

# 恒河猴对50以下数目的估计<sup>1)</sup>

林 国 彬

(中国科学院心理研究所, 北京, 100012)

## 摘 要

本研究有6个从易到难的程序, 每个程序有标准数目和比较数目, 都是白卡片上的黑圆点。每次试验先呈现标准数目作为样本, 强化后撤去, 随后同时呈现标准数目和比较数目, 令动物作二择一反应。实验结果表明, 影响恒河猴数目估计的有两个主要因素, 即标准数目和比较数目之间的数间距和这两个数目本身的大小。在数间距为4或大于4时, 恒河猴能对50以下的数作出估计; 在数间距为2时, 恒河猴能对9—25的数作出估计, 但不能对27—49的数作估计。作者以为, 这里所进行的是一种相对的区域性的数目估计, 但它仍然是一种数标签的过程。

**关键词** 恒河猴, 动物数能力, 相对的区域性数估计, 标准和比较数目刺激

## 1 问题

估计是对量值的近似性判断。对客观对象进行数目估计是个体在现实生活中经常遇到的事情, 高等动物是否具有数目估计能力对它们在摄食和躲避敌害方面有着重要的生物学意义。但是除了少数学者对人的数目估计进行过研究外, 在文献中尚没有见到对灵长类动物数目估计能力进行系统研究的报道。Kaufman等人<sup>[1]</sup>用随机撒布的方式在屏幕上速示(200毫秒)数目从1到210在大小和密度上都相同的圆点, 要求大学生对所呈现的数目作出报告。研究结果表明, 被试对6或6以下数目的报告要比6以上数目更精确、更快、更自信。作者把这个过程叫作顿识(Subitizing, 原文为拉丁文, 意谓“突然达到”), 以别于对6以上数目的估计。但在顿识中到底发生了什么样的过程, Kaufman没有说清楚, 不过有人认为这是基于对模式的再认和标签的知觉速记的一种形式, 而不是认知过程本身<sup>[2]</sup>。Mandler和Shebo<sup>[3]</sup>在计算机屏幕上按8×8的分格随机呈现2—20个x或o字母, 在成人被试身上用各种呈现时间对顿识和估计进行系统研究, 得出了与Kaufman相类似的结论, 就是当同时呈现的点数越接近6时, 反应时就越长, 也越不精确, 并又与对6以上的数的估计之间形成一种不连续性。

严格意义下的顿识研究也没有在灵长类动物身上进行过。但在刺激呈现时间不予严格限制条件下, 松鼠猴和恒河猴对多边形边数的顿识能达到6—8边<sup>[4,5]</sup>, 而对同时呈现的白色卡片上的圆点数的顿识也达到同样的结果<sup>[6,7]</sup>。如此看来, 灵长类动物在这方面的上限数值已经超过人类被试。

文献中都曾有学者对动物数目估计的研究提出过理论上的设想, 但都未曾付诸实验。Davis和Pérusse<sup>[2]</sup>提出, 向动物呈现从5到100的数, 但只强化 $50 \pm 5$ , 以确定动物能否对50的估计。Thomas和Lorden<sup>[8]</sup>提出, 让灵长类动物对25和50形成辨别, 然后令其

1) 本文于1993年1月14日收到。

对概念化的 25 进行再认,再用辨别程序得出系统的心理物理学的差别阈限。这两个设想都没有进一步的实验构想,前者过于简单,后者对灵长动物对 25 和 50 之间的数判断能力可能估计不足,因此对实验结果似乎过于理想化。本实验是要对恒河猴对 9—49 的数目估计判断能力进行测查,数目范围的下限采用 9 是与顿识的上限 6—8 相接之意,上限采用 49 则是人为的,是指 50 以内的意思。本研究因为没有前人的文献可供借鉴,因此,在实验方法和实验程序的设计上都只是探索性的。

## 2 方法

**2.1 被试动物** 被试动物为两只恒河猴(*macaca mulatta*):阿顿,雄性,1987年6月生于实验室,本实验开始时为4岁9个月,曾有过数量判断的实验经验;美玲,雌性,1987年8月生于实验室,本实验开始时为4岁7个月,曾接受过数量守恒和其它数量判断的训练。动物在实验期间喂食量进行适当控制,实验用强化食物有各种水果、干果和小食品。每周有5天进行实验。

