜好学习的速度没有差别,嗜好比差异也无显著性。说明给以大鼠何种风味刺激作为条件刺激对

嗜好学习的影响差别不大。本实验免疫组化结果表明

-内啡肽表达水平游泳力竭组、睡眠剥夺组显著低于对照组和奎宁、氨基酸嗜好学习组,但力竭组与睡眠剥夺组、奎宁嗜好学习组与氨基酸嗜好学习组、嗜好学习力竭组与对应嗜好学习睡眠剥夺组之间差异不显著。奎宁、氨基酸嗜好学习后睡眠剥夺组、力竭组与对照组比较差异无显著性,与对应奎宁、氨基酸嗜好学习组比较差异有显著性;嗜好学习后睡眠剥夺组与对应的游泳力竭组之间差异无显著性,但显著高于睡眠剥夺组、力竭组水平。适宜游泳组与对照组、力竭游泳组及睡眠剥夺组相比均显著性增多,但与氨基酸嗜好学习适宜游泳组比较差异无显著性。嗜好学习各组与嗜好气味学习各组比较差异无显著性。下丘脑 SO、Pa 内啡肽表达水平存在显著差异,CMC 核

团中 - 内啡肽表达水平各组之间差异不显著。以上实验结果说明风味刺激可以改变下丘脑 - 内啡肽表达水平， - 内啡肽表达不因风味溶液的不同而变化，但其表达因核团不同而异。风味嗜好学习过程中，味觉因素、学习记忆或心理因素的作用可能大于刺激物本身的特点，嗜好学习建立后营养成分对整合认知的影响不大。本研究结果未体现气味诱导的味觉增强的嗜好效果，其原因是否与味觉刺激和嗅觉刺激之间的协调程度不一致有关，有待于进一步研究。

3.2 风味嗜好学习对运动性疲劳的影响及意义

大量研究资料表明在运动训练中，为提高运动成绩选择的超负荷训练，会导致机体产生疲劳，如果疲劳过度或者得不到适时的恢复就会使运动员产生情绪上的厌恶，这对运动训练是十分不利的。持续一段适宜强度的运动可导致 - 内啡肽分泌量增加，当运动量过度时将引起表达水平下降^[12]。运动员在抵触状态下训练，容易造成过度疲劳甚至受伤，在心理上形成对训练的厌恶，影响训练成绩。本实验中，适宜游泳对照组、嗜好学习各组 - 内啡肽表达均显著增多，而适宜游泳对照组、嗜好后适宜游泳各组之间 - 内啡肽表达基本一致，说明嗜好学习对适宜游泳运动的影响效应不大。力竭游泳对照组 - 内啡肽表达显著减少，而不同嗜好学习建立后的力竭各组可以逆转这一趋势，使 - 内啡肽表达均保持在较高水平，显著高于力竭对照组。推测两类力竭原因不同，有待于进一步研究。本研究对大鼠行为观察中发现，大鼠风味嗜好学习建立后，其游泳至力竭的时间明显长于力竭游泳对照组，对游泳技巧的掌握程度也明显优于对照组，在不同负荷运动中均表现为运动能力得到提高。提示我们风味嗜好学习引起的下丘脑 - 内啡肽含量变化可能对提高运动能力、延时疲劳发生有一定作用。

3.3 风味嗜好学习对睡眠剥夺的影响及意义

许多实验证据表明，在摄食活动中通过味觉感受得到的满足感是机体满足情感和精神需要的重要方面。有人报道在各种感觉中，能给予机体最多快乐的首属味觉，食物美味或嗜好性风味刺激与脑内阿片肽，特别是 - 内啡肽的功能活动密切相关^[2]。睡眠剥夺与 - 内啡肽也有密切关系。本研究的结果表明，大鼠摄取奎宁、氨基酸溶液 20 min 后，在给以蔗糖溶液，大鼠对奎宁、氨基酸溶液及奎宁、氨基酸气味溶液的嗜好比均显著提高，说明通过苦味、酸味和蔗糖的联合呈示，大鼠建立了对苦味、酸味的条件性嗜好，条件性风味嗜好可以形成。但氨基酸、氨基酸气味，奎宁及奎宁气味嗜好学习组之间 - 内啡肽表达无显著性差异，证明给予大鼠何种风味刺激物作为条件刺激

对嗜好学习的影响差别不大。风味嗜好学习后，无论氨基酸、奎宁嗜好组，还是氨基酸、奎宁气味嗜好学习组 - 内啡肽表达水平均显著升高，睡眠剥夺对照组 - 内啡肽表达水平显著降低，而嗜好学习后睡眠剥夺组 - 内啡肽表达则无显著性变化。表明风味嗜好学习可增多 - 内啡肽分泌量，从而产生情绪上的愉悦，舒缓了紧张、焦虑的情绪，延缓了睡眠剥夺诱导的机体不良反应的进程。因此，风味嗜好学习起到充分激发机体机能的作用。睡眠剥夺对照组 - 内啡肽表达水平显著降低，可能是造成睡眠剥夺大鼠易怒、情绪失常等行为变化的原因。因此预先建立条件性风味嗜好，保持脑内较高的 - 内啡肽水平，延时疲劳进程，缓解运动训练引起的肌肉酸痛^[13]，可以减轻大负荷训练对机体造成的不适，进而预防过度训练导致的睡眠障碍和运动伤害，得到运动的乐趣，提高训练效率。

