

目标物体尺寸的大小对小鼠空间深度感知的影响*

郭兴焱^{1)**} 朱 静^{1)**,**} 胡新天²⁾ 周荣武¹⁾ 罗明阳¹⁾

¹⁾西南林学院保护生物学学院, 昆明 650224; ²⁾中国科学院昆明动物研究所, 灵长类感觉、运动及整合实验室, 昆明 650223)

摘要 探索了小鼠在排除透视、遮挡等空间深度的线索下, 是否是依靠视觉目标的尺寸大小来感知空间深度. 小鼠放置于可以调节高度的高台上, 高台位于仅底面有光线照明、四周黑暗的实验箱内. 将由格子构成底部面板的尺寸设计为小鼠估计高度距离的唯一线索, 设置了 3 个空间尺度的底板, 分别按 2/3 的比例缩小, 并设置 7 个高度. 在同一高度下每测试一轮即对底板的尺寸进行随机变换. 记录小鼠跳落前在高台上停留的时间, 研究小鼠对高度的判断是否受到底板尺寸的影响. 结果表明所有大小线索条件下小鼠在高台上停留的时间随高度的增加而延长. 在 20~30 cm 的高度范围, 小鼠不以大小为线索的信息来判断深度, 可能主要以双眼视差产生的深度信息来判断高度. 而在小于 20 cm 和大于 30 cm 的高度范围, 特别是在更高的距离上如 50 cm、60 cm 和 70 cm, 小鼠以目标大小信息为线索来对深度进行判断, 以弥补在这些条件下双眼深度信息的不足. 在理论上说这是由于小鼠只有三分之一的(中央)视野为双眼视野区. 实验的行为范式可以应用到以转基因鼠为模式生物物的实验中, 以研究此类行为与基因之间的关系.

关键词 高台, 深度视觉, 昆明小鼠

学科分类号 B842.1

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2009.00385

视觉系统是动物获取外部世界信息最重要的功能器官, 其中视觉深度信息的感知是动物运动、捕食、逃避等行为的基础, 对距离的感知能力对动物的生存极其重要. 在知觉心理学中, 距离判断问题是心理学者一直感兴趣的问题. Ittelson 和 Ames^[1]的实验证明, 在缺乏其他线索的条件下, 被试用单眼观察同一距离的三张扑克牌(标准大小、大小减半、大小增加一倍), 较大的显得近些, 较小的显得远些. 因此, 当深度线索缺乏的情况下, 视觉系统往往利用目标在视网膜上成像的大小来估计其距离.

目前, 国内外学者采用视觉悬崖或高台等方法已经探索了蒙古沙鼠(*Meriones unguiculatus*)^[2]、金黄地鼠^[3]、非洲刺毛鼠(*Acomys cahirinus*)^[4]等啮齿类动物对距离的感知. 如非洲刺毛鼠在自然生存环境中具有精确的跳跃能力. 研究人员设计了不同高度的平台, 刺毛鼠通常选择距离地面较低矮的平台跳落, 实验证明刺毛鼠具有良好的高度感知. 另外 Greenberg^[5]研究了蒙古沙鼠和非洲刺毛鼠的深度感知, 认为两种动物虽然采用不同的方式, 但都具有

距离感知的能力, 而且非洲刺毛鼠比蒙古沙鼠更依赖于视觉线索.

本实验旨在探索昆明小鼠对空间距离的感知能力. 将昆明小鼠放置在距离地面有一定高度的高台上, 高台处于除了底面有光线照明外, 其余环境全黑的封闭环境中. 排除其他视觉深度线索的影响, 而仅有底板的大小尺寸作为小鼠判断高度的唯一线索. 设计 7 个高度, 在每一高度下变换底板的尺寸大小, 探索小鼠是否利用底板的大小尺寸来估计距离. 国外对啮齿类动物研究的高度一般只有 1~2 个^[4-5]. 本研究采用 7 个高度, 可以在更细微的高度水平分析小鼠的视觉感知. 另外装置内的平台排除了其他视觉线索的影响, 更容易确定底板大小尺寸对小鼠是视觉的影响.

