儿童视觉搜索的速度-正确率平衡

刘彤冉[1], 施建农[1,2]
(1.中国科学院心理研究所心理健康重点实验室,北京 100101;
2.首都师范大学学习与认知实验室,北京 100089)

【摘要】 目的:本研究采用新的统计方法处理速度-正确率平衡问题。方法:提出了‘真实能力’和‘使用策略’两个指标,而不采用传统的根据正确率的指标删除某些被试后再做统计的方法。结果:在儿童视觉搜索能力的发展中,对字母和汉字的真实搜索能力的发展存在这样的规律:搜索字母的真实能力从 8 到 9 岁有显著的提高,搜索汉字则从 10 到 11 岁有显著的提高,对数字的搜索则从 7 到 12 岁都有稳步的提高;而在搜索策略的使用方面:对于字母搜索的策略的显著提高出现在 9 到 10 岁的过渡,对数字搜索的策略在 11 到 12 岁有非常显著的提高。结论:新的统计方法支持了视觉搜索是以平行加工为主,部分存在序列加工的理论,而且其中的序列加工只和被试的策略有关,而与其真实能力无关。

【关键词】 速度-正确率平衡; 视觉搜索; 儿童; 认知能力

中图分类号: B844.1 文献标识码: A 文章编号: 1005-3611(2007)04-0359-04

Speed-accuracy Trade-off Effect on Children's Visual Search

LIU Tong-ran, SHI Jian-nong
KLMH, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

【Abstract】 Objective: We created a new approach to study the effect of speed-accuracy trade-off phenomenon which made up some short comings of the classical approach. Methods: Two concepts of true ability and applying strategy have been used to solve the problem of children's visual search ability. Results: In the development of children's true ability of visual search, children got improvement during 8 to 9 years old on the search for alphabets, and the improvement for Chinese characters was during 10 to 11 years old. In the development of children's applying strategy, there were two important periods: from 9 to 10 years old on alphabet searching and from 11 to 12 years old on number searching. Conclusion: The new approach supports that visual search is mainly a parallel process, but a partly serial process, and the latter has a very close relationship with the application of strategy.

【Key words】 The Speed-Accuracy Trade-off Phenomenon; Visual search; Children; Cognitive ability

被试在完成认知任务时, 他们的反应速度和正确率受到很多因素的干扰,如觉醒水平,采用策略,年龄和对刺激本身的感知等, 这些较难控制的因素和状况从 19 世纪以来就一直困扰着实验心理学家们[1]。在这些复杂的情况中存在一种现象:被试在进行认知任务时,会采取不同的反应策略,有的被试只求快速做出反应而使正确率降低, 而有的被试则为了追求高正确率而降低反应速度; 这种强调速度和正确率之间关系的状况,就是速度-正确率的平衡现象(speed-accuracy trade-off phenomenon, SAT)[2]。目前也有少数学者试图通过模型来解释这种现象[3-7]。本研究试图通过采用一种新的统计方法来整合反应时和正确率之间的关系, 并对速度-正确率平衡现象给予新的解释。

【基金项目】 国家自然科学基金项目(30670716),中国科学院知识创新工程重要方向性项目(KSCXZ-SW-211)和北京市重点实验室-首都师范大学《学习与认知实验室》资助
通讯作者:施建农

在以前的计算、统计中,速度和正确率是分开考虑的,即反应时和正确率两个指标是单独计算的,之后根据实验的需要而采用相关的数据。但是我们清楚的知道: 反应时和正确率是同一个反应过程中同时存在的两个变量, 而且两者之间又有着相当紧密和微妙的联系,因此,我们不能再生硬的将两者分开考虑,但是两者并不属于相同范畴,不可直接的进行加减运算; 这时统计学中的 Z 分数就可以派上用场,通过 Z 分数转化,不但原始数据的性质不会改变,而且可以对两组原始范畴不匹配的数据在 Z 分数转化后可以作加减运算。对整合后的数据意义的分析:经 Z 分数转化后的反应时,数值越大,表明行为反应越差,反之则越好;而对于经 Z 分数转化的正确率,数值越大,表明行为反应越好,反之则越差。这样就分为四类反应类型:既快又准的行为反应;不但慢而且犯错多的行为反应; 只重视正确率而不顾反应速度的行为反应; 只注重速度而不顾正确率的行为反应。我们可以进一步思考是否可以找出更适