3.4 运动性疲劳与睡眠剥夺的相关性

睡眠失调会加重过度训练的一些症状并延长恢复时间。过度训练对睡眠的影响研究较少，训练实践证明，一般上午的运动不论运动负荷大小都不会损害睡眠；下午接近睡眠时间中、低强度运动可提高睡眠质量，而与睡眠时间间隔太短的长时间大强度运动或进行不适应的运动将妨碍甚至破坏运动者的睡眠形式。本研究中睡眠剥夺对照组、力竭游泳对照组大鼠 - 内啡肽表达水平显著降低，两组之间无显著差异；给予不同风味嗜好学习后的力竭及睡眠剥夺组大鼠 - 内啡肽表达无显著变化，组间也无显著差异。睡眠剥夺、力竭游泳对大鼠的刺激所产生的适应性变化存在相似的变化规律，睡眠剥夺、力竭游泳组大鼠 - 内啡肽表达的不同步降低和给予风味嗜好学习后 - 内啡肽表达的相对稳定，表明睡眠剥夺和力竭运动在其发生发展的过程中可能存在着共同的神经化学途径。睡眠和机体的生理及心理密切相关，睡眠剥夺、力竭运动也会影响到机体生理心理的变化，但二者疲劳的层面不同。睡眠是人体最好的休息方式，运动后的充分恢复与良好的睡眠分不开；运动及许多因素又会影响运动后的睡眠。身体健康状况，运动类型、时间和强度以及运动导致的代谢变化均有可能影响睡眠。一般理论认为能量消耗增加时，睡眠时间增加；因为觉醒期机体分解代谢加强，而睡眠期体内合成代谢加强，因此在一定运动负荷阈值下随着运动负荷的增加，睡眠质量增高；当超过此阈值时负荷越大，过度疲劳时睡眠剥夺越显著，改善睡眠质量是促进恢复的有效途径。睡眠剥夺、运动训练可以改变 - 内啡肽表达水平，因此 - 内啡肽的浓度变化可以作为衡量运动性

疲劳、睡眠障碍的参考指标。

综上所述：1)通过学习训练，大鼠对风味溶液的嗜好比增加，证明条件性风味嗜好可以形成；但给以动物何种风味刺激作为条件刺激对嗜好学习的影响差别不大，说明不同风味刺激对大鼠的报酬性质是相同的；风味嗜好学习过程中，味觉因素、学习记忆或心理因素的作用可能大于刺激物本身的特点，营养成分对整合认知的影响不大。

2)风味嗜好学习、睡眠剥夺、运动训练可以改变下丘脑相关核团 - 内啡肽表达水平，其影响因刺激手段不同而异；下丘脑各核团 - 内啡肽的变化趋势不同，CMC 在各组间变化无统计学差异，此核团作为风味嗜好学习、睡眠剥夺、运动训练改变 - 内啡肽表达的参考部位不够敏感。

3)睡眠剥夺、力竭游泳训练各对应组间 - 内啡肽表达呈现同步变化的规律，睡眠剥夺和力竭运动在其发生发展的过程中可能存在着共同的神经化学途径；因此 - 内啡肽的浓度变化可能作为衡量运动性疲劳、睡眠障碍的参考指标；可以利用风味嗜好学习产生无毒副作用的药理学效应手段，延缓睡眠剥夺、力竭运动的不良进程。

4)风味嗜好学习对 - 内啡肽表达、运动行为及睡眠质量的调控发挥着重要作用；预先建立风味嗜好学习，保持脑内较高的 - 内啡肽水平，维持大鼠欣快、舒适感，可以缓解后续睡眠剥夺、过度训练造成的身体不适。关于气味诱导的味觉增强的嗜好效果，本实验与相关研究结论不同，其原因有待于进一步探讨。

参考文献：

- [1] Yamamoto T, Sako N, Maeda S. Effects of taste stimulation on beta-endorphin levels in rat cerebrospinal fluid and plasma[J]. *Physiol Behav*, 2000, 69(3): 345-350.
- [2] Yamamoto T. Brain mechanisms of sweetness and

palatability of sugars[J]. *Nutr Rev*, 2003, 61(5Pt2): S5-9.

[3] Golden G J, Houpt T A. NMDA receptor in conditioned flavor-taste preference learning: blockade by MK-801 and enhancement by D-cycloserine[J]. *Pharmacol Biochem Behav*, 2007, 86(3): 587-596.

[4] Guskowska M. Effects of exercise on anxiety, depression and mood[J]. *Psychiatr Pol*, 2004, 38(4): 611-620.

[5] Baranski J V. Fatigue, sleep loss, and confidence in judgment[J]. *Exp Psychol Appl*, 2007, 13(4): 182-196.

[6] 姜振. 运动与 β -内啡肽的研究进展[J]. *安徽体育科技*, 2005, 25(5): 60-62.

[7] 陈极寰, 林文娟. 条件反射性免疫抑制研究的新进展[J]. *心理学报*, 2002, 34(5): 546-550.

[8] Ader R, Kelly K, Moyniban J A, et al. Conditioned enhancement of antibody production using antigen as the unconditioned stimulus[J]. *Brain Behavior and Immunity*, 1993, 7: 334-343.

[9] Paxinos G, Waston C. The rat brain in stereotaxic coordinates (2nd eds) [M]. Australia: Academic Press, 1986.

[10] 山本隆. 美味の构造[M]. 东京: 讲谈社, 2001: 196-203.

[11] Drewnowski A, Krahn D D, Demitrack M A, et al. Taste responses and preferences for sweet high-fat foods: evidence for opioid involvement[J]. *Physiol Behav*, 1992, 51(2): 371-379.

[12] 张纓. β -内啡肽的免疫调节作用与运动[J]. *中国运动医学杂志*, 2003, 22(6): 597-599, 608.

[13] Liu J L, Chen S P, Gao Y H, et al. Observation on the analgesic effect of repeated electroacupuncture and its relation to changes of plasma beta-EP, ACTH and COR levels[J]. *Zhen Ci Yan Jiu*, 2007, 32(5): 306-312.

[编辑: 郑植友]