心理发展与教育 2021,Vol. 37,No. 2,190-198
Psychological Development and Education DOI: 10.16187/j. cnki. issn1001-4918. 2021. 02. 06

心理长度对二年级儿童数字线估计表征的影响*

曹碧华 曾春雲 廖 虹 李富洪

(江西师范大学心理学院,南昌 330022)

摘 要: 从心理长度的角度探讨二年级儿童在 0 ~ 100 和 0 ~ 1000 数字范围存在不同表征方式的原因。实验一要求二年级儿童完成长度均为 10cm,范围分别为 0 ~ 100 和 0 ~ 1000 的数字线估计任务。实验二要求儿童对长度分别为 10cm 和 18cm,范围均为 0 ~ 1000 的数字线进行估计。结果发现在两个实验中二年级儿童的估计均存在心理长度,但与以往研究的一年级儿童相比,心理长度的范围有所缩小。随着数字范围的增大或长度的减小,儿童的表征方式出现了从线性表征向对数表征的转变趋势。这些结果表明不精确的表征方式可能与心理长度策略的使用有关,心理长度在一定程度上影响了二年级儿童的估计表征方式。

关键词: 二年级儿童; 心理长度; 线性表征; 对数表征
分类号: B844

1 前言

数量表征是指个体对不同形式的数量之间建构复杂关系网络的过程(陈英和,2015)。信息加工理论和核心知识理论均强调数量表征是人类认知发展的重要组成部分,对个体掌握数概念和数学能力的提高有一定的影响作用(柳笛,杨纯,2017)。数字线估计任务是研究数量表征的经典任务,包括给数字标位置(number to position, NP)任务和根据位置估计数字(position to number, PN)任务。其中,NP 任务在标有范围的线段上方显示某个数字,要求被试标出数字在线段上的位置; 而 PN 任务在确定范围的线段上标出位置,要求被试对该位置的数字进行估计(徐华,陈英和,2012)。

儿童的数量表征主要有对数表征和线性表征两种方式。Dehaene(1997)发现成人和学龄前儿童在数字估计中速度和精确性都呈对数关系下降。他提出对数模型(The Logarithmic Model)予以解释这种现象。对数表征是儿童对于数字的一种不精确表征,他们会在主观上认为 1 和 2、2 和 4、4 和 8 之间的差距是相等的。相反,Case 和 Okamoto(1996)提出的线性模型(The Liner Model)是在儿童的认知水平已经发展到数的等距属性时才能形成的。只有掌握了数的等距性质,儿童才能明白任何两个相邻数字之间的距离是一样的,从而精确地估计每个数量的大小,形成线性表征。

以往研究表明对数表征是人类最初的数量表征方式,之后才转为线性表征(Siegler & Booth,2004; Siegler & Opfer,2003)。Siegler 等要求儿童对 0 ~ 100 和 0 ~ 1000 范围数字线进行估计,发现幼儿园和二年级儿童在 0 ~ 100 范围数字线中经历了由对数表征到线性表征的发展趋势; 在 0 ~ 1000 范围数字线估计中,表征模式从二年级儿童的对数表征逐渐转变为四年级的线性表征(Siegler & Booth,2004; Siegler & Opfer, 2003)。跨文化研究表明中国儿童的数量表征发展趋势同美国儿童一致,也是由对数表征过渡为线性表征(周广东 等,2009)。中国幼儿园儿童在 0 ~ 100 范围进行数字线估计时表现为对数表征,而一、二年级儿童则能以线性表征对 0 ~ 100 范围的数字线进行估计。在 0 ~ 1000 范围的数字线估计中,一年级儿童的表征方式为对数表征或两者混合,还未形成线性表征(周广东 等,2009; 吴晓超,2017)。然而,三至六年级儿童能稳定地以线性表征的方式对 0 ~ 1000 范围数字线进行估计(宋广文 等,2013; 张丽 等,2014)。值得注意的是,二年级儿童在 0 ~ 1000 范围数字估计中表现出了线性表征、对数表征和两者混合的三种情况(胡林成,熊哲宏,2017; 宋广文 等,2013; 吴晓超,2017)。这说

* 基金项目: 国家自然科学基金(31760285,31860278,31960182); 江西省研究生创新基金(YC2019 - S144); 江西师范大学研究生创新基金(YJS2018018)。
通讯作者: 曹碧华,E-mail: caobihua@ jxnu. edu. cn

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

明对于 0 ~ 1000 范围的数字线估计，二年级可能是儿童从对数表征转为线性表征的关键过渡期，因此有必要对其数字线估计的表征模式与影响因素，例如估计策略进一步探讨。