当的指标来说明问题，当仔细考虑后面两类行为反应时，只重视正确率而不顾反应速度的反应类型明显是因为采取了策略（即增加反应时）而提高正确率，反应时和正确率两项指标都偏大，很明显这类的反应是被试采取了较多的策略，而其真实能力可能未必像其正确率所反应的效果；而只重视速度而不顾正确的反应类型则明显降低了正确率而追求速度使得两项指标都偏小，这类反应类型则是采用了较少的策略，而其正确率也是较低的；因此当把原始分数转换成 Z 分数时，就可以重新整合反应时和正确率之间的关系，而将其转化成为更客观的指标：（正确率 Z 分数- 反应时 Z 分数）反映的是被试的真实能力(true ability, TA)，而（正确率 Z 分数+反应时 Z 分数）则反映了被试所采用的策略的成分(Appling strategy, AS)。

我们将通过具体的实验研究来证明这种新的统计方法的科学性和正确性。为了考察和速度、正确率有关的内容，我们通过实验的方法来研究视觉搜索能力，选择此项实验任务的主要原因：一是这项任务中包括速度、正确率相应的指标，有利于验证我们提出的新的统计方法；二是视觉搜索能力是人类认知领域最基本、最重要的能力之一，但目前对它的研究还存在一定的争议，因此我们希望能用我们这种更科学的统计方法来提供新的证据和支持，这将有利于加深人们对这一重要并且基本的认知能力的认识，同时这也为一些更高级的认知能力（如工作记忆，推理和问题解决等）的研究奠定了基础。

1　对象与方法

1.1　被试

被试是来自北京某小学 7-12 岁的儿童(每一年龄组的被试的年龄都是平均年龄的前后三个月)，共分成六组，根据不同的统计方法，被试的数量分布见表 1。

1.2　使用的仪器和刺激材料

PC PIII500，17 寸 85Hz 显示器若干台；视觉搜索的刺激材料为汉字、英语字母和阿拉伯数字。

1.3　实验程序

实验刺激的程序有六种，见表 2。

实验采取每人一台计算机独立操作的方法，具体的刺激呈现过程是：被试注意屏幕后，会在出现“嘀”的一声响后，在屏幕的中间会出现两行符号(可能是汉字、字母或数字)，第一行只有一个符号，第二行有四个符号；实验的要求是被试在一组搜索刺激(下面的四个符号)中判断其中是否有目标刺激(上面的那一个符号)，并作“有”或“无”的按键反应，按键的左右手效应已经在实验设计中加以平衡。

表 1　在两种统计方法中 7 到 12 岁儿童的分布情况 (单位：人)

	“反应时-正确率”方法			“真实能力-使用策略”方法		
	男	女	总和	男	女	总和
7 岁	9	7	16	16	12	28
8 岁	13	15	28	18	17	35
9 岁	19	16	35	20	16	36
10 岁	19	23	42	22	25	47
11 岁	21	18	39	23	18	41
12 岁	19	18	37	20	24	44

表 2　实验刺激的呈现顺序

顺序	具体内容					
1	数字	字母	汉字	汉字	字母	数字
2	数字	汉字	字母	字母	汉字	数字
3	字母	汉字	数字	数字	汉字	字母
4	字母	数字	汉字	汉字	数字	字母
5	汉字	字母	数字	数字	字母	汉字
6	汉字	数字	字母	字母	数字	汉字

2　结　　果

2.1　反应时- 正确率的方法研究得出的 7 到 12 岁儿童视觉搜索能力

如表 3 所示，从 7 岁到 12 岁儿童的视觉搜索能力的反应时随年龄的增长而逐渐缩短，在年龄这个组间因素中出现显著的差异，$F(5,191)=42.442$, $P<0.001$；在组内的因素中，被试的“有无判断”的主效应显著，$F(1,191)=416.609$, $P<0.001$；刺激类型和年龄之间存在显著的交互作用，$F(10,382)=2.793$, $P<0.01$；“有无判断”和年龄之间有显著的交互作用，$F(5,191)=15.085$, $P<0.001$。而对被试成绩的正确率进行考察时发现：在年龄这个组间因素上不存在显著的主效应；在“有无判断”上呈现显著的主效应，$F(1,191)=69.827$, $P<0.001$。

表 3　7-12 岁儿童视觉搜索的反应时和正确率($\bar{x}\pm s$)