* 西南林学院动物学重点学科建设经费资助项目(XKX200903).

** 共同第一作者.

*** 通讯联系人.

Tel: 0871-3864314, E-mail: zhuj@swfc.edu.cn

收稿日期: 2009-06-23, 接受日期: 2009-11-16

1 材料与方法

1.1 实验动物

昆明种成年小鼠 20 只, 雌雄各半, 由昆明医学院动物养殖中心提供. 雄性小鼠体重均值为 (33.35 ± 3.31) g, 雌性小鼠体重均值为 (27.03 ± 4.14) g, 雌雄分开饲养. 水和食物自由采取, 光暗周期 (L : D = 11 h : 13 h). 实验前采用染色法对小鼠进行标记.

1.2 实验装置

整个高台均处在实验箱内部全黑的环境中. 透明圆形平台直径约 3 cm, 粘附于空心塑料管(长 80 cm、直径 2.8 cm)顶端. 塑料管穿过用泡沫塑料制成的底板中心后固定在实验箱内, 实验箱长 153 cm, 截面为 60 cm × 67 cm. 箱子内部四壁都贴上黑纸, 以排除其他视觉深度线索对小鼠的影响. 光线照明依靠镶嵌在底板内的功率为 32 W 的三色环形灯管照明. 灯管固定在底部支架上, 上面覆盖一层白纸以保持光线均匀, 再放上提供视觉线索的底板(图 1).

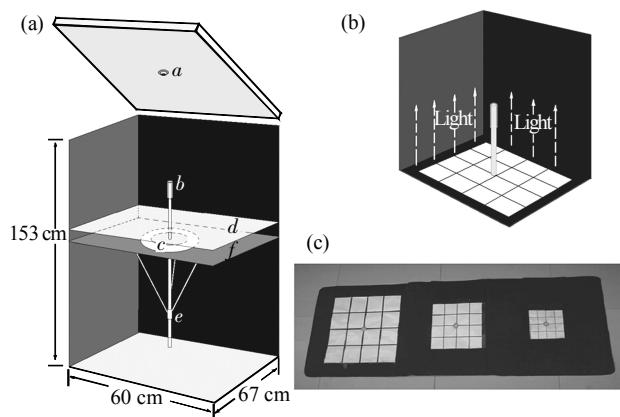


Fig. 1 A diagram of the experimental apparatus

(a) Experimental apparatus. a: PC camera; b: Platform; c: Light; d: Different sizes of the grids; e: Bracket; f: Bottom. (b) Inside of apparatus. (c) Three sizes of grid pattern (from left to right): bigger pattern, middle pattern, smaller pattern.

视觉线索: 底板分为小、中、大三个线索. 每个线索用黑线条在白纸上绘制了 4 × 4 个方型格子作为视觉参照, 底板的边框、线条粗细按线索的大小比例变化(图 1c). 为防止小鼠的排泄物污染底板线索, 底板贴上透明薄膜.

大线索: 外边框尺寸为 48 cm × 48 cm. 内部每个方型格子尺寸为 12 cm × 12 cm.

中线索: 外边框尺寸为大线索的 2/3, 即 32 cm × 32 cm. 内部每个格子尺寸为大线索底板的 2/3, 即 8 cm × 8 cm.

小线索: 外边框尺寸为中线索的 2/3, 即 21.3 cm × 21.3 cm. 内部每个格子尺寸为中线索底板的 2/3, 即 5.3 cm × 5.3 cm.

其余实验设备: 摄像头(130 万像素)安置在高台上方隐蔽处观察记录小鼠的活动, 用秒表记录小鼠在高台上的停留时间.

1.3 实验方法

实验时间安排在每日 13:00 ~ 23:00 之间进行. 设置 10 cm、20 cm、30 cm、40 cm、50 cm、60 cm、70 cm 共 7 个高度.