对于表征方式是如何转变的，不同的学者各持己见。一些研究表明适当的反馈、情境的变换和参照点策略的使用等因素会导致儿童转变表征方式(Barth & Paladino，2011; Opfer & Siegler，2007; Siegler & Opfer，2003) 。阶段论(The Stage Theory) 认为表征方式从不成熟表征阶段转变为成熟表征阶段，且这一过程是广泛而突然的(Opfer & Siegler，2007) 。Opfer 和 Siegler 对儿童的数字线估计任务结果进行了反馈，结果发现三种不同条件的反馈组均发生了从对数到线性的转变，并呈现整体性和突然性的特点，而无反馈组则没有发生变化。与阶段论的单一表征方式不同，Siegler(1996) 的重叠波理论认为各年龄段的儿童同时具备多种表征能力，他们会根据具体的问题和情境选择某一种表征模式。Siegler 和 Opfer(2003) 发现近一半的二年级儿童在 0 ~ 100 数字线估计中符合线性表征，却在 0 ~ 1000 数字线估计中转向了对数表征。这支持了重叠波理论，即情境的不同(例如不同的数字线范围) 会导致儿童的表征方式发生转变。但 Barth 和 Paladino (2011) 的比例判断模型(Proportion-judgment Models) 并不认同重叠波理论。他们认为能否准确地应用参照点策略，例如以线段的中点和四分位点为参考才是儿童产生不同表征方式的原因。与大范围数字线估计相比，儿童在小范围数字线估计任务中能更容易地准确利用参照点。因此他们对后者估计时更准确，更易形成线性表征。

比例判断模型提出的参照点策略是在儿童对数的认识达到了等比属性的阶段才能更好地使用。当对数的认识还未达到等比阶段时，儿童为何在不同范围或不同长度出现了不同表征模式? 对此，莫雷等人(2010) 认为其根本原因是心理长度(mental distance) 的存在。他们要求一年级儿童完成不同范围和不同长度的 NP 任务时，发现被试将 1 ~ 10 的低端数字与固定的线段长度对应起来，即心理长度。这表明一年级儿童对数字的认识停留在等距水平(莫雷 等，2010) 。张帆等人(2015) 采用 PN 任务，发现一至三年级儿童在不同数字线长度下 0 ~ 1000 范围估计中存在心理长度，且随着年龄增长，使用心理长度策略进行估计的数字范围即心理长度的范围不断缩小，儿童表征模式从非线性向线性表征进行转变，估计准确性也不断提高。这说明随着年龄和相关数学知识的增加，对数的认识开始向等比水平发展，也就更少地存在心理长度。

然而，仍有以下问题值得进一步探讨: 首先，在 NP 任务中，二年级儿童在不同数值范围和长度的估计中是否也会存在心理长度? 其次，若存在心理长度，二年级儿童已经学习了相关数学知识，对数的认识达到了 1000，那么在 NP 任务中相较于一年级儿童，二年级的心理长度是否有消退的趋势，是否会影响儿童在不同范围或长度的心理表征?

为此，本研究将主要探讨二年级儿童心理长度与表征模式之间的关系。与莫雷等人(2010) 的研究相似，实验一拟将数字范围设置为 0 ~ 100 和 0 ~ 1000。若儿童在实验一中存在心理长度，并且表征模式发生变化，那么在相同范围、不同长度的两种数字线中是否会出现类似的情况? 以往研究在探讨这一问题时将线段长度设置为 10cm 和 20cm(莫雷 等，2010) 。由于两种长度的线段均处于 A4 纸的居中位置，10cm 长的线段两边端点就分别对应 20cm 长的左右四分位点，可能导致前者为 20cm 线段的估计提供参照点的相关线索。因此，实验二设置了数字范围为 0 ~ 1000，线段长度分别为 10cm 和 18cm 的数字线，要求所有儿童完成 NP 任务。另外，本研究要求儿童估计的数字包括低端、中端和末端数字三种，可以考察心理长度的发展对儿童估计准确性的影响。

2　实验一: 不同范围估计中的心理长度及表征模式

2.1　实验目的

探讨在同样数字线长度(10cm) 表示不同数字范围(0 ~ 100 和 0 ~ 1000) 的估计任务中，二年级儿童是否存在心理长度，从而对其数字表征模式做出相应的解释。

2.2　实验方法

2.2.1　被试

在某市小学二年级随机选出 30 名学生，男生 17 名，女生 13 名($M = 8.27$，$SD = 0.51$) 。

2.2.2　材料

实验材料是一本小册子，第一页是实验的指导语和被试的基本信息，从第二页开始是正式的实验内容。每页均印有 10cm 长的线段，这些线段的两端标有 0 和 100(或 1000) 。每条线段正上方 2cm

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

处均有一个带圆圈的数字，表明这是要估计的实际数值，除此无任何标记内容。实验拟将二年级儿童的心理长度与莫雷等人(2010)的一年级儿童进行对比，故选取了与其相同的数字。即在两种数字范围的首端和末端各选取10个连续的整数，同时在中间范围各选取了10个数字。在0～100数字范围下选取的中端数字有12、17、21、24、33、48、57、64、72、81，在0～1000范围下的中端选取了33、79、122、246、366、423、548、606、722、894这10个数字。