	字母				汉字				数字			
	有		无		有		无		有		无	
	反应时	正确率	反应时	正确率	反应时	正确率	反应时	正确率	反应时	正确率	反应时	正确率
7 岁	2116±544	0.97±0.02	2846±1046	0.98±0.02	1993±552	0.95±0.03	2466±746	0.98±0.03	2119±555	0.95±0.03	2795±787	0.97±0.03
8 岁	1804±399	0.96±0.03	2358±644	0.98±0.03	1861±522	0.96±0.04	2539±1055	0.98±0.02	1861±627	0.96±0.03	2414±760	0.98±0.03
9 岁	1515±294	0.96±0.04	2050±614	0.98±0.02	1553±403	0.95±0.04	1988±512	0.97±0.03	1556±336	0.96±0.04	1972±533	0.98±0.03
10 岁	1350±277	0.96±0.04	1665±403	0.98±0.03	1331±237	0.97±0.03	1657±407	0.98±0.02	1321±263	0.97±0.03	1641±367	0.98±0.02
11 岁	1116±232	0.97±0.04	1367±387	0.98±0.03	1121±210	0.96±0.03	1356±338	0.99±0.02	1141±258	0.97±0.03	1374±390	0.98±0.03
12 岁	1054±174	0.96±0.03	1219±273	0.98±0.03	1046±189	0.97±0.03	1204±279	0.98±0.03	1047±166	0.96±0.04	1204±229	0.97±0.03

表 4 7–12 岁儿童视觉搜索的真实能力和使用策略($\bar{x}\pm s$)

	字母				汉字				数字			
	有		无		有		无		有		无	
	真实能力	使用策略	真实能力	使用策略	真实能力	使用策略	真实能力	使用策略	真实能力	使用策略	真实能力	使用策略
7 岁	-2.00 ± 3.13	0.73 ± 1.81	-1.75 ± 2.33	0.88 ± 2.28	-1.65 ± 1.79	0.78 ± 2.01	-1.37 ± 1.69	0.60 ± 1.54	-1.93 ± 2.87	0.79 ± 2.80	-1.76 ± 2.48	1.10 ± 1.80
8 岁	-0.67 ± 1.40	0.43 ± 1.16	-0.81 ± 1.50	0.57 ± 1.22	-1.01 ± 1.67	0.45 ± 2.02	-0.98 ± 1.69	0.84 ± 1.89	-0.71 ± 1.66	0.55 ± 1.55	-0.76 ± 1.46	0.51 ± 1.92
9 岁	0.07 ± 0.80	0.13 ± 0.73	-0.01 ± 0.90	0.44 ± 0.77	-0.20 ± 0.95	0.31 ± 1.14	-0.14 ± 0.84	0.31 ± 0.75	-0.05 ± 0.84	0.26 ± 0.82	0.00 ± 0.83	0.35 ± 0.73
10 岁	0.06 ± 1.6	-0.19 ± 0.98	0.10 ± 1.75	-0.29 ± 1.12	0.22 ± 1.41	-0.10 ± 1.11	0.10 ± 1.69	-0.24 ± 1.53	0.25 ± 1.47	-0.19 ± 1.23	0.19 ± 1.43	-0.22 ± 1.16
11 岁	0.89 ± 0.60	-0.41 ± 0.72	0.74 ± 0.77	-0.56 ± 0.70	0.86 ± 0.57	-0.54 ± 0.71	0.93 ± 0.53	-0.35 ± 0.55	0.82 ± 0.63	-0.32 ± 0.58	0.82 ± 0.59	-0.40 ± 0.61
12 岁	0.72 ± 0.75	-0.88 ± 0.99	0.97 ± 0.51	-0.81 ± 0.74	1.07 ± 0.59	-0.75 ± 0.77	0.95 ± 0.56	-0.80 ± 0.88	0.74 ± 0.67	-0.78 ± 0.77	0.85 ± 0.60	-0.87 ± 0.64

2.2 真实能力-使用策略的方法研究得出的 7 到 12 岁儿童视觉搜索能力

如表 4 所示，在真实能力方面，年龄的主效应显著，$F(5,225)=24.250$, $P<0.001$；刺激类型和年龄的交互作用显著，$F(10,450)=1.953$, $P<0.05$。在使用策略方面，组间因素年龄的主效应显著，$F(5,225)=11.813$, $P<0.001$；组内的因素中，刺激类型、“有无判断”和年龄之间存在显著的交互作用，$F(10,450)=1.979$, $P<0.05$。

2.3 7 到 12 岁儿童真实能力和使用策略发展规律

儿童视觉搜索的真实能力发展随着年龄的增长呈现显著的变化，对字母搜索的真实能力的方差分析为 $F(5,225)=19.586$, $P<0.001$；对汉字搜索的真实能力的方差分析为 $F(5,225)=26.297$, $P<0.001$；对数字搜索的真实能力的方差分析为 $F(5,225)=10.096$, $P<0.001$。而且，8 岁和 9 岁儿童在字母视觉搜索的真实能力上存在显著的差异，$P<0.05$；10 岁到 11 岁在汉字搜索的真实能力上有显著的提高，$P<0.05$。