**2.2 实验装置** 本实验采用推式灵长类动物学习测试装置。装置中有三个左右排列的刺激呈现盒,每个呈现盒下面都有食物坛,强化食物就放在其中。尺寸和用法详见 Lin Guobin<sup>[9]</sup>。

**2.3 刺激物** 刺激物为白色卡片上的黑色圆点。卡片大小为 11.5×13 平方厘米。从数目 9 到 49 的所有奇数(即每隔 2)都是本实验的刺激数目,因此共有数目刺激 21 个。为了避免动物记住某些特定的圆点排列模式,每个数目都有 20 张刺激卡片,其圆点在卡片上的排列模式各不相同。每张卡片又均可上下倒置呈现,因此每个数目可有 40 种圆点排列模式,每次试验随机呈现其中的一张卡片。为了控制不同数目圆点在卡片上的密度和圆点总面积,圆点共有 5 种不同的直径:20,16,13,11 和 8 毫米,根据刺激数目的多少,人为地将不同大小的圆点进行搭配,以求得每个刺激数目在卡片上的圆点密度和总面积看起来大致一样。为了控制圆点的分布范围和排列模式,9 至 19 的刺激数目按 5×5 的方格在卡片上随机排列,21 至 35 和 37 至 49 的刺激数目分别按 7×7 和 8×8 的方格在卡片上随机排列。数目刺激样例见图 1。

**2.4 实验程序** 每只实验被试每天给予 30 次试验。每个试验开始时,在中间的呈现盒中呈现一个标准数目,并予以食物强化,强化后放下屏板,拉回呈现盒并撤去标准数目刺激。10 秒钟后在两边的呈现盒左右随机呈现一个比较数目和一个该标准数目的另一卡片,让被试作二择一反应,标准数目为正确数目刺激,予以强化。此时中间呈现盒已从原来位置上撤走。下一次试验在半分钟后给予。这样每一次试验都给予动物作两次反应的机会,但只记录二择一反应的正确与否。实验开始时给予两个课题的预备性训练,以使动物熟悉上面的实验程序:第一个课题以 4 为标准数目,2 和 6 为比较数目(每次试验只随机用其中一个比较数目);第二个课题以 5 为标准数目,3 和 7 为比较数目。以连续两个实验日正确反应率达到 80% (24/30) 为完成每个课题训练的标准。当然,这些数目刺激每次试验都不是用固定的刺激卡片,但这些刺激数目都是动物在以前实验中熟悉的<sup>[10,11]</sup>。正式实验有以下 6 个课题:

