

# 运动与脑活性物质(综述)

王丽娜<sup>1</sup>, 郭旭昌<sup>2</sup>

(解放军体育学院 1. 机能教研室; 2. 基层体育教研室, 广东 广州 510502)

**摘 要:** 脑的结构和功能变化规律是当前研究的热点。脑中的活性物质与脑的功能息息相关, 是脑机能最有力的代表。从脑活性物质改变与运动的关系这一角度出发, 着重综述了运动时脑活性物质的改变及其改变对脑机能的影响。

**关键词:** 脑 活性物质 运动

中图分类号: G80 文献标识码: A 文章编号: 1006-7116(2002)06-0052-03

## Exercise and active matters of brain(A review)

WANG Li-na<sup>1</sup>, GUO Xu-chang<sup>2</sup>

(1. Teaching and Research of Function; 2. Teaching and Research Section of Basic Physical Education, The PLA Institute of Physical Education, Guangzhou 510502, China)

**Abstract:** The variation law of brain's structure and function is the hot dot of the present research. The active substances of brain have so much to do with the brain's function that they are powerful represent of the function of the brain. The article reveals the change of active substance during exercise and its influence on the function of the brain.

**Key words:** brain active substances exercise

自从1921年洛伊发现第一个外周神经递质以来,人们对神经递质的研究已经逐步从外周深入到中枢。现已发现的中枢神经递质有几十种,可分为氨基酸类递质、单胺类递质、肽类递质和胆碱类递质。运动中研究较多的中枢递质是氨基酸类递质、单胺类递质和肽类递质。

### 1 单胺类递质与运动

1962年, Falck<sup>[1]</sup>应用荧光组织化学技术首先观察到脑细胞中有单胺类物质的存在。目前在有关单胺类递质的众多研究中, 5-羟色胺(5-HT)的研究最具代表性。5-HT是一种中枢抑制性递质, 与人的许多功能活动有关。

#### 1.1 运动中5-HT的变化

中枢5-HT的变化与运动有密切关系。Chaouloff等<sup>[2]</sup>通过观察在跑台上跑1~2h的大鼠脑脊液中5-HT的变化发现, 运动后脑脊液中的5-HT明显升高, 运动后1h 5-HT恢复到原来水平, 提示长时间运动中, 脑内5-HT的合成和更新加快。Bailey等<sup>[3]</sup>也通过测定大鼠脑不同部位、不同状态(安静状态, 60%~65%VO<sub>2max</sub>强度跑台跑1h, 3h[疲劳])下的5-HT, DA及其分解代谢产物含量的变化, 证实运动使脑内5-HT含量的升高、多巴胺含量(DA)下降, 提示这种变化可能与长时间运动性疲劳有关。

而且, 中枢5-HT的变化受运动时间影响更大。尤春英等<sup>[4]</sup>的研究证实了运动强度与运动时间对脑单胺介质的

量的影响。通过对不同训练周期、不同训练负荷跑台训练大鼠脑单胺类物质变化的观察, 发现无论进行一般负荷训练还是极限负荷训练3周后, 大鼠脑单胺类物质无明显变化, 5周后, 亦没有明显变化, 而训练7周后, 大鼠脑内5-HT含量明显升高( $P < 0.05$ ), 提示脑内5-HT的浓度与训练时间的长短有关而与负荷强度相关不大, 短时间训练周期中脑内5-HT变化不大。

Bailey等<sup>[3,5]</sup>通过反面实验证实5-HT与运动的关系: 向大鼠脑中注入不同剂量的能引起5-HT增高的药物, 当脑5-HT增加时, 大鼠跑至疲劳的时间显著缩短并与药物剂量显著相关, 说明由药物引起的脑5-HT增加使中枢提前疲劳。Davis等<sup>[6]</sup>和Wilson<sup>[7]</sup>在人体上的研究与此相似: 服用5-HT激动剂, 运动耐受时间缩短, 疲劳程度相对较高。

另外, 孙学川等<sup>[8]</sup>在研究择时训练的生物学效应时发现, 端脑、间脑和脑干的DA、5-HT均呈现明显的近似昼夜节律。不同时刻训练, 可使5-HT的节律峰位超前, 使DA产生不同水平的量变, 即“运动性双向量变”——在多巴胺水平高时, 运动会使多巴胺神经递质的量降低; 相反, 在多巴胺水平低时, 运动则使其量升高。

#### 1.2 5-HT与中枢疲劳及其机制

目前对5-HT的研究主要是围绕中枢神经递质方面进行的<sup>[9]</sup>。越来越多的证据证明5-HT的增加可能导致中枢疲劳, 从而引起运动能力的降低。这主要是因为5-HT作

