

· 基础研究 ·

不同的光线强度对丰富环境下大鼠运动水平的影响

谢鸿宇 吴毅 刘罡 贾杰 张琦 余克威

【摘要】目的 探讨不同的光线强度对丰富环境和空旷环境下大鼠运动水平的影响,以及运动水平的改变对丰富环境效果的影响。**方法** 将 30 只雄性 SD 大鼠分别放置于强光加丰富环境,弱光加丰富环境,强光加空旷环境和弱光加空旷环境中,对 4 种不同实验环境中大鼠的运动轨迹进行监控,并用 EthoVision XT 7.0 版动物轨迹分析系统记录和比较每只大鼠在 1 h 观测时间内的路程、速度、活动时间、活动频率、移动时间、移动频率等 6 个运动指标的变化。**结果** 在强光环境下,除速度外,大鼠在丰富环境干预下其余 5 项运动指标均明显高于空旷环境时的运动水平($P < 0.05$);同样,弱光环境下,大鼠在丰富环境干预时的 5 项运动指标(除速度外)均高于空旷环境($P < 0.05$)。弱光加丰富环境大鼠的运动强度(平均速度、活动频率、位移频率)均高于强光加丰富环境大鼠($P < 0.05$);弱光加空旷环境下大鼠的运动强度(平均速度、活动频率、位移频率)高于强光加空旷环境大鼠($P < 0.05$);弱光加丰富环境大鼠的运动持久度(总路程、活动时间、移动时间)高于强光加丰富环境大鼠($P < 0.05$);弱光加空旷环境下大鼠的运动持久度(总路程、活动时间、移动时间)均高于强光加空旷环境大鼠($P < 0.05$)。**结论** 丰富环境和光强均是大鼠自主运动的 2 个独立影响因素,可以共同对大鼠的运动水平产生作用。

【关键词】 丰富环境; 运动水平; 轨迹分析; 光线强度

The effects of light intensity on the voluntary exercise level of rats in an enriched environment XIE Hong-yu*, WU Yi, LIU Gang, JIA Jie, ZHANG Qi, YU Ke-wei. * Department of Rehabilitation Medicine, Hua Shan Hospital, Fudan University, WuLuMuQi Middle Road 12, Shanghai 200040, China
Corresponding author: WU Yi, Email: wuyi3000@yahoo.com.cn

【Abstract】Objective To study the effects of light at different intensities and an enriched environment (EE) on rats' level of voluntary exercise, and to explore the resulting benefits. **Methods** Thirty male Sprague-Dawley rats were tested successively under 4 different experimental conditions: EE + strong light, EE + dim light, open-field environment (OFE) + strong light and OFE + dim light. Each rat's path in the different conditions was recorded using an automated tracking system. Distance moved (m), velocity (m/s), mobile duration (s), mobile frequency, moving duration (s) and moving frequency were recorded over a one-hour period. **Results** The EE rats were significantly more active than the OFE rats in both strong and dim light. All rats were more mobile under dim light than under strong light. **Conclusion** Environment and light intensity are independent factors affecting rats' voluntary exercise levels, and they can exert their influence in synergy.

【Key words】 Enriched environments; Exercise; Path tracking; Light intensity

丰富环境的定义是指相对于标准饲养环境能够增加感觉、认知、运动刺激的饲养环境^[1]。有效的丰富环境干预对神经系统有以下公认的益处:提高学习能力和记忆能力;增加大脑皮质厚度以及促进海马神经

再生;减轻焦虑和抑郁;减轻药物不良反应;对神经系统损伤有着广泛的保护作用^[1-6]。然而,虽然有大量研究支持这些结论,但是认为丰富环境没有作用或是有反作用的发现也不少。有研究发现,相对于标准饲养环境而言,丰富环境反而会造成动物更多的焦虑^[7];丰富环境对肾上腺皮质激素不产生任何影响^[8],甚至会使其水平升高^[9];在某些老年痴呆模型中,丰富环境会促进淀粉样沉淀^[11]。造成这种结论不一的原因尚不清楚。

运动刺激作为丰富环境的一个重要组成部分,对神经系统有着独立的影响。并且在一定范围内,其对神经系统的作用与丰富环境也是相似的。比如,运动

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2012.05.003

基金项目:国家自然科学基金资助项目(81171856);国家高新技术计划(863 计划)资助项目(2007AA02Z482);上海市科委生物医药重大项目(10DZ1950800)