1. 以 21 为标准数目,9,13,17,25,29 和 33 为比较数目,每次试验标准数目和比较

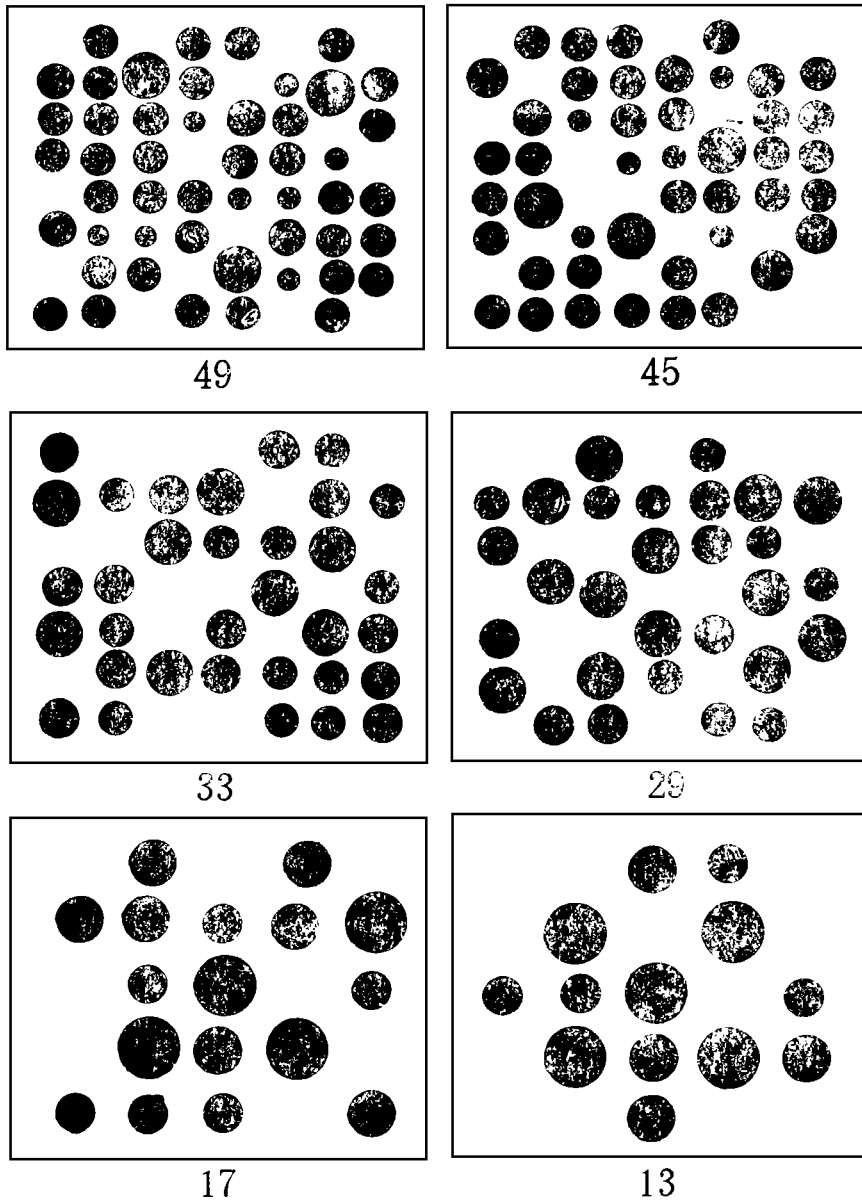


图1 数目刺激样例说明: 数目刺激共有 21 个, 每个数目有 20 张刺激卡片, 其圆点在卡片上的排列模式各不相同。卡片可上下倒置呈现。圆点有五种不同的直径。卡片尺寸为 11.5×13 厘米。

数目都是随机从各自 20 张卡片中抽取一张。每次随机用一个比较数目, 但每个比较数目每天都要用 5 次, 以每个比较数目累计用够 100 次试验为完成本课题的标准。

2. 以 37 为标准数目, 25, 29, 33, 41, 45 和 49 为比较数目, 其它同课题 1 说明。

3. 以 17, 29 和 41 为标准数目, 各自以多 4 或少 4 的数为其比较数目。每次试验随机呈现其中一个标准数目, 以每个比较数目累计用 30 次为完成本课题的标准。

4. 每次试验随机以 25, 29, 33, 37, 41, 45 和 49 中的一个数为标准数目, 以与其相邻的数(多 4 或少 4)为比较数目, 因此在实验中这 7 个数既是标准数目又是比较数目。以每

个数累计作标准数目 30 次为完成本课题的标准。

5. 随机以 11, 17 和 23 为标准数目, 以与其多 2 或少 2 的数为比较数目, 以每个标准数目累计用 30 次为完成本课题的标准。

6. 随机以 29, 35, 41 和 47 为标准数目, 以与其多 2 或少 2 的数为比较数目, 以每个标准数目累计用 30 次为完成本课题的标准。

为明瞭起见, 兹将各课题标准数目和比较数目列入表 1。

表 1 各课题标准数目和比较数目一览表

课题	标准数目	比较数目
1	21	9, 13, 17, 25, 29, 33*
2	37	25, 29, 33, 41, 45, 49*
3	17, 29, 41	13, 21, 25, 33, 37, 45**
4	25, 29, 33, 37, 41, 45, 49	25, 29, 33, 37, 41, 45, 49**
5	11, 17, 23	9, 13, 15, 19, 21, 25***
6	29, 35, 41, 47	27, 31, 33, 37, 39, 43, 45, 49***

注: \* 各数随机作比较数目。

\*\* 只以与标准数目大 4 或小 4 的数作比较数目。

\*\*\* 只以与标准数目大 2 或小 2 的数作比较数目。

### 3 结果

两只恒河猴顺利完成两个预备性训练的课题。美玲分别用 300 次和 90 次试验达到这两个课题的训练标准; 阿顿也分别用 90 次和 210 次试验达到标准。它们对实验程序和要求达到相当熟悉的程度。

两只被试猴在课题 1 和课题 2 中的正确判断百分率见表 2。从表 2 可以看到, 两只猴顺利完成两个课题的任务, 美玲在两个课题中的平均正确判断百分率分别是 88.3% 和 94%, 阿顿为 87.7% 和 92.8%。从实验进程看, 每只猴在这两个课题中分别要进行 20 个实验日的测试, 它们除了课题 1 的第一个实验日的作业处于机遇水平以外, 从第二个实验日开始, 以后每天的正确判断成绩都在 80% 以上。这里似乎不存在学习训练的效果。仔细检查表 2 的数据, 我们还可以看到, 标准数目和比较数目的差数越大者(差数有 4, 8 和 12 三个等级), 其正确判断的成绩有越好的趋势。在课题 1 中(标准数目为 21), 在比较数目为 25(差数为 4)时, 两只猴的成绩最差(都为 78%), 这引起我们明显的注意。从表 2 的数据, 我们似乎可以得出结论说, 在差数为 4 到 12 的条件下, 恒河猴能够正确地对 50 以内的数目进行估计判断。