为一种抑制性递质,可以引起皮层细胞兴奋性减弱,发放神经冲动频率减慢,从而减少中枢向外周发放的神经冲动,使肌肉收缩的力量下降,身体疲劳<sup>[10]</sup>。运动引起脑 5-HT 含量升高的原因主要有两个(1)长时间运动,使肌肉摄取及氧化率上升,血浆色氨酸与支链氨基酸比值增高,血脑屏障上的载体转运色氨酸增多,竞争性的抑制载体对其它重型氨基酸,特别是支链氨基酸的转运,从而使脑色氨酸含量增加,色胺酸羟化,脱羧形成的 5-HT 含量也增加。而 5-HT 不能透过血脑屏障,最终导致脑 5-HT 总量增加。(2)长时间运动动用脂肪供能,使血浆游离脂肪酸含量增加,游离脂肪酸与游离色氨酸争夺白蛋白上的结合点,导致白蛋白结合色胺酸的量减少,血浆游离色胺酸浓度升高,因此进入脑内的色氨酸也随之相应增加,导致脑内 5-HT 含量上升<sup>[11]</sup>。

## 2 氨基酸类递质与运动

在中枢神经系统内,单胺类递质和胆碱类递质所占比例很少。1950 年 Robert 和 Awapara 等分别发现  $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)大量存在于脑内,证明氨基酸类递质是大多数中枢神经末梢的递质。现已知道,氨基酸类递质分为兴奋性氨基酸递质和抑制性氨基酸递质两类。GABA、甘氨酸(Gly)是中枢神经系统中主要的抑制性氨基酸,谷氨酸(Glu)是主要的兴奋性氨基酸。它们参与神经系统的多种生理功能,对运动、感觉、内分泌、镇痛等起着重要的调节作用。

### 2.1 运动对氨基酸类递质的影响

1994 年,Coird<sup>[12]</sup>对 7 名男性运动员服用 GABA 受体激动剂进行自行车功量计渐增负荷力竭性运动 3 周后体内激素变化的情况进行了研究,发现 GABA 可抑制腺垂体对运动的反应,减弱机体对运动的应激,降低机体的运动能力。钟兴明等<sup>[13]</sup>通过微透析观察,研究了大鼠一次性负重力竭游泳前、游泳后和恢复过程中下丘脑某些氨基酸的变化,发现力竭游泳运动后脑内各种氨基酸递质含量显著升高,而运动后 44 h 各氨基酸递质含量因氨基酸种类不同而不同:兴奋性氨基酸 Gln、Glu、ASN 运动后含量下降,抑制类氨基酸 Gly、GABA 含量下降不明显,提示下丘脑氨基酸代谢变化与运动性中枢疲劳及其恢复过程有密切关系。这与李人等<sup>[14]</sup>对大鼠 9 h 游泳运动后丘脑和下丘脑区氨基酸递质的含量变化的研究结果一致。简坤林<sup>[15]</sup>则运用时间生物学的研究方法,就运动训练对大鼠间脑中抑制性氨基酸类神经递质  $\gamma$ -氨基丁酸(GABA)和甘氨酸(Gly)的量变及近似昼夜节律的影响进行了研究,发现:两种神经递质在间脑中的含量表现出具有统计学意义的近似昼夜节律,择时运动使运动前高氨基酸类神经递质含量降低,使运动前低氨基酸类神经递质含量升高,这可能与运动前“神经递质储备”有关。钟兴明<sup>[16]</sup>还利用脑内微透析技术研究运动性疲劳,发现:大鼠急性力竭游泳运动后,下丘脑区递质类氨基酸及其衍生物均明显增加,抑制性递质类氨基酸的增加高于兴奋性氨基酸。

### 2.2 递质类氨基酸变化机制

在正常生理情况下,脑内兴奋性氨基酸与抑制性氨基酸保持平衡。当脑内谷氨酸含量升高时,表示大脑皮层兴奋过

程占优势;当脑内  $\gamma$ -氨基丁酸含量升高时,表示大脑皮层抑制过程占优势。

谷氨酸是一种能被脑组织利用的代谢产物,不能透过血脑屏障,在脑内由葡萄糖和其它前体经多条生物化学途径合成。Glu 和  $\text{NH}_3$  作用生成谷氨酰胺(Gln),减少了对中枢神经有害的内生性毒物——游离  $\text{NH}_3$ ,从而会降低脑氨的浓度,推迟疲劳出现<sup>[12]</sup>。

脑中 GABA 主要来源于谷氨酸的脱羧,因此谷氨脱羧酶(GAD)的活性是增加 GABA 含量,降低 Glu/GABA 比值的重要因素,但去甲肾上腺素、ATP 等多种物质则可使脑 GABA 含量减少, Glu/GABA 比值增加。GABA 对脑的抑制作用主要是通过改变神经细胞膜对氯离子、钾离子的通透性,造成氯离子内流,钾离子外流,形成突触后膜超极化实现的<sup>[10]</sup>。运动时下丘脑 GABA 含量的升高与谷氨酸脱羧酶活性增高,与疲劳出现时脑中 GABA 代谢去路受阻及神经介质类释放系统(如突触前体)有关<sup>[10]</sup>。