2.2.3 程序

实验将30位儿童随机分成六个小组，每个小组将分配一名经过培训的主试。主试会向被试讲述实验指导语"亲爱的小朋友：你好！我们今天做一个有关数字线估计的测试，但这不计入你的学习成绩。首先在小册子的第一页填写你的姓名、年龄等基本信息，接着第二页到最后一页都为测试题。每一页的数字线左边标有0，右边标为100或1000，那么你认为线段上方圆圈内的数字应该在线段上的哪个位置呢？请你想好以后在线段上用一条细竖线画出上面圆圈中数字所在的位置"。主试讲解完后让被试开始作答，最后由主试收齐所有材料并且用直尺测量出被试的估计结果，单位精确到毫米。在整个过程中不允许组员交流以及用直尺进行测量，主试也不能向被试提供任何反馈信息。

2.3 结果与分析

2.3.1 不同范围中两端数字的估计长度比较

为考察二年级儿童在估计低端数字时是否存在心理长度，将两种范围下低端数字1～10的实际估计长度(即从0到被试做出标记位置之间的长度)进行配对 t 检验。若二者长度无显著差异，则表明存在心理长度。虽然不同数字范围的低端数字估计未形成一致的趋势，但儿童对2～4、8和9这5个数字的估计存在心理长度，即儿童在一定程度上采取了心理长度。数字范围发生变化，同一数字的长度保持不变，即儿童高估了0～1000范围部分低端数字的实际长度(表1)。

另外，为了考察二年级儿童对末端数字的估计是否采用了倒数心理长度策略，对末端10个数字的实际估计长度(即从被试做出标记位置到线段终点的长度)进行了 t 检验。结果显示91～991数字组和最末端连续7组数字的估计长度没有差异，也存在心理长度。这表明二年级儿童对绝大部分末端数字的估计采取了倒数心理长度策略(表2)。

表1 不同范围中低端数字的估计长度比较

数字组	估计长度(cm)(0～100)	估计长度(cm)(0～1000)	$t(df=29)$	p
1－1	0.35±0.26	0.25±0.21	2.47	0.02
2－2	0.78±0.36	0.72±0.58	0.68	0.50
3－3	0.99±0.65	1.31±1.67	－1.03	0.31
4－4	1.55±1.29	1.23±1.05	1.20	0.24
5－5	1.69±0.89	1.27±0.71	3.14	0.00
6－6	1.90±1.29	1.36±0.89	2.13	0.04
7－7	1.94±0.93	1.54±1.14	2.10	0.04
8－8	1.77±1.63	2.07±1.28	－1.09	0.28
9－9	2.51±1.23	2.01±1.64	1.85	0.08
10－10	2.48±1.44	1.86±1.01	2.42	0.02

表2 不同范围中末端数字的估计长度比较

数字组	估计长度(cm)(0～100)	估计长度(cm)(0～1000)	$t(df=29)$	p
90－990	2.28±1.43	1.52±0.82	2.66	0.01
91－991	1.97±1.02	1.72±0.99	1.55	0.13
92－992	2.14±1.30	2.89±2.16	－2.30	0.03
93－993	1.93±1.06	1.75±0.89	0.82	0.42
94－994	1.93±1.60	2.43±1.70	－1.18	0.25
95－995	1.75±1.64	2.08±1.89	－1.43	0.16
96－996	1.45±0.73	1.25±0.86	1.21	0.24
97－997	1.19±0.84	1.50±1.27	－1.36	0.18
98－998	1.03±0.84	1.46±1.70	－1.38	0.18
99－999	0.49±0.49	0.76±1.01	－1.34	0.19

2.3.2 估计的表征模式

为探讨二年级儿童在0～100和0～1000数字范围下的表征模式差异，以及心理长度对表征结果的影响，以儿童估计值的中位数为因变量，以实际要求的估计值为自变量进行曲线拟合。结果显示儿童在0～100范围的估计中更符合线性表征模型。预测值残差分析结果表明线性模型显著好于对数模型，$t(29) = -6.85$，$p < 0.001$。在0～1000的数字估计中，儿童更符合线性表征，但两者拟合数值差别并不大。预测值残差结果也表明两种模型没有显著差异，$t(29) = -0.91$，$p > 0.05$。因此二年级儿童在0～1000数字范围的估计中存在对数与线性表征并存的现象(图1)。

为验证个体表征与总体表征结果的一致性，对每位儿童的估计结果进行回归分析。将30名儿童的 R^2_{lin} 与 R^2_{log} 进行 t 检验分析，结果表明0～100范围估计中线性模型拟合值显著好于对数拟合值，$R^2_{lin} = 0.88 > R^2_{log} = 0.80$；$t(29) = 5.48$，$p < 0.001$。在0～

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1000 数字估计中，线性拟合值与对数拟合值无显著差异，$R_{lin}^2 = 0.79 < R_{log}^2 = 0.80$; $t(29) = -0.30$，$p > 0.05$。这表明个体分析的结果与总体是一致的，也验证了总体分析的准确性。