在视觉搜索中，当有使用策略参与时，两种加工方式都会起作用，这体现在“有”判断和“无”判断上的差异；随着年龄的发展，对字母搜索时使用策略的方差分析显示：在“有”判断上，$F(10,450)=10.755$, $P<0.001$；在“无”的判断上，$F(10,450)=12.237$, $P<0.001$。对汉字搜索时使用策略的方差分析显示：在“有”判断上，$F(10,450)=7.320$, $P<0.001$；在“无”的判断上，$F=9.317$, $P<0.001$。对数字搜索时使用策略的方差分析显示：在“有”判断上，$F(10,450)=6.624$, $P<0.001$；在“无”的判断上，$F(10,450)=12.317$, $P<0.001$。而且，9 到 10 岁时在字母搜索中所使用的策略有显著的发展，$P<0.05$；在数字搜索中，使用策略的非常显著的提高出现在 11 岁到 12 岁的过渡，$P<0.01$。

3 讨 论

我们在研究儿童视觉搜索能力发展的同时通过采用一种新的研究方法来试图解释速度-正确率平衡现象，并提出了两个指标：真实能力和使用策略。对于“有无判断”，在传统的统计中存在显著的主效应或和其他因素存在交互作用，而在新的统计方法中，“有无判断”只和使用策略与否有关系；这就又回到视觉搜索研究领域内的基本问题：视觉是平行加工的还是序列加工的？Treisman 和 Gelade 提出“特征整合理论”(Feature Integration Theory, FIT)来支持视觉的序列加工[8]，但他们所提出的理论假设是在目标刺激和背景刺激之间有较大的，如颜色、形状上的差异，由此可见他们的证据并不能充分地解释这个问题；甚至他们的理论也可以得到平行加工的实验设计的支持[9-10]，Herd 和 O'Reilly 建立一个模型说明视觉搜索是平行加工的，但有时部分采用序列加工的策略；他们发现：对于简单的搜索只需要注意一次，而对于非常复杂的搜索可能要每个刺激项目都要注意，然而对一些有复杂性质目标的搜索，总的来说还是平行加工的[11]。在我们的研究中若采用传统的统计方法：“有无判断”有显著的主效应，被试做“有”的判断的反应时要显著短于做“无”的判断，虽然如此“有无判断”仍与一些其他的因素(如刺激类型等)存在交互作用，也不能完全说明它能够完全支持序列加工，而是说明视觉加工中肯定还存在平行加工，只是由于统计方法上的不足，才没有将这一点清晰的表现出来而已；而当我们仔细考察新的统计方法时，就给 Herd 等人的研究提供了一个支持，被试的“有无判断”在各种条件下都没有显著的主效应，这是对确定视觉搜索是平行加工的这个基本性质的实验支持。从 7 到 12 岁儿童的发展研究中的使用策略这个指标和刺激类型、年龄有非常显著的交互作用，这个结果表明，视觉搜索只有策略参与时才体现出序列加工，而真实能力的指标没有出现任何“有无判断”的显著差异，由此可见，视觉加工是采用平行的还是序列的只和被试的策略有关，而与其真实能力无关，这两个指标就成功地将两种加工区分开来。

而从视觉搜索能力的发展角度，新的统计方法得出：不论是在真实能力指标上还是在使用策略的指标上，年龄的主效应都非常显著，这个结果与前人的研究相一致[12]，这说明儿童的视觉搜索能力随年龄的增长发生显著的增长和提高，而且这一现象也与许多其它的认知能力的发展规律相一致。通过新