## 3 肽类递质与运动

### 3.1 运动时脑肠肽的变化

研究发现许多胃肠激素如胃泌素(GAS)、生长抑素(SS)、神经降压素(NT)、P 物质(SP)等与胃肠功能有关的激素不仅存在于外周,而且还存在于中枢神经系统,起神经递质和调质的作用,这突破了传统的内分泌概念,把内分泌同消化系统连在一起,有学者统称这类物质为脑肠肽。脑肠肽生物除作神经递质和调质,调节消化功能外,它还可影响其它激素如胰岛素的分泌,影响心血管系统、呼吸系统的功能<sup>[17]</sup>。

运动过程中肠肽的变化受训练方式、运动强度与运动时间的影响。不同的运动方式,脑肠肽血浆浓度变化可能有差异。O'Connor 等<sup>[18]</sup>比较了以 60%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  的强度进行 2 h 的耐力跑、自行车、游泳、划船 4 种耐力运动后体内脑肠肽的差异。发现运动结束后 15 min,脑肠肽最高;耐力跑的 GAS、VIP 血浆浓度升高最为显著。齐妮妮<sup>[19]</sup>和 Buchanar<sup>[20]</sup>在这方面的研究显示随运动强度的增大及运动时间的延长,脑肠肽血浆浓度大多增加,且尤以运动时间影响最为显著。目前对运动时脑肠肽作用的研究越来越受到重视。有人发现,运动胃肠功能紊乱与运动时肽类物质浓度变化有关<sup>[21]</sup>。许豪文<sup>[22]</sup>的研究发现运动时外源性注射 SS 可使血浆胰岛素浓度降低。龚岳亭等<sup>[23]</sup>经过离体活组织的研究证明, VIP 具有促进脂肪分解、糖元分解和糖异生作用。

### 3.2 神经肽与运动

目前,神经肽与运动关系的研究,较多涉及的是  $\beta$ -内啡肽( $\beta$ -EP)。苑晓玲<sup>[24]</sup>发现力竭运动可导致长期运动动物下丘脑  $\beta$ -EP 释放,释放的  $\beta$ -EP 可以结合到下丘脑分泌 GnRH(促性腺激素释放激素)的细胞上,通过 NE 阻断 GnRH 的释放,或通过抑制 CA 的更新和释放而抑制 GnRH 的分泌。

引起运动时神经肽应答有一定的强度要求。Colt<sup>[25]</sup>等研究表明外周  $\beta$ -EP 变化可能是强度依赖性的。Farrell<sup>[26]</sup>等报道以 60%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  跑步 30 min 后  $\beta$ -EP 显著增加。另有

研究报道也支持这种 60% VO<sub>2max</sub> 以下浓度不会导致血浆 β-EP 浓度变化的观点<sup>[27]</sup>。强度越大,引起 β-EP 显著增加的时间越短。以 80% VO<sub>2max</sub> 强度运动,β-EP 浓度显著增加需要 4 min<sup>[28]</sup>。血浆 β-EP 在运动结束后恢复的 5 min 达到峰值<sup>[29]</sup>。以 100% VO<sub>2max</sub> 和 110% VO<sub>2max</sub> 强度运动 2 min 便可以引起血浆 β-EP 明显增高,并且运动结束后 β-EP 仍继续增加<sup>[30]</sup>。还有不少的研究报道,训练可引起安静状态血浆 β-EP 浓度下降。如 Farrell 等研究发现中年男性在经过 4 个月的有氧训练后,安静状态下血浆 β-EP 水平显著下降<sup>[31]</sup>。但也有不一致的报道:Goldfarb<sup>[32]</sup>等研究认为安静状态下 β-EP 水平在训练者和非训练者间无显著差别。

另外训练方式也可以影响血浆 β-EP 水平。Kraemer<sup>[33]</sup>等的研究表明最大强度跑台运动时经间歇冲刺跑训练的受试者血浆 β-EP、ACTH、皮质醇显著增加;经耐力训练的受试者激素水平不变化,进行耐力和间歇混合训练的受试者血浆 β-EP、ACTH 显著下降,并与乳酸值呈正相关。

### 参考文献:

[1] 鬲才和. 中枢神经递质[J]. 武汉体育学院学报, 1995, 29(1): 46-49.

[2] Chaouloff F. Amino acid analysis demonstrates that increased plasma free tryptophan cause the increase of brain tryptophan during exercise in the rat[J]. Neuro Chem, 1986(46): 1647-1650.