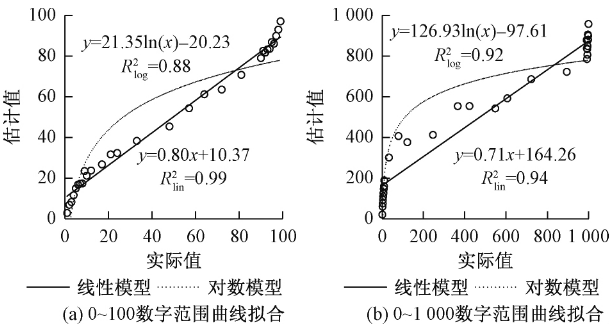

图 1　不同范围下的估计曲线拟合

2.3.3　估计的准确性

采用绝对误差百分比(percentage of absolute error，PAE)来考察儿童估计准确性。具体的计算公式为: PAE = |估计值 - 实际值|/数字范围。将每一范围分为低端、中端和末端三部分，分别计算各个部分的 PAE 值。结果显示在 0 ~ 100 范围的数字估计中，低、中、末端的 PAE 值分别为 10.93%、11.36% 和 11.25%。对 0 ~ 1000 数字范围的估计中，低、中、末端的 PAE 值分别为 12.64%、20.34% 和 16.81%。以 PAE 值为因变量，将数字所处位置段与数字范围进行 3 × 2 的两因素重复测量方差分析，结果表明数字所处位置段的主效应显著，$F(2,58) = 6.70$，$p < 0.001$，$\eta^2 = 0.19$; 数字范围主效应显著，$F(1,29) = 36.74$，$p < 0.001$，$\eta^2 = 0.56$，0 ~ 1000 数值范围误差大于 0 ~ 100 范围; 两者交互作用也十分显著，$F(2,58) = 10.66$，$p < 0.001$，$\eta^2 = 0.27$。简单效应分析表明儿童在 0 ~ 100 范围的估计中，三个位置段的估计误差没有显著差异，$F(2,28) = 0.12$，$p > 0.05$; 儿童对 0 ~ 1000 范围的三个位置段的估计中，误差存在显著差异，$F(2,28) = 16.11$，$p < 0.001$。配对比较发现，低端数字的估计误差与中端、末端数字均有差异，$p < 0.05$，而中端与末端数字的估计误差没有差异，$p > 0.05$。

实验一的结果表明二年级儿童对一半的低端数字和 7 个连续末端数字的估计存在心理长度和倒数心理长度。另外，儿童的表征模式从 0 ~ 100 范围的线性表征转变为 0 ~ 1000 范围的线性和对数表征并存。儿童将低端和末端的大部分数字都与固定长度对应起来，使其在大范围中高估小数、低估大数，从而更多地表现出对数表征。实验一的估计准确性结果并未出现中间比两端更精确的预期，反而是误差最大的范围段。那么在长度变化、范围相同时是否会出现与实验一类似的情况，心理长度和 0 ~ 1000 范围的数字估计表征又有怎样的关系? 对此，我们在实验二中进行了探究。

3　实验二: 不同长度估计中的心理长度及表征模式

3.1　实验目的

探讨当数字线长度分别为 10cm 与 18cm 时，二年级儿童对 0 ~ 1000 范围的数字估计是否存在心理长度，及其对表征模式的影响。

3.2　实验方法

3.2.1　被试

在某市小学二年级随机选出 30 名学生，男生 14 名，女生 16 名($M = 8.30$，$SD = 0.68$)。

3.2.2　材料

实验材料与实验一基本相同。不同之处有两点: 其一，实验二只选取了实验一中 0 ~ 1000 范围相同的数字。其二，实验二的每页印有 10cm 或 18cm 两种长度的线段，线段的左右两端均分别标有 0 和 1000。

3.2.3　程序

与实验一程序相同。

3.3　结果与分析

3.3.1　不同长度中两端数字的估计长度比较

为考察二年级儿童是否在实验二的条件下对低端数字的估计存在心理长度，将两种长度下低端数字(1 ~ 10)的实际估计长度(即从 0 到被试做出标记位置之间的长度)进行配对 t 检验。结果显示数字 1 ~ 5 和 7 的估计结果符合心理长度这一特点，而其它数字的估计结果具有显著差异。这说明对于低端数字 1 ~ 5 与 7，儿童倾向于将它们以固定的线段长度对应起来，即存在心理长度(表 3)。

另外，为了考查儿童对末端数字的估计是否采用了倒数心理长度策略，对末端 10 个数字的实际估计长度(即从被试做出标记位置到线段终点的长度)进行了 t 检验。结果显示末端有 4 组数字(999、998、996 和 993)在不同长度下的估计结果无显著差异，符合心理长度的预期，另外 6 组数字的估计结果有显著差异。可见儿童并未在末端估计中形成一致的趋势，因此无法肯定二年级儿童采用倒数心理长度策略进行估计。但由于部分数字的估计存在心理长度，所以不能排除这种策略的存在(表 4)。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 不同长度中低端数字的估计长度比较

数字组	估计长度(cm)(10cm 数字线)	估计长度(cm)(18cm 数字线)	$t(df=29)$	p
1-1	0.30±0.27	0.33±0.32	-0.60	0.56
2-2	0.73±1.21	0.74±1.52	0.04	0.97
3-3	0.93±0.71	0.95±1.02	-0.16	0.88
4-4	1.02±0.83	1.07±0.97	-0.31	0.76
5-5	1.23±1.21	1.67±3.24	-1.06	0.30
6-6	1.40±0.99	1.76±1.57	-2.22	0.03
7-7	1.44±1.26	2.29±3.40	-1.80	0.08
8-8	1.50±1.10	2.11±1.72	-2.99	0.01
9-9	1.66±1.35	2.32±2.37	-2.35	0.03
10-10	2.04±1.28	2.86±2.11	-2.42	0.02