作者单位:200040 上海,复旦大学附属华山医院康复医学科(谢鸿宇、吴毅、刘罡、贾杰、张琦、余克威);复旦大学附属华山医院永和分院(吴毅)

通信作者:吴毅,Email: wuyi3000@yahoo.com.cn

可以影响到大鼠的学习记忆能力^[10-11],并有着广泛的神经保护作用^[12-15]。因此,在丰富环境实验中,动物的运动时间和运动强度,会直接影响到丰富环境的作用。

前期研究发现,实验室的光强对动物的自主运动有显著影响。有理由相信,光强的这种作用也会对丰富环境中动物的运动产生影响,并影响到丰富环境的效果。为了验证上述假设,本研究对不同光强下丰富环境和空旷环境两种环境下大鼠的运动参数进行了分析,并由此来验证光强对丰富环境中大鼠运动水平的影响。

材料与方法

一、实验材料

1. 实验动物:成年雄性 Sprague-Dawley (SD) 大鼠 30 只,体重 230 ~ 260 g,购自中国科学院上海实验动物中心。动物进入实验室后不限制食物和饮水,保证每天 12 h 光照,室温恒定在 23 ℃。

2. 丰富环境、空旷环境和监控设备:丰富环境实验笼大小为 120 cm × 80 cm × 100 cm。内置木屑,并放置木棒、横梯、软梯、金属片、转轮等小物件。空旷环境是丰富环境实验笼去除笼内一切物件。笼壁为带孔金属板,去顶,笼子上 2 m 处安置红外监控器,接电脑(图 1)。房间隔音,保证实验时安静环境。

3. 动物轨迹分析系统:本研究采用 Noldus 信息技术公司的 EthoVision XT 7.0 版动物轨迹分析系统。此系统可以智能区分监控录像中指定范围内不同色彩的动物,因而可以用于同时进行多只动物的运动轨迹分析。

二、运动轨迹与运动水平分析

(一) 大鼠染色

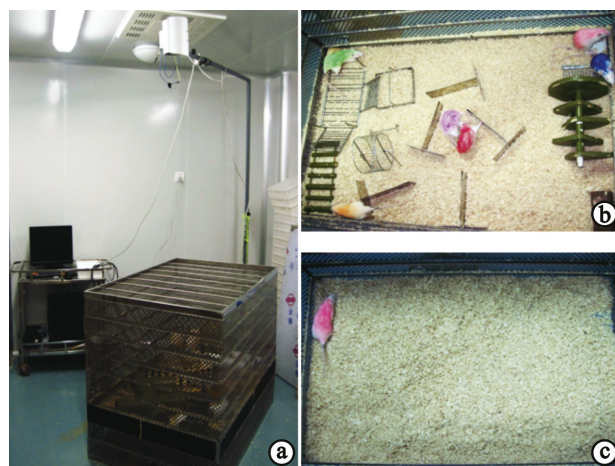
实验开始前 2 d,用颜料将实验大鼠染成不同颜色,以便轨迹分析系统区别。染色范围为大鼠背侧 60% 左右的区域。实验完成后将大鼠染料清洗,干燥,并放回标准饲养笼。

(二) 行为监控

强光实验:将 SD 大鼠 30 只放入丰富环境(每笼 6 只,共 5 笼),在强光下进行行为轨迹监控录像(图 1)。实验室光线强度为 8 盏 36 W 的日光灯,每天监控 1 笼,观测时间为 1 h(上午 9:00 ~ 10:00),5 笼大鼠一共监控 5 d。然后取出笼内所有物件,并于 1 d 后将这 30 只大鼠单独放入空旷环境进行监控,每只大鼠监控 1 h(上午 9:00 ~ 10:00),30 只大鼠一共监控 30 d,测量在空旷环境下,强光对其运动的影响(图 1)。

弱光实验:强光实验完成 1 d 后,将上述 SD 大鼠 30 只放入丰富环境(每笼 6 只,共 5 笼),在弱光下进

行轨迹监控,光线强度为一盏 11 W 的日光灯,每天观测 1 h(上午 9:00 ~ 10:00),5 笼共观测 5 d。然后取出笼内所有物件,并于 1 d 后将这 30 只大鼠单独放入空旷环境进行监控,每只大鼠监控 1 h(上午 9:00 ~ 10:00),30 只大鼠一共监控 30 d,测量在空旷环境下,弱光对其运动的影响。