课题 3 和课题 4 的结果列于表 3。这两个课题是对前两个课题结果的检验。在这两个课题中, 虽然标准和比较数目差数仍然为 4, 但标准数目由一个分别增至三个和七个, 而且每个标准数目在每次试验都随机出现, 以避免每次试验都只对一个固定的标准数目进行反应, 这就大大增加了判断估计的难度。从表 3 可以看到, 两只猴除美玲在个别项目上成绩不佳外, 其它全部项目都达到与机遇水平的差别十分显著的水平(统计处理按 Grant D A. [12])。美玲分别以 85.7% 和 79.6%, 阿顿分别以 91.3% 和 78.2% 的正确判断百分率完成这两个课题的任务。从两个课题的平均正确百分率看, 两只猴都是课题 4 比课题 3 低(见表 3), 可见课题 4 的任务要困难些, 因为它的标准数目比课题 3 多, 彼此相距

表2 两只被试猴在课题1和2中的正确判断百分率(%)

标准数目		比较数目	美玲	阿顿
课 题 1	21	9	94(%)	94(%)
		13	89	92
		17	86	84
		25	78	78
		29	88	86
		33	95	92
		平均	88.3	87.7
课 题 2	37	25	95	96
		29	94	97
		33	91	91
		41	92	89
		45	97	90
		49	95	94
		平均	94	92.8

注: 标准数目和每个比较数目都进行100次试验。

近。但是我们仍然可以作出结论说: 在50以内的彼此相距为4的七个数中, 每次随机以一个数为标准数目并随机以其相邻一个数为比较数目的条件下, 两只恒河猴能够正确地对数目进行估计判断。

表3 两只被试猴在课题3和4中的正确判断百分率(%)

标准数目		比较数目	美玲	阿顿
课 题 3	17	13	96.7(29/30)P<0.001	86.7(26/30)P<0.001
		21	90 (27/30)P<0.001	96.7(29/30)P<0.001
		25	93.3(28/30)P<0.001	90 (27/30)P<0.001
		29	80 (24/30)P<0.001	93.3(28/30)P<0.001
		37	86.7(26/30)P<0.001	83.3(25/30)P<0.001
		41	66.7(20/30)	96.7(29/30)P<0.001
		平均	85.7	91.3
课 题 4	37	25	93.3(28/30)P<0.001	80 (24/30)P<0.001
		29	86.7(26/30)P<0.001	73.3(22/30)P<0.025
		33	76.7(23/30)P<0.005	83.3(25/30)P<0.001
		41	80 (24/30)P<0.001	86.7(26/30)P<0.001
		45	83.3(25/30)P<0.001	70 (21/30)P<0.05
		49	73.3(22/30)P<0.025	76.7(23/30)P<0.005
		平均	79.6	78.2

课题5和课题6的结果列于表4。从表4可以知道, 在标准和比较数目相差为2时, 一只猴(美玲)能对9—25的数的三个项目作出正确的估计判断, 另一只猴只有一个项目的正确估计达到显著水平(课题5); 而两只猴对27—49的数的所有项目的估计判断都处于机遇水平(课题6)。因此我们可以说, 恒河猴在标准和比较数目相差为2时不能对27—

表 4 两只被试猴在课题5和6中的正确判断百分率 (%)

	标准数目	比较数目	美玲	阿顿
课 题 5	11	比标准	76.7(23/30) $P < 0.005$	66.7(20/30)
	17	数目大 2	90 (27/30) $P < 0.001$	63.3(19/30)
	23	或小 2	70 (21/30) $P < 0.05$	73.3(22/30) $P < .025$
	平均		78.9	67.8
课 题 6	29	比标准	46.7(14/30)	50 (15/30)
	35		56.7(17/30)	50 (15/30)
	41	数目大 2	46.7(14/30)	46.7(14/30)
	47	或小 2	56.7(17/30)	53.3(16/30)
	平均		51.7	50