[3] Bailey SP, Davis JM. Neuroendocrine and substrate responses to altered brain 5-HT activity during prolonged exercise to fatigue[J]. Appl Physiol, 1993(74): 3006-3012.

[4] 尤春英. 不同负荷跑台训练对大鼠神经介质含量的影响[J]. 中国运动医学杂志, 1995, 14(4): 223-227.

[5] Bailey SP. Brain serotonergic activity affects endurance performance in the rat[J]. Sports Med, 1993, 16(14): 330-333.

[6] Davis JM. Effects of serotonin(5-HT) agonist during prolonged exercised to fatigue in human medicine and science in sports[J]. Med, 1993(25): 578.

[7] Wilson WM. Evidence for a possible role of 5-HT hydroxytryptamine in the genesis of fatigue in man: administration of paroxetine a 5-HT re-uptake inhibitor, reduces the capacity to perform prolonged exercise[J]. Experimental Physiology, 1992(77): 921-924.

[8] 孙学川. 择时训练的时间生物学效应初步研究(一)[J]. 成都体育学院学报, 1994, 20(4): 25-30.

[9] 司徒炳坤. 5-羟色胺与中枢疲劳[J]. 武汉体育学院学报, 1997, 31(2): 28-31.

[10] 杨锡让. 实用运动生理学[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 1998: 412-413.

[11] Enoka PM. Neurobiology of muscle fatigue[J]. Appl Physiol, 1992(72): 1631-1648.

[12] 简坤林. 运动与中枢 R-氨基丁酸、甘氨酸神经递质及其生物节律的关系[J]. 成都体育学院学报, 1996, 22(4): 64-

68.

[13] 钟兴明. 运动后下丘脑区氨基酸变化的微透析观察[J]. 北京体育师范学院学报, 1997, 9(2): 12-20.

[14] 李人. 运动性疲劳与脑中 R-氨基丁酸[J]. 中国运动医学杂志, 1985, 4(2): 81-86.

[15] 简坤林. 择时运动对大鼠间脑抑制性氨基酸类神经递质的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2000, 19(3): 264-266.

[16] 钟兴明. 脑内微透析技术及其在运动性疲劳研究中的应用[J]. 中国运动医学杂志, 2000, 19(3): 404-405.

[17] 廖八庚. 运动与胃肠激素-脑肠肽的关系[J]. 中国运动医学杂志, 1997, 16(2): 125-127.

[18] O'Connor AM. Differing gastrointestinal hormone changes in four endurance sports[J]. Sports Sci, 1994(12): 147.

[19] 齐燕妮. 运动与交感神经系统的关系及其意义[J]. 中国运动医学杂志, 1992, 11(3): 231.

[20] Buchanan KD. Regulatory peptides many modulate metabolic events during a 2h swim[J]. Sports Sci, 1994(12): 130.

[21] Swain RA. Exercise-induced diarrhea: when to wonder[J]. Med Sci Sports Exerc, 1994(26): 523.

[22] 许豪文. 运动和胃-肠-胰(GEP)激素[J]. 中国运动医学杂志, 1987, 6(6): 35.

[23] 龚岳亭. 生物活性肽-结构与功能[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 50-80.

[24] 苑晓玲. 运动对大鼠下丘脑 GnRH 和 β-EP 含量的影响[J]. 中国运动医学杂志, 2000, 19(3): 270-272.

[25] Colt UD. The effect of running on plasma B-endorphin[J]. Life Sci, 1981(28): 1673.

[26] Farrell PA. Increase in plasma b-endorphin/b-lipotropin immunore activity after treadmill running in humans[J]. Appl Physiol, 1982(52): 1245.

[27] Kraemer WJ. Effects of different heavy-resistance exercise protocols on plasma b-endorphin concentrations[J]. Appl Physiol, 1993(1): 450-459.

[28] Goldfarb AH. B-endorphin time course response to intensity of exercise: effect of training status[J]. Sports Med, 1991(3): 264-268.

[29] Goldfarb AH. Plasma beta-endorphin concentration: response to intensity and duration of exercise[J]. Med Sci Sports Exerc, 1990(2): 241-244.

[30] 徐晓阳. B-内啡肽运动时的变化及其意义[J]. 中国运动医学杂志, 1995, 14(2): 108-111.

[31] Farrell PA. Enkephalins catecholamines and psychological mood alterations: effects of prolonged exercise[J]. Med Sci Sports Exerc, 1987(4): 347.

[32] Goldfarb. Beta-endorphin time course response to intensity of exercise: effect of training status[J]. Sports Med, 1991(3): 264.

[33] Kraemer WJ. Training responses of plasma beta-endorphin, adrenocorticotropin and cortisol[J]. Med Sci Sports Exerc, 1989(21): 146.