注:a 为丰富环境和监控设备;b 为丰富环境内大鼠的运动水平监控;c 为空旷环境时大鼠的运动水平监控

图 1 丰富环境和大鼠运动水平的监控

每组实验间期均更换笼内木屑,清洗笼内物件,保证无气味残留。所有实验均在同一时间段进行(上午 9:00 ~ 10:00)。实验流程包括强光丰富环境实验(5 d)、强光空旷环境实验(30 d)、弱光丰富环境实验(5 d)和弱光空旷环境实验(30 d),重复进行 3 轮,每轮实验间隔 3 d。

(三) 数据采集

将监控到的录像录入 EthoVision XT 7.0 版动物轨迹分析系统,对其中每只大鼠的运动水平进行分析,采集以下 6 项指标。路程(m):在整个观测时间内,每只大鼠的路程总量。运动速度(m/s):每只大鼠在指定区域内的平均速度。活动时间(s):计算出每只大鼠的染色区域变化的时间,包括大鼠不动的时候身体形态发生变化的时间。活动频率:计算出每只大鼠的染色区域变化的频率,包括大鼠不动的时候身体形态发生变化的频率。移动时间(s):计算出每只大鼠的染色区域位置发生移动的时间。移动频率:计算出每只大鼠的染色区域位置发生移动的频率。数据取每种干预方式重复 3 次所得结果的平均值。

三、统计学分析

采用 SPSS 13.0 统计软件包对数据进行处理,对 4 种不同光强和环境下的实验分别进行配对 *t* 检验,并对光强和环境两个因素进行析因分析,数据用($\bar{x} \pm s$)表示。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、丰富环境和空旷环境下大鼠运动水平的比较

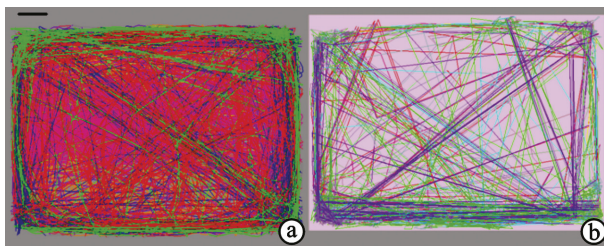
在强光环境下,除速度外,大鼠在丰富环境干预下其余 5 项运动指标均明显高于空旷环境时的运动水平 ($P < 0.05$);同样,弱光环境下,大鼠在丰富环境干预时的 5 项运动指标(除速度外)均高于空旷环境 ($P < 0.05$)。结合析因分析,提示丰富环境是影响大鼠运动的一个独立影响因素,对大鼠运动水平有着明显的刺激作用,且这种刺激作用在不同光强下均存在(图 2、3 和表 1)。

二、不同光强下大鼠运动强度的比较

弱光加丰富环境中大鼠的平均速度、活动频率和移动频率等均高于强光加丰富环境中的大鼠 ($P < 0.05$);弱光加空旷环境中大鼠的平均速度、活动频率和移动频率也均高于强光加空旷环境中的大鼠 ($P < 0.05$)。结合析因分析,提示光强是影响大鼠运动强度的另一个独立影响因素,相同环境中大鼠在弱光下的运动强度高于在强光下的运动强度(图 2、3 和表 1)。

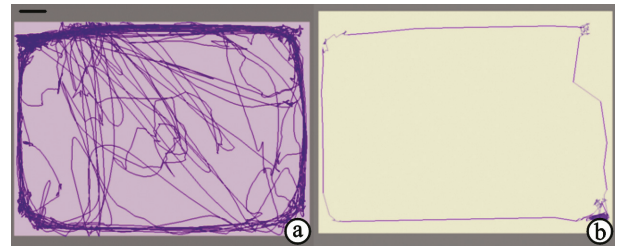
三、不同光强下大鼠运动持久度的比较

弱光加丰富环境中大鼠的总路程、活动时间和移定时间均高于强光加丰富环境中的大鼠 ($P < 0.05$);弱光加空旷环境中大鼠的总路程、活动时间和移定时间亦高于强光加空旷环境中的大鼠 ($P < 0.05$)。结合析因分析,提示光强是影响大鼠运动持久度的一个独立影响因素,相同环境中大鼠在弱光下的运动持久度高于在强光下的运动持久度(图 2、3 和表 1)。