表 4 不同长度中末端数字的估计长度比较

数字组	估计长度(cm)(10cm 数字线)	估计长度(cm)(18cm 数字线)	$t(df=29)$	p
990-990	1.93±1.22	3.29±2.09	-5.13	0.00
991-991	1.86±1.26	3.84±3.33	1.55	0.00
992-992	1.44±0.81	2.43±1.85	-2.30	0.00
993-993	1.27±1.32	2.86±2.42	0.82	0.13
994-994	1.45±0.86	3.16±2.98	-1.18	0.00
995-995	1.69±1.09	2.18±1.69	-1.43	0.02
996-996	1.92±1.88	2.06±1.43	1.21	0.48
997-997	1.42±1.16	2.49±2.57	-1.36	0.01
998-998	1.61±1.47	1.75±1.99	-1.38	0.64
999-999	0.92±1.30	1.42±2.32	-1.34	0.16

3.3.2 估计的表征模式

为探讨二年级儿童在不同线段长度下估计表征模式是否存在差异，以及心理长度对表征模式的影响，以儿童估计值的中位数为因变量，以实际要求的估计值为自变量进行曲线拟合。结果显示，儿童在 10cm 表示的 0~1000 范围数字线估计中线性表征拟合度好于对数表征，但预测值残差检验表明两者的拟合程度没有显著差异，$t(29)=-1.79$，$p>0.05$，即表现为两种表征方式并存。在 18cm 数字线的估计中，儿童更倾向于线性表征。同时预测值残差检验结果表明两种表征模式的拟合程度具有显著差异，$t(29)=-4.97$，$p<0.01$(图 2)。

将 10cm 数字线估计中所有儿童的 R^2_{lin} 与 R^2_{log} 进行 t 检验分析，结果发现两种表征拟合结果没有显著差异，$R^2_{\text{lin}}=0.83>R^2_{\text{log}}=0.80$；$t(29)=1.21$，$p>0.05$。在 18cm 数字线估计中，将所有儿童的 R^2_{lin} 与 R^2_{log} 进行 t 检验分析发现，线性表征的拟合度显著好于对数表征，$R^2_{\text{lin}}=0.86>R^2_{\text{log}}=0.78$；$t(29)=2.54$，

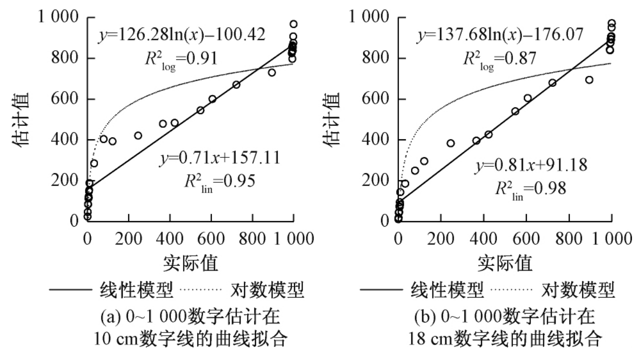

图 2 不同长度下的估计曲线拟合

$p<0.05$。因此，个体分析结果与总体一致，更进一步验证了总体分析结果。

3.3.3 估计的准确性

分别将两种不同长度的线段平均分为低、中、末端三段，并计算各段的平均绝对误差百分比。结果表明在 10cm 长的线段中，低端、中端和末端的 PAE 值分别为 11.71%、17.78% 和 15.96%。在 18cm 线段的估计中，低端、中端和末端的 PAE 值分别为 8.40%、15.15% 和 13.63%。两因素重复测量方差分析表明数字线长度主效应显著，$F(1,29)=35.46$，$p<0.001$，$\eta^2=0.55$，10cm 长的数字线估计误差更大。数字所处位置段的主效应显著，$F(2,58)=17.56$，$p<0.001$，$\eta^2=0.34$。配对比较也发现低端数字的估计误差与中端、末端数字均有差异，$ps<0.001$，而中端与末端数字无明显差别，$p>0.05$。二者交互作用不显著，$F(2,28)=1.75$，$p>0.05$。

从实验二的结果来看，二年级儿童对低端数字 1~5、7 和末端 4 个数字(999、998、995、993)的估计中存在心理长度和倒数心理长度。儿童在 10cm 长数字线的估计表征方式为对数和线性表征并存，而在 18cm 长的估计中线性表征已占绝对优势。这表明儿童在不同长度的 0~1000 范围数字估计中发生了表征变化。实验二中两种长度的数字线的估计准确性与实验一 0~1000 范围的数字线估计结果一致，均是中端和末端的误差显著大于低端。

4 讨论

4.1 心理长度的范围及原因

实验一表明二年级儿童对两端数字的估计中有一半以上的数字存在心理长度或倒数心理长度，对 2~4、8~9 和 93(993)~99(999) 这些数字的估计表现出一致的趋势。实验二结果发现儿童对 1~5、7 和 999、998、996 和 993 这些数字的估计存在心理