49 的数作出正确估计判断。实验结果还告诉我们,影响恒河猴数目估计的有两个主要因素,即标准和比较数目之间的差距和这两个数目本身的大小。

#### 4 讨论

Starkey, P 和 Cooper, R. G<sup>[13]</sup>曾对 22 周的婴儿作过数能力的实验,证明他们能够正确辨别两个一组和三个一组的客体,但是不能区分四个一组和六个一组的客体。到了七个月时,婴儿则能够按同时听到的断续声音数目来注视相应的数点<sup>[14]</sup>。婴儿的这种数能力是无需经过训练,他们肯定也不具备数数的能力,而且在数数能力和语言能力起作用之前,这种数能力也不会随年龄的增长而有所改进。Rumbaugh, D. M<sup>[15]</sup>认为这是一种非学习现象,可能就是婴儿对数的顿识。在本实验条件下,两只恒河猴不可能对同时呈现的标准和比较数目进行数数,它们在以前的实验经验中也从未接触过 9 以上的数目。从整个实验过程来看,它们也没有表现出成绩随实验进程而有所提高的迹象。因此,我们愿意相信,恒河猴对数目的顿识和估计判断,也是一种非学习的现象,很可能是一种先天的或与生俱来的数能力。

实验中虽然每次试验只要求被试猴对标准数目作出选择判断,但是这种选择判断只有在将标准数目同比较数目进行正确的数多少比较之后才能作出。因此,在本实验条件下,没有这种比较,动物的估计判断是不可能的。既然动物是在对两个数的比较中作出估计,我们有理由推断动物是对两个数都作了估计判断。当然,正如 Thomas, R. K<sup>[16]</sup>所指出的,这种估计是一种不精确的、相对的数多少判断。我们相信,这种估计判断虽然是近似性的,却是可靠的。说它是相对的,是指它不是绝对的数多少判断,是在对数多少的比较中作出的,因此这种数估计判断是明显地带区域性质的。这种区域性在具体的实验情境中是由特定的数目刺激来限定的,在本实验中,是由具体的标准数目和比较数目所限定了的,动物只能在限定的数区域内进行相对多少的比较和估计判断。这种比较和估计同时伴随着数标签过程,因此在一定意义上我们可以说,估计本身就是一种相对不精确的数标签过程。当然它比绝对的精确的数标签要容易些。在人类,这个数标签过程是由词语信号来实现的。

另一方面,动物在将标准和比较数目进行比较的同时,不可能不将它们同第一次呈现

作为样本的标准数目进行匹配。这个样本虽然在动物进行选择判断时不复存在,但是作为副样它仍保留在动物的工作记忆中,这时动物必须记住关于能够证实样本特性的信息。实验中这些信息的最核心的内容就是作为样本的标准数目的数量。动物精确的数标签依赖于后来的标准数目同样本所留痕迹(副样)的相似性(数目相同)。在这个意义上说,动物的数标签过程就是将后来的标准数目同工作记忆中的样本副样进行匹配的过程。从本实验结果看,样本副样在工作记忆中是能够得以清晰显现的。根据 M Colombo 和 M. R. D' Amato<sup>[17]</sup>实验证实,南美戴帽猴在样本延时匹配中当延时 32 秒钟时视觉匹配仍能达到 90% 以上的正确反应率。在本实验中,数目刺激的两次呈现之间在一次试验中的延时间隔只有 10 秒钟,因此实验中恒河猴的作业是能够得到保证的。

刺激圆点在卡片上的分布密度和排列模式的控制历来是有关动物实验十分讲究的事情。本实验由于数目刺激的数目区域广,数值高,因而在圆点分布密度控制上出现了困难。虽然在刺激设计时曾用不同大小的圆点进行控制,但效果仍然不如人意。另一方面,如果将数值低的数(如 9, 13 等)和高的数(如 49, 45 等)的密度或总面积设计成相等,那么势必会使低的数的圆点很大而高的数的圆点很小。这样单个圆点的大小便无形中成为动物的辨别线索了。Kaufman<sup>[1]</sup>呈现 1—210 个圆点于屏幕上对人进行顿识和估计实验,他用撒布的方法呈现圆点,圆点大小相同,密度固定,因此不同数目则撒布面积不同。所以他的实验中圆点撒布面积未必不是数估计的线索。Mandler 等<sup>[3]</sup>在同类实验中在计算机屏幕上按 8 × 8 分格呈现 2—20 个数点,因此密度又成为数估计的线索。考虑到我们在现实生活中对任何一组客体作出数目估计无一不是借助别的参照线索(如面积、体积、疏密、重量等)进行的,几乎想不出有一样是属于纯净的数量估计的,实验中这些不便控制的因素也就情有可原了。