注:参考线为 10 cm;a 为弱光下丰富环境中大鼠的运动轨迹;
b 为强光下丰富环境中大鼠的运动轨迹

图 2 不同光强对丰富环境中大鼠运动水平和运动轨迹的影响



注:参考线为 10 cm;a 为弱光下空旷环境时大鼠的运动轨迹;b
为强光下空旷环境时大鼠的运动轨迹

图 3 不同光强对空旷环境时大鼠运动水平和运动轨迹的影响

讨 论

运动训练是影响神经系统功能的一个重要的独立影响因素。作为运动水平的两个重要组成部分,运动强度^[16-17]和运动时间^[18]的差异均能引起一系列神经系统功能的不同改变。而与感官刺激和认知刺激一样,运动刺激也是丰富环境发挥作用的一个重要组成部分。其刺激程度直接影响到丰富环境的干预效果。

本研究通过对丰富环境中大鼠的运动水平进行了量化的检测,证实了丰富环境确实可以增加大鼠的运动水平。研究中还发现,不同光强下大鼠运动水平有明显差异,且丰富环境和光强对大鼠运动水平具有综合影响。析因分析结果显示,环境和光强是影响大鼠运动的 2 个独立影响因素 ($P < 0.05$),均可对大鼠的路程、活动时间、移动时间及移动频率等指标产生作用。由于弱光下大鼠的运动量明显高于强光下,因此,若丰富环境干预时的光强太强可使大鼠运动水平不足,导致得出丰富环境干预效果不明显的结论。由于弱光加空旷环境中大鼠的某些活动指标反而高于强光下丰富环境的大鼠,因此,如果某丰富环境实验室的光强高于标准饲养环境的光强,就可能造成丰富环境中的大鼠运动水平反而不及标准笼的大鼠,从而得到丰富环境有负面作用的结论。

以往的实验对动物运动水平的描述常常局限于路程和速度,采集方式通常只有跑台和转轮。虽然路程和速度能在一定程度上反映动物的运动水平,但有些运动形式常常发生在动物原地停留的时候,比如后肢站立、头向四周探视、对物体的探索性触碰、清洁体毛等。这类原地运动也是运动水平的重要组成部分,但

表 1 不同干预方式对大鼠自主运动水平的影响 ($\bar{x} \pm s$)

干预方式	只数	路程(m)	速度(m/s)	活动时间(s)	活动频率	移动时间(s)	移动频率
强光+丰富环境	30	23.92 ± 1.11	0.02 ± 0.00	221.21 ± 8.55	193.73 ± 5.28	148.48 ± 4.46	116.99 ± 3.45
弱光+丰富环境	30	472.26 ± 17.84 ^a	0.13 ± 0.00 ^a	2758.03 ± 23.51 ^a	5385.83 ± 62.42 ^a	2309.24 ± 29.01 ^a	1912.93 ± 50.14 ^a
强光+空旷环境	30	4.83 ± 0.17 ^{ab}	0.02 ± 0.00 ^b	55.07 ± 2.93 ^{ab}	41.08 ± 1.55 ^{ab}	21.37 ± 0.94 ^{ab}	30.24 ± 1.07 ^{ab}
弱光+空旷环境	30	61.71 ± 2.85 ^{bc}	0.14 ± 0.00 ^c	1331.81 ± 36.54 ^{bc}	1855.16 ± 27.04 ^{bc}	438.3 ± 13.3 ^{bc}	674.52 ± 20.29 ^{bc}

注:与强光加丰富环境比较,^a $P < 0.05$;与弱光加丰富环境比较,^b $P < 0.05$;与强光加空旷环境比较,^c $P < 0.05$

是通常的跑台和转轮实验却都不能对其进行记录。因此,为了更加全面地描述大鼠的运动水平,本研究在记录路程和速度的基础上,加入了活动时间和活动频率等参数,用以描述大鼠在原地时发生的运动。因为通过大鼠背部的大面积染色,计算机可以识别出这些染色区域形状的改变,比如发生此类原地运动时,大鼠背部染色区域的面积或形状都会发生一定程度的改变。本研究记录下这种改变发生的频率和持续的时间,用活动频率和活动时间这两个参数进行描述。

为了取得更为客观的结果,本实验在前期设计中就对下列可能影响大鼠运动量的因素进行了处理:①个体性运动差异——大鼠的自主运动量的测定,即使是同一种属,个体差异也非常明显,有的大鼠本身就易动,有的却不好动。为了减小这种差异,得到更为真实的结论,我们将所有实验大鼠编上记号,运用自身对比的方法,将同一只大鼠在强光加丰富环境,强光加空旷环境,弱光加丰富环境,弱光加空旷环境,4 组干预条件下的运动水平进行自身的配对 *t* 检验。②运动时间的差异——即使是同一只大鼠,其在不同时刻的运动水平也是不同的,因为有的时间段是其“活动时间”,有的时间段则是其“休息时间”,因此,本研究中的每次实验都固定在每天上午 9:00 ~ 10:00 进行。③群体结构的影响——大鼠属于社会性很强的动物,群体成员的改变或者新成员的出现都会对其行为和运动产生影响。因此,本研究中的所有的实验大鼠都在实验前放在一起饲养 2 周,使彼此熟悉,成员稳定。