本实验分为 2 个测试, 测试 1 为对照测试, 采用无任何格子的底板, 边框和大线索相同. 依次进行 7 个高度的测试. 测试 2 为实验测试, 用小、中、大三个线索的底板, 高台按由低到高的顺序升高, 每一个高度测试 3 轮, 每轮更换一个底板线索.

测试方法: 实验前控制小鼠饮食, 保持小鼠处于饥饿状态. 实验过程中底板四周分别放上少许食物以提高小鼠跳落的行为动机. 将小鼠轮流放置在高台上, 通过显示器和秒表观察记录小鼠在高台上停留的时间. 每只小鼠重复 4 次测试.

跳落行为的判断为小鼠用后肢抓住平台边缘, 身体保持站立状态, 弹跳下落, 或身体向下探寻时跳落. 如果小鼠直接从高台上摔落, 则不给予记录. 当小鼠在台上停留时间超过 8 min, 则认为“不跳落”, 并将数据排除.

1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 软件处理数据. 小鼠在高台上停留的时间采用样本的算术平均值 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示. 用具有重复观测值的方差分析 (ANOVA) 进行各个线索之间的差异显著性检验, 用 *t*-test 检验比较同一高度下两两线索或对照之间的差异. $P < 0.05$ 为差异显著; $P < 0.01$ 为差异极显著.

2 结果与分析

2.1 不同线索对小鼠停留时间的影响

方差分析表明, 随着高度的增加, 小鼠在高台上停留的时间也增加 (ANOVA, $F_{(3,84)} = 73.365$, $P < 0.01$, 图 2).

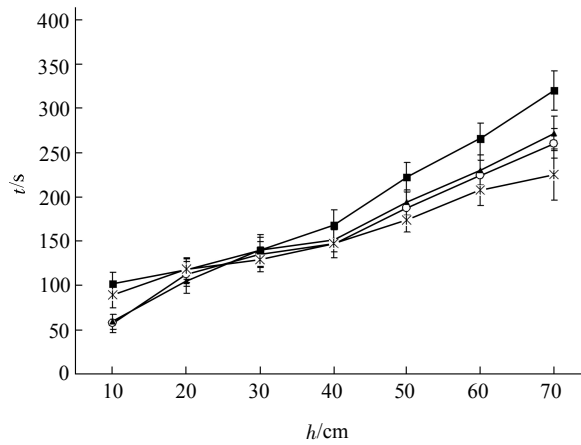


Fig. 2 The relationship between staying of times and height in three visual patterns and blank

○—○: Bigger pattern; ▲—▲: Middle pattern; ■—■: Smaller pattern; ×—×: Blank test.

小鼠在高台上停留的时间在 30~70 cm 高度范围内不同线索均比对照长。其中,小线索与对照测试相比差异显著(ANOVA, $F_{(2,42)}=7.824$, $P < 0.01$),中线索、大线索和对照测试相比不显著(ANOVA, $F_{(2,42)}=0.973$, $P > 0.05$; $F_{(2,42)}=0.471$, $P > 0.05$)。

从结果来看,在小于 20 cm 的高度范围,在大线索和中线索下小鼠在高台上停留的时间 t -test 检验没有差异($t_{(38)}=0.215$; $P > 0.05$, $n = 20$),而分别都短于小线索(大线索, $t_{(38)}=2.346$, $P < 0.05$, $n = 20$; 中线索, $t_{(38)}=2.223$, $P < 0.05$, $n = 20$)。在小于 20 cm 的高度范围,对照测试的数据点靠近小线索数据点,没有显著差别($t_{(38)}=0.165$, $P > 0.05$); 在大于 30 cm 的高度范围,对照数据点靠近大和中线索数据点,也没有显著差别(50 cm: 大线索, $t_{(36)}=0.682$, $P > 0.05$, $n = 20$, 中线索, $t_{(37)}=0.247$, $P > 0.05$, $n = 20$; 60 cm: 大线索, $t_{(34)}=0.188$, $P > 0.05$, $n = 20$, 中线索, $t_{(34)}=0.333$, $P > 0.05$, $n = 20$; 70 cm: 大线索, $t_{(29)}=0.079$, $P > 0.05$, $n = 20$, 中线索, $t_{(26)}=0.348$, $P > 0.05$, $n = 20$),在 40 cm 和 50 cm 的高度,大线索和小线索数据点差异不显著(40 cm: $t_{(37)}=0.650$, $P > 0.05$, $n = 20$; 50 cm: $t_{(36)}=0.590$, $P > 0.05$, $n = 20$),中线索和小线索数据点差异不显著(40 cm: $t_{(37)}=1.061$, $P > 0.05$, $n = 20$; 50 cm: $t_{(37)}=1.155$,