的统计方法，将儿童真实能力的发展和使用策略能力的发展区分开来进行讨论分析，字母和汉字真实的搜索能力存在不同的发展特点：对字母的搜索的显著提高出现在 8 到 9 岁的过渡，汉字出现在 10 到 11 岁的过渡，这可能与中国的语文教育的方法有关，比较有趣的实验结果是策略出现的年龄段，对于字母搜索的策略的显著提高出现在 9 到 10 岁的过渡，对数字搜索的策略在 11 到 12 岁有非常显著的提高；通过新统计方法分离出来的使用策略的成绩与前人的研究相似：Geary 认为儿童使用策略与否与问题的难易程度有关[13]，对于本研究中儿童对字母的使用策略从 9 岁到 10 岁的显著提高可能与汉语拼音、汉语字形和英文等多种系统的复杂作用而导致的，使得儿童在这个时期面对多种语言系统而需要采取策略加以区分和相互融合；而对于数字的使用策略在 11 岁到 12 岁的突飞猛进的提高可能归因于小学数学教育在这个时期正好是要求儿童解决应用问题的阶段，这种涉及到实际问题的内容赋予了数字更加复杂的含义，因而迫使儿童在面对数字时需要采取更多的策略来理解其中的各种关系。这个结果也与 Maboott 和 Bisanz 的一个研究结果相近：他们得出儿童在数学问题中的较复杂问题时使用的策略从 4 年级到 6 年级有 67%到 88%的显著增长[14]。但对于视觉搜索是否像工作记忆，或问题解决那样可以在人类的认知能力有较大的载荷还需要进一步的研究和验证。

参 考 文 献

1 Lange L. Neuere Experimente über den Vorgang der cinfachen Reaction auf Sinneseindrücke [Newer experiments about the process of the simple reaction to sensory impressions], 1888

2 Kail R. Sources of age differences in speed of processing. Child Development, 1986, 57: 969- 987

3 Grabner RH, Fink A, et al. Intelligence and working memory systems: Evidence of neural efficiency in alpha band ERD. Cognitive Brain Research, 2004, 20: 212- 225

4 Luce RD. Response times: their role in inferring elementary mental organization. New York: Oxford University Press, 1986

5 Ratcliff R. Theoretical interpretations of the speed and accuracy of positive and negative responses. Psychological Review, 1985, 92: 212- 225

6 Ratcliff R. Continuous versus discrete information processing: Modeling accumulation of partial information. Psychological Review, 1988, 95: 238- 255

7 Ratcliff R, van Zandt T, McKoon G. Connectionist and diffusion models of reaction time. Psychological Review, 1999, 106: 261- 300

8 Treisman AM, Gelade G. A feature - integration theory of attention. Cognitive Psychology, 1980, 12: 97- 136

9 Chelazzi L. Serial attention mechanisms in visual search: A critical look at the evidence. Psychological Research, 1999, 62: 195- 219

10 Deco G, Zihl J. Top- down selective visual attention: A neurodynamical approach. Visual Cognition, 2001, 8: 119- 140

11 Herd SA, O 'Reilly RC. Serial visual search from a parallel model. Vision Research, 2005, 45: 2987- 2992

12 施建农，恽梅，等. 7~12 岁儿童视觉搜索能力的发展. 心理与行为研究, 2004, 2: 337- 341

13 Geary DC. Children 's mathematical development: Research and practical application. Washington, DC: American Psychological Association, 1994

14 Mabbott DJ, Bisanz J. Developmental change and individual differences in children's multiplication. Child Development, 2003, 74: 1091- 1107

(收稿日期:2006- 12- 18)

(上接第 358 页)

3 李心天. 中国人的左右利手分布. 心理学报, 1993, 15: 268- 275

4 李华. 右半球损伤病人汉字书写的研究. 中国临床心理学杂志, 1996, 4(2): 77- 79

5 张玉梅, 王拥军, 朱镛连, 等. 交叉性失语. 中国临床康复, 2004, 8(22): 4574

6 高素荣, 孙可淳. 失语患者听理解中的特殊范畴语义障碍. 中华神经科杂志, 2002, 35(6): 330- 332

7 Tan LH, Liu HL, Perfetti CA, et al. The neural system underlying Chinese logograph reading. Neuro - Image, 2001, 13: 836- 846

8 李传玲, 王荫华. 右半球梗塞与汉语语言障碍的神经心理学研究. 中国临床心理学杂志, 1999, 7(4): 193- 196

9 章士正, 刘海, 崔恒武, 等. 国人汉字书写神经基础的脑功能成像.中国医学计算机成像杂志, 2004, 10(1): 60- 64

10 陈海波, 蔡晓杰, 王新德. 右利手右大脑半球病变所致的失写症. 中华神经精神科杂志, 1994, 27(1): 37- 40

11 Matsuo K, Nakai T, Kato C, et al. Dissociation of writing processes: Functional magnetic resonance imaging during writing of Japanese ideographic characters. Brain Reserch Cognitive Rederch, 2000, 9: 281- 286

12 Perrine K, Devinsky O, Uysal S, et al. Cortical mapping of right hemisphere functions. Epilepsy and Behavior, 2000, 1: 7- 16

(收稿日期:2006- 12- 01)