综上所述,本研究发现,丰富环境和光强均能影响大鼠的运动水平,并且两者间有协同作用。丰富环境可以增加大鼠的运动水平,但不同的光强会干扰其治疗效果。因此,笔者认为实验中光线的强度是影响丰富环境干预效果的因素之一。本研究提示,临床上对患者进行康复训练时其环境因素也不容忽视,适宜的治疗环境可使患者更自主地参与和配合康复训练,减轻其紧张和压抑心理,从而达到更好的康复治疗效果。

参 考 文 献

- [1] Nithianantharajah J, Hannan AJ. Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system. *Nat Rev Neurosci*, 2006, 7: 697-709.
- [2] Mason G, Clubb R, Latham N, et al. Why and how should we use environmental enrichment to tackle stereotypic behaviour? *Appl Anim Behav Sci*, 2007, 102: 163-188.
- [3] Olsson IA, Dahlborn K. Improving housing conditions for laboratory mice: a review of “environmental enrichment”. *Lab Anim*, 2002, 36: 243-270.
- [4] van Praag H, Kempermann G, Gage FH. Neural consequences of environmental enrichment. *Nat Rev Neurosci*, 2000, 1: 191-198.
- [5] Smith AL, Corrow DJ. Modifications to husbandry and housing conditions of laboratory rodents for improved well-being. *ILAR J*, 2005, 46: 140-147.
- [6] Stairs DJ, Bardo MT. Neurobehavioral Effects of Environmental Enrichment and Drug Abuse Vulnerability. *Pharmacol Biochem Behav*, 2009, 92: 377-382.
- [7] de Weerd HA, Baumans V, Koolhaas JM, et al. Strain specific behavioural response to environmental enrichment in the mouse. *J Exp Anim Sci*, 1994, 36: 117-127.
- [8] Tsai PP, Stelzer HD, Hedrich HJ, et al. Are the effects of different enrichment designs on the physiology and behaviour of DBA/2 mice consistent? *Lab Anim*, 2003, 37: 314-327.
- [9] Moncek F, Duncko R, Johansson BB, et al. Effect of environmental enrichment on stress related systems in rats. *J Neuroendocrinol*, 2004, 16: 423-431.
- [10] Vaynman S, Ying Z, Gomez-Pinilla F. Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *Eur J Neurosci*, 2004, 20: 2580-2590.
- [11] van Praag H, Christie BR, Sejnowski TJ, et al. Running enhances neurogenesis, learning, and long-term potentiation in mice. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 1999, 96: 13427-13431.
- [12] Griesbach GS, Hovda DA, Molteni R, et al. Voluntary exercise following traumatic brain injury: brain-derived neurotrophic factor upregulation and recovery of function. *Neuroscience*, 2004, 125: 129-139.
- [13] Luo CX, Jiang J, Zhou QG, et al. Voluntary exercise-induced neurogenesis in the postischemic dentate gyrus is associated with spatial memory recovery from stroke. *J Neurosci Res*, 2007, 85: 1637-1646.
- [14] Engesser-Cesar C, Anderson AJ, Basso DM, et al. Voluntary wheel running improves recovery from a moderate spinal cord injury. *J Neurotrauma*, 2005, 22: 157-171.
- [15] Engesser-Cesar C, Ichiyama RM, Nefas AL, et al. Wheel running following spinal cord injury improves locomotor recovery and stimulates serotonergic fiber growth. *Eur J Neurosci*, 2007, 25: 1931-1939.
- [16] 姜淑杰,刘瑾彦,陈佩杰. 运动强度对幼龄大鼠海马 VEGF 及其受体 Flk-1 mRNA 表达的影响. *神经解剖学杂志*, 2008, 24: 189-194.
- [17] 李华,聂晓云,王玉龙,等. 不同强度运动对糖尿病大鼠认知功能的影响及机理探索. *中国神经精神疾病杂志*, 2008, 34: 471-474.
- [18] 刘瑾彦,姜淑杰,陈佩杰. 跑台运动对幼龄大鼠海马齿状回区神经再生的影响. *中国运动医学杂志*, 2006, 25: 171-175.

(修回日期:2012-04-17)

(本文编辑:阮仕衡)