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

长度。这与张帆等人(2015) 利用 PN 任务对二年级儿童心理长度的探究结果是比较一致的。他们发现二年级儿童对数字 1 ~4 的估计出现了心理长度。随着年级的增长,心理长度的范围不断减小。然而,本研究与他人研究中得到的一年级儿童心理长度的结果有所不同。莫雷等人(2010) 发现一年级儿童在两个实验中对低端数字的估计均存在稳定的心理长度,但对末端数字未表现出一致的趋势,实验一的数字 90(990) ~ 97(997) 和实验二的 991 ~993 三个数字表现出心理长度。本研究中二年级儿童对低端数字的估计中心理长度范围小于莫雷等人(2010) 的一年级儿童。二年级在两个实验的低端估计中心理长度的范围也有差别,表明心理长度具有不稳定性。一、二年级出现这种差异可能与个体的发展有关,随着年龄的增长,儿童关于数的知识更加丰富,因此他们会逐渐放弃数数策略,心理长度这一特点也会逐渐消失,处于动态发展中(van Viersen et al. ,2013; 张帆 等,2015) 。

二年级儿童对实验一最末端连续七组和实验二中最末端连续两组数字的估计时存在倒数心理长度,而莫雷等人(2010) 中一年级在最末端的数字(例如 999、998) 却无此现象。因此,二年级儿童对末端数字的估计存在一定的心理长度趋势,但比预期的心理长度范围小。两个年级的差异可能与参照点的使用有关。二年级儿童在数字线估计中能以末端点为参照点,采用倒数心理长度策略估计目标数字的位置。但一年级还未能很好地使用参照点,故上述策略的应用较少出现。White 和 Szücs(2012) 也发现一至三年级的儿童在进行数字线估计时,二、三年级儿童都能利用外部或内部心理的参照点对两端数字进行估计,但一年级儿童并没有使用这种策略。

为何二年级儿童对部分低端和末端数字仍存在心理长度? 可能有两个原因。首先,这是由于在数形结合的早期,儿童对低端数字使用叠加数数策略引起的,反映了儿童对数的认识处在等距水平(莫雷 等,2010) 。周广东等人(2009) 发现尽管在估计过程中不让儿童用尺子量,但他们仍本能地用手一段一段去量,好像数数一样。莫雷等人(2010) 进一步证明一年级儿童确实将“1”与某一固定的线段长度对应起来(例如 0. 37) 。他们对低端数字 2 –9 估计时,基本上是将“1”对应的线段长度进行叠加的结果。张帆等人(2015) 也考察了儿童心理长度对数字线表征的影响,验证了 7 ~9 岁儿童数数策略的使用确实会在一定程度上形成心理长度。具体表现在随着儿童年龄的增长,他们会逐渐放弃数数策略,心理长度的范围会逐渐缩小。相应地,数字线表征模式也从指数表征发展为线性表征。本研究二年级儿童对部分低端数字估计时可能也使用叠加数数的策略,呈现出将“1”与固定线段对应(例如 0. 35) 的相似现象。因此,在一定程度上存在心理长度。

其次,从儿童认知发展水平的角度来看,守恒概念的发展水平可能会对儿童心理长度的存在有一定的影响。尽管同一数字在不同范围或不同长度数字线中对应不同的长度,但二年级儿童在对部分数字进行估计时,仍在数字线上标记相同的长度,即对部分数字的估计存在心理长度。这可能是二年级儿童在数字线估计任务中尚未很好地掌握守恒概念,对于一定线段长度代表的数量进行了固化,无法很好地对长度的知觉进行抑制(Houdé & Guichart,2001; 付馨晨,李晓东,2017; 李晓东,黄艳秋,2007; 李晓东 等,2012) 。值得一提的是,守恒概念的发展水平对儿童心理长度的影响只是一种推测,还需后续实验进行证明。

综合以上分析可以得出,二年级儿童对大部分低端和末端数字的估计表现出心理长度,其范围与莫雷等人(2010) 一年级的儿童相比有所减小,且具有不稳定性。叠加数数和倒数策略表明二年级儿童开始更多地使用参照点进行估计。

4. 2　心理长度对表征模式的影响

二年级儿童对 0 ~100 数字范围的估计为线性表征,当范围扩大到 0 ~1000 时表征方式转变为对数与线性表征并存。当数字线长度从 10cm 增加为 18cm 时,儿童的表征方式从两者混合转变为线性表征。这种转变与以往研究的一年级儿童相似,范围的变化使一年级儿童的表征从线性转为对数表征,长度的变化使其从对数表征发展为两者混合的表征方式(莫雷 等,2010) 。莫雷等人认为是心理长度影响了一年级儿童的表征转变,由于儿童未能根据范围或长度的变化做出适应性调整,认为同一个数字在不同条件下仍然对应相同的长度。这将导致个体高估低端数字,低估末端数字,使更多的个体表现为对数表征。本研究中儿童在两个实验中均对一半左右数字的估计存在心理长度,同时儿童在范围或长度变化时也发生了表征的转变。因此,心理长度的存在对表征模式的转变有一定的影响作用。具体来说,二年级儿童在每个实验中对两端大部分数字的估计长度没有差异,这些数字的估计误差足以改变