## 5 小结

本实验用对标准数目和比较数目进行选择判断的程序对两只恒河猴进行 9—49 的数目估计实验。实验结果证明,在标准和比较数目的间距为 4 或大于 4 时,恒河猴能对 50 以内的数作出估计;在间距为 2 时恒河猴能对 9—25 的数作估计,但不能对 27—49 的数作估计。

**致谢** 本实验在北京大学心理系动物实验室进行,刘雪梅同学参加实验工作。本文承邵郊教授提出宝贵意见,在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- 1 Kaufman E L, Lord M W, Reese T W, et al. The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology*, 1949; 62: 489—525.
- 2 Davis H, Perusse R. Numerical competence in animal: Definitional issues, current evidences, and new research agenda. *Behavioral and Brain Sciences*, 1988; 11: 561—615.
- 3 Mandler G, Shebo B J. Subitizing: An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General*, 1982; 11: 1—22.
- 4 Terrell D F, Thomas R D. Number-related discrimination and summation by squirrel monkeys on the basis of the number of sides of polygons. *Journal of Comparative Psychology*, 1990; 104(3): 238—247.

- 5 林国彬,刘雪梅.恒河猴对多边形边数识别极限的实验研究.心理学报,1993,25(1):77—82.
- 6 Thomas R K, Chase L. Relative numerosness judgments by squirrel monkeys. Bulletin of the Psychonomic Society, 1980, 16: 79—82.
- 7 张忠标.恒河猴学习辨别数多少的实验研究.心理学报,1989,21(1):55—60.
- 8 Thomas R K, Lorden R B. Numerical competence in animal: A Conservative view. In: Boysen S, Capaldi J eds. The development of numerical ability: Animal and human models, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1991.
- 9 Lin Guobin, Wang Yanling, Yang Hua. Sameness-difference judgments of numerosness by monkeys. The International Journal of Comparative Psychology, 1990, 3(4): 245—252.
- 10 林国彬.一个探索恒河猴和熊猴数量守恒的实验研究.心理学报,1992,24(1):58—65.
- 11 林国彬,龚文合.恒河猴数相加能力的初步研究.心理学报,1992,24(2):205—210.
- 12 Grant D A. New statistical criteria for learning and Problem solution experiments involving repeated trials. Psychological Bulletin, 1949, 43: 272—282.
- 13 Starkey P, Cooper R G. Perception of number by human infants. Science, 1980, 210: 1033—1035.
- 14 Starkey P, Spelke E S, Gelman R. Detection of intermodel numerical correspondences by human infants. Science, 1983, 222: 179—181.
- 15 Rumbaugh D M, Savage-Rumbaugh S. Summation in the chimpanzee. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 1987, 13(2): 107—115.
- 16 Thomas R K. To honor Davir & Perusse and repeal their glossary of processes of numerical competence. Behavioral and Brain Sciences, 1988, 11: 600.
- 17 Colombo M, D'Amato M R. A Comparison of visual and auditory short-term memory in monkeys. Quarterly Journal of Experimental Psychology, 1984, 36.

## ESTIMATION FOR NUMEROSNESS OF LESS THAN 50 IN RHESUS MONKEYS (*macaca mulatta*)

Lin Guobin

(*Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences*)

### Abstract

Estimation has not yet been systematically investigated with primate. In this experiment, the ability of 2 rhesus monkeys (*macaca mulatta*) in estimating the numerosness of less than 50 was investigated. In all of the six procedures of the experiment, the delayed-match-to-sample was used to test how accurately the animals could recognize the Standard Number (SN) and Comparative Number (CN). The SN and CN were black-filled circles (dots) that were drawn on white cards. Each number from 9-49 with 2 or 4 apart was represented by 20 individually constructed cards, so each number was represented by 40 discriminable patterns. The fixed patterns were avoided and in order to control the cumulative area, three diameters for black dots were used. The results suggested that, there were two factors, the number distances between SN and CN and the magnitude of SN and CN, affected the numerosness estimation of monkeys. The two monkeys completed all performances of estimation for numerosness of less than 50 when the number distances between SN and CN were 4 or more than 4 (80% correct criterion). While when the number distance was 2, the two monkeys reached criterion of performances of estimation for 9-25, but not for 27-49. The author suggested that the monkeys completed a relative numerosness estimation and it was a process of assignment of a numerical tag.

**Key words** rhesus monkey, numerical competence in primate, relative numerosness estimation, standard number and comparative number.