$P > 0.05$, $n = 20$)。在 60 cm 和 70 cm 的高度,大线索和小线索数据点差异显著($t_{(37)}=2.401$, $P < 0.05$, $n = 20$; $t_{(31)}=2.126$, $P < 0.05$, $n = 20$),中线索和小线索数据点在 60 cm 高度差异显著($t_{(37)}=2.319$, $P < 0.05$, $n = 20$),70 cm 高度差异不显著($t_{(28)}=1.595$, $P > 0.05$, $n = 20$)。值得注意的是,在 20 cm 和 30 cm 的高度,4 个条件下小鼠在高台上停留的时间存在重叠交织,没有显著差异(大线索和中线索: $t_{(37)}=0.527$, $P > 0.05$, $n = 20$; 大线索和小线索: $t_{(35)}=0.527$, $P > 0.05$, $n = 20$; 中线索和小线索: $t_{(36)}=0.214$, $P > 0.05$, $n = 20$; 大线索和对照: $t_{(37)}=0.270$, $P > 0.05$, $n = 20$; 中线索和对照: $t_{(38)}=0.142$, $P > 0.05$, $n = 20$; 小线索和对照: $t_{(36)}=0.034$, $P > 0.05$, $n = 20$)。这些数据提示,在大于 30 cm 的高度范围,小鼠可以以线索大小来判断深度信息,并且以大线索更接近于无大小线索时的条件来判断高度; 在小于 20 cm 的高度范围,小鼠可以以线索大小判断深度,并且以小线索更接近于无大小线索条件来判断; 然而,在 20 cm 到 30 cm 的高度范围,小鼠不是以目标大小为线索引起的深度信息来判断的。

2.2 雌雄小鼠停留时间的差异

对照测试中,雌雄小鼠之间的停留时间经双因素方差分析显示差异不显著(ANOVA, $F_{(2,42)}=0.340$, $P > 0.05$) (图 3a)。在实验组中,随着线索不断缩小,雌雄小鼠停留时间变化逐渐呈现平稳的趋势(图 3b, c, d)。大线索和中线索下雌雄小鼠在停留时间的差异不显著(ANOVA, $F_{(2,42)}=2.539$, $P > 0.05$; $F_{(2,42)}=0.249$, $P > 0.05$)。而小线索下雌雄小鼠停留时间有显著差异(ANOVA, $F_{(2,42)}=7.054$, $P < 0.01$)。

2.3 小鼠在高台上的行为状态

小鼠放置在高台上以后,当高度处于 10~40 cm 这个范围时,小鼠在高台上的行为主要是整理毛发,四周旋转观望,甩动尾部并伸长身体向下看等。当高度处于 50~70 cm 时,小鼠在高台上的行为除了前面几种之外,还出现身体剧烈抖动,尾部下垂和快速四周转动等行为,特别是在高度 70 cm 的时候小鼠身体剧烈晃动和抖动很明显。另有部分小鼠在放上高台之后无任何运动的行为,处于呆立不动的状态。