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

儿童的表征方式。研究表明，改变数字线估计的表征模式需要达到一定数字范围或包含一些关键值才能实现，而这一范围超过了 1 ~ 10(Ebersbach et al. ，2008; Opfer & Siegler，2007; 张帆 等，2015) 。综上所述，二年级儿童对部分数字的估计存在心理长度，这对不同范围或不同长度的估计表征模式转变有一定影响。

另外，在对 0 ~ 1000 范围数字线估计时，二年级儿童均比莫雷等人(2010) 中的一年级儿童更倾向于线性表征。二年级在 0 ~ 1000 数字线中对数表征已经不占绝对优势，这与一些研究结果一致(胡林成，熊哲宏，2018; 宋广文 等，2013; 吴晓超，2017) 。相反，一年级儿童在 0 ~ 1000 的数字估计中仍是对数表征占优势或是两者混合，这可能与心理长度的范围减小有关。张帆等人(2015) 发现随着儿童年龄的增大，心理长度的范围减小，低估数字的范围也减少，从而在 PN 任务中由指数表征转变为线性表征。本研究二年级儿童心理长度的范围比一年级小，线性表征模式逐渐占优势地位。这可能是随着儿童发展水平的提高，叠加数数的策略使用有所减少，从而导致两个年级儿童的表征模式不一致。同时，这也体现了策略与表征模式的发展具有一致性。

刘国芳和辛自强(2012) 认为各种表征模型争论的背后，只是为了揭示儿童对于不同数字估计准确性的问题，研究者应该更关注的是揭示其背后的心理加工方式或策略使用规律。本研究通过分析认为除了揭示其背后的规律，还应将估计策略与表征模式联系起来。我们结合了结构主义和信息加工的观点，来探讨加工策略对儿童宏观上表征模式的影响，这有助于全面细致地分析儿童的估计特点。本研究结果表明二年级儿童对 0 ~ 1000 范围的数字线估计表征方式为线性表征或线性与对数表征并存，对数表征已不占据优势地位。心理长度对儿童表征的转变有一定的影响作用，其范围的减小使二年级对 0 ~ 1000 数字范围的表征方式比一年级更倾向于线性表征。

4.3 估计准确性

实验一发现随着数字范围扩大，儿童的估计准确性降低。在 0 ~ 100 范围段的低、中、末端三部分数字估计误差没有达到统计学上的显著差异。这可能与二年级儿童对 100 以内的数字掌握与熟悉程度较高有关，因而对各部分数字的估计能力均较为准确。实验二发现随着数字线长度的减小，0 ~ 1000 数字范围的估计准确性也逐渐降低。另外，两个实验的儿童对 0 ~ 1000 范围的数字进行估计时，低端数字估计的绝对误差百分比均显著小于中端和末端。儿童对 0 ~ 1000 范围的低端数字估计准确性最高，这表明他们对这一范围三部分数字的掌握程度存在不均衡的情况。

随着数字线范围的增大和长度的减小，二年级儿童的总体估计准确性下降。其本质可能也是心理长度影响了儿童的估计表征方式，从而影响了儿童的估计准确性。准确性的变化趋势与以往的研究是一致的(莫雷 等，2010; 潘茂明，2011) 。然而，不同数字段表现出的估计误差特点却与心理长度不符。对于一年级儿童来说，两端数字的估计由于叠加固定长度使得估计结果不准确，而中间数字容易提醒个体估计策略的失当，从而放弃使用这一策略(莫雷 等，2010) 。也就是说，使用数数策略和倒数心理长度策略进行估计时，可能导致了一年级儿童在对中间数字的估计显示出比两端更高的准确性。然而，本研究发现二年级儿童对低端数字的估计准确性更大，这可能与心理长度的范围减小有关。随着二年级儿童认知发展水平的提高，使其更少地通过叠加固定长度进行估计，两端数字的准确性有所提高，因此不再呈现出预期的特点。

总的来说，本研究结果揭示了心理长度存在于二年级儿童的数字线估计中，并在一定程度上影响了表征方式的转变。但二年级儿童的心理长度的范围比一年级儿童的范围小，这可能影响了数字线不同部分估计准确性的发展变化。未来可从守恒概念等其它角度进一步研究心理长度的本质原因，对表征转变提供更加深层的解释。

5 结论

通过对两个实验的总结，可以得出以下结论:

(1) 二年级儿童对大部分低端和末端数字的估计存在心理长度，心理长度的范围较一年级有所减小，具有不稳定性。

(2) 心理长度在一定程度上影响了二年级儿童的估计表征方式。随着数字范围的增大或长度的减小，儿童的表征方式更倾向于对数表征，这种不精确的表征方式可能与数数策略的使用和守恒概念的发展有关。

(3) 随着数字范围的增大或数字线长度的减小，二年级儿童的估计准确性降低。

致谢: 本实验数据收集得到孙宛萍的大力协助，

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在此表示衷心感谢!