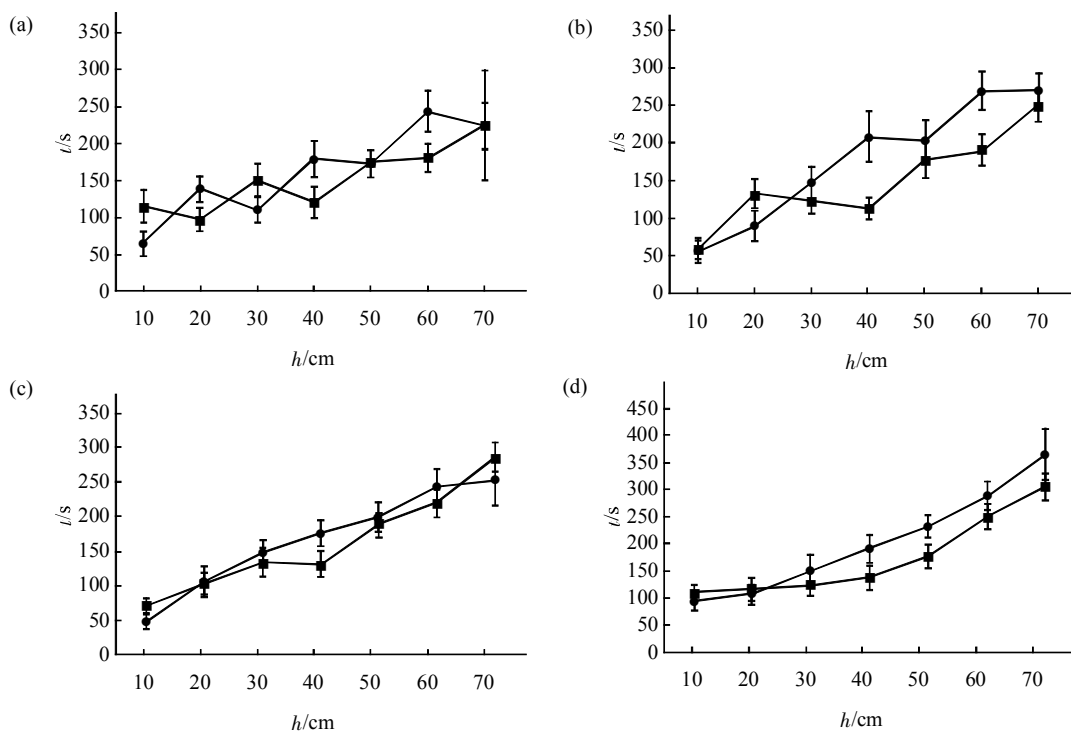


Fig. 3 The variation of male and female mouse in different patterns
 (a) Blank test. (b) Bigger pattern. (c) Middle pattern. (d) Smaller pattern. ■—■ : Male; ●—● : Female.

3 讨 论

Greenberg^[5]曾报道了非洲刺鼠和蒙古沙鼠能感知深度，而且非洲刺鼠较蒙古沙鼠更依赖于视觉线索。Ellard 等^[2]的研究中证实了蒙古沙鼠能通过学习而利用落地时平台的尺寸估计距离。另一篇报道中，Ellard 等^[6]认为蒙古沙鼠能利用目标物的尺寸大小来计算距离。

本实验得出的结果表明：a. 随高度增加，在有大小线索和对照的所有 4 个条件下，昆明种小鼠在高台上停留的时间都逐渐增加；b. 在大于 30 cm 和小于 20 cm 的高度范围，小鼠在 4 个线索下停留时间都存在差异；c. 在这两个高度范围内，小线索下停留时间都大于中线索和大线索，而中线索和大线索之间差异不显著。因此，在 20 cm 到 30 cm 的高度范围，小鼠不是以大小为主要线索的深度信息来判断的。我们推测在该视觉距离上，小鼠可能是以双眼深度信息来判断的。而在小于 20 cm 和大于 30 cm 的高度范围，特别是在更高的距离上，小鼠主要以大小信息为线索来对深度进行判断，以弥补在这些条件下双眼深度信息的不足。因为小鼠只有三分之一的(中央)视野为双眼视野区^[7]。

另外，随着高度的增加，雄鼠停留的时间逐渐高于雌鼠，且底板尺寸越小，雌雄差异越大。这说明雌雄之间对深度线索的感知存在差异。

本实验对于今后探索啮齿类动物视觉深度感知具有一定的意义。目前转基因鼠是生物学中一个非常重要的动物模型，对研究各种脑疾病、学习和记忆的机制与规律、行为与基因的关系具有不可替代的作用，将广泛应用于神经生物学领域。本实验模式可以为此提供一种易于操作的实验行为范式，在啮齿类动物上研究行为与基因功能之间的关系，对以转基因动物为模式的视觉和认知研究具有一定的参考价值。

参 考 文 献

- [1] Ittelson W H, Ames A Jr. Accommodation, convergence, and their relation to apparent distance. *J Psychol*, 1950, **30**: 43-62
- [2] Ellard C G, Chapman D G, Cameron K A. Calibration of retinal image size with distance in the Mongolian gerbil: rapid adjustment of calibrations in different contexts. *Percept Psychophys*, 1991, **49**(1): 38-42
- [3] Etienne A S, Vauclair J, Emmanuelli E, *et al.* Depth perception by means of ambient sounds in a small mammal. *Experientia*, 1982, **38**(5): 553-555
- [4] Goldman M, Skolnick A J, Hernandez T P, *et al.* Distance perception in the spiny mouse *Acomys cahirinus*: vertical jumping.

- Percept Mot Skills, 1992, **75**(3 Pt 1): 883-895
- [5] Greenberg G. Depth perception in Mongolian gerbils (*Meriones unguiculatus*) and spiny mouse (*Acomys russatus* and *A. cahirinus*). J Comp Psychol, 1986, **100**(1): 81-84
- [6] Ellard C G. Visually guided locomotion in the gerbil: a comparison of open-and closed-loop control. Behavioural Brain Research, 2004, **149**(1): 41-48
- [7] Hübener M. Mouse visual cortex. Curr Opin Neurobiol, 2003, **13**(4): 413-420

The Effects of Visual Object Size in The Depth Perception in KM Mouse*

GUO Xing-Yan^{1)**}, ZHU Jing^{1)*****}, HU Xin-Tian²⁾, ZHOU Rong-Wu¹⁾, LUO Ming-Yang¹⁾

¹⁾Faculty of Conservation Biology, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China;

²⁾Laboratory of Primate Neuroscience Research and Key Laboratory of Animal Models and Human Disease Mechanisms, Kunming Institute of Zoology, Kunming 650223, China)

Abstract Whether mice perceive the depth of space dependent on the visual size of object targets was explored when visual cues such as perspective and partial occlusion in space were excluded. A mouse was placed on a platform the height of which is adjustable. The platform located inside a box in which all other walls were dark exception its bottom through that light was projected as a sole visual cue. The visual object cue was composed of 4×4 grids to allow a mouse estimating the distance of the platform relative to the grids. Three sizes of grids reduced in a proportion of 2/3 and seven distances with an equal interval between the platform and the grids at the bottom were applied in the experiments. The duration of a mouse staying on the platform at each height was recorded when the different sizes of the grids were presented randomly to test whether the judgment of the mouse for the depth of the platform from the bottom was affected by the size information of the visual target. The results from all conditions of three object sizes show that time of mice staying on the platform became longer with the increase in height. In distance of 20~30 cm, the mice did not use the size information of a target to judge the depth, while mainly used the information of binocular disparity. In distance less than 20 cm or more than 30 cm, however, especially in much higher distance 50 cm, 60 cm and 70 cm, the mice were able to use the size information to do so in order to compensate the lack of binocular disparity information from both eyes. Because the mice have only 1/3 of the visual field that is binocular. This behavioral paradigm established in the current study is a useful model and can be applied to the experiments using transgenic mouse as an animal model to investigate the relationships between behaviors and gene functions.

Key words platform, depth visual, KM mouse

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2009.00385

*This work was supported by a grant from Key Disciplines of Zoology in Southwest Forestry University (XKX200903).

**These authors contributed equally to this work.

***Corresponding author.

Tel: 86-871-3864314, E-mail: zhuj@swfc.edu.cn

Received: June 23, 2009 Accepted: November 16, 2009