参考文献:

Barth, H. C., & Paladino, A. M. (2011). The development of numerical estimation: Evidence against a representational shift. *Developmental Science*, *14*(1), 125 - 135.

Case, R., & Okamoto Y. (1996). The role of central conceptual structures in the development of children's thought. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, *61*(1 - 2), v - 265.

Dehaene, S. (1997). *The number sense: How the mind creates mathematics*. New York: Oxford University Press.

Ebersbach, M., Luwel, K., Frick, A., Onghena, P., & Verschaffel, L. (2008). The relationship between the shape of the mental number line and familiarity with numbers in 5-to 9-year old children: Evidence for a segmented linear model. *Journal of Experimental Child Psychology*, *99*(1), 1 - 17.

Houdé, O., & Guichart, E. (2001). Negative priming effect after inhibition of number/length interference in a piaget - like task. *Developmental Science*, *4*(1), 119 - 123.

Siegler, R. S. (1996). *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. New York: Oxford University Press.

Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science*, *14*(3), 237 - 243.

Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development*, *75*(2), 428 - 444.

Opfer, J. E., & Siegler, R. S. (2007). Representational change and children's numerical estimation. *Cognitive Psychology*, *55*(3), 169 - 195.

van Viersen, S., Slot, E. M., Kroesbergen, E. H., Van't Noordende, J. E., & Leseman, P. P. M. (2013). The added value of eye - tracking in diagnosing dyscalculia: A case study. *Frontiers in Psychology*, *4*(679), 1 - 13.

White, S. L., & Szücs, D. (2012). Representational change and strategy use in children's number line estimation during the first years of primary school. *Behavioral and Brain Functions*, *8*(1), 1 - 12.

陈英和. (2015). 儿童数量表征与数概念的发展特点及机制. *心理发展与教育*, *31*(1), 21 - 28.

付馨晨, 李晓东. (2017). 认知抑制——问题解决研究的新视角. *心理科学*, *40*(1), 58 - 63.

胡林成, 熊哲宏. (2017). 数字表征的表象赋义效应: 来自数字线估计任务的证据. *心理科学*, *40*(2), 303 - 309.

胡林成, 熊哲宏. (2018). 时间赋义对数字空间表征的影响: 来自数字线估计任务的证据. *心理科学*, *41*(1), 58 - 63.

李晓东, 黄艳秋. (2007). 类皮亚杰数量守恒任务中的负启动效应. *应用心理学*, *13*(2), 149 - 153.

李晓东, 徐雯, 李娜燕. (2012). 潜逻辑运算类皮亚杰守恒任务中的负启动效应. *心理科学*, *35*(2), 358 - 363.

刘国芳, 辛自强. (2012). 数字线估计研究"模型"背后的策略. *心理研究*, *5*(2), 27 - 33.

柳笛, 杨纯. (2017). 儿童数量表征研究评述. *华东师范大学学报(教育科学版)*, *35*(5), 138 - 163.

莫雷, 周广东, 温红博. (2010). 儿童数字估计中的心理长度. *心理学报*, *42*(5), 569 - 580.

潘茂明. (2011). *6 ~ 7 岁儿童数字估计能力发展的追踪研究*(硕士学位论文). 首都师范大学.

宋广文, 李晓芹, 朱振菁. (2013). 小学儿童数字线估计的心理表征模式. *数学教育学报*, *22*(5), 52 - 56.

吴晓超. (2017). 儿童数量表征能力发展的追踪研究. *心理研究*, *10*(6), 37 - 43.

徐华, 陈英和. (2012). 儿童数字线估计研究的述评与前瞻. *心理研究*, *5*(5), 46 - 50.

周广东, 莫雷, 温红博. (2009). 儿童数字估计的表征模式与发展. *心理发展与教育*, *25*(4), 21 - 29.

张丽, 卢彩芳, 杨新荣. (2014). 3 ~ 6 年级儿童整数数量表征与分数数量表征的关系. *心理发展与教育*, *30*(1), 1 - 8.

张帆, 赖颖慧, 陈英和. (2015). 儿童数字线表征的发展——心理长度的影响. *心理发展与教育*, *31*(2), 149 - 156.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

The Influence of Mental Distance on the Representation in Number Line Estimation for Second-grade Children

CAO Bihua ZENG Chunyun LIAO Hong LI Fuhong
(*School of Psychology, Jiangxi Normal University, Nanchang* 330022)

Abstract: Two experiments explored why second-grade children rely on different numerical representations in two numerical ranges from the perspective of mental distance. In experiment 1, 30 second graders were asked to estimate the locations of numbers on 10cm number lines with the contexts of 0 ~ 100 and 0 ~ 1000. In experiment 2, another 30 children from the second grade were asked to estimate the placements in the context of 0 ~ 1000 under the line's lengths of 10cm and 18cm. The results showed that mental distance did exist in both experiments, but second graders' ranges of mental distance were smaller than the first graders. With the increasing of numerical range or the decreasing of line's length, children's representation changed from linear representation to logarithmic representation. Taken together, the imprecise representation might be related to the strategy of mental distance, which affected children's representation partly.

Key words: second-grade children; mental distance; linear representation; logarithmic representation

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net