

## 智力与心理速度的关系研究述评

王 玲 沈 政

樊春雷

(北京大学心理系, 北京 100871)

(中国科学院心理研究所, 北京 100101)

**摘 要** 目前在智力研究领域出现了一种新的研究趋势,研究者开始关注心理计量学智力与认知或生理心理学变量的相关,考察的重点是心理速度,相应的测量指标主要有检测时(IT)、反应时、ERP或神经传导速度,等等。在运用IT任务进行的ERP研究中发现,ERP波幅和潜伏期的不同往往能够反映出智力上的差异。信息加工速度和神经传导速度均与一般智力因素(g因素)存在较高的相关。上述研究发现促进了智力与心理速度关系的跨学科研究,成为智力研究领域中的热点。

**关键词** 智力g因素,心理速度,检测时,ERP。

**分类号** B842

自从Spearman指出g因素的存在以来,人们对大脑的信息加工机制已有了更多的了解。近期的智力研究开始尝试与这些最新理解的结合。由于对g因素的解释一直不太成功<sup>[1]</sup>,研究者希望从脑与认知科学的最新研究成果中寻求支持,关注的重点集中在信息加工速度或神经效率上,特别是大脑如何进行信息加工上<sup>[2-4]</sup>。这方面的研究已取得不少重要进展,本文将对此进行简要述评。

### 1 智力与信息加工速度

#### 1.1 智力的心理速度理论 (Mental speed theories of intelligence)

智力与信息加工速度的关系问题很早就为研究者所注意。在智力测验中,许多测验任务都与被试的加工速度有关,包括在非常简单的作业任务上的加工速度<sup>[5]</sup>。智力测验所要测量的多项能力都能找到与之对应的速度变量,如表1所示。

表1 不同的智力形式及其相对应的速度变量

能力 (Ability)	速度变量 (Speed Variable)
液态智力 (fluid intelligence)	推理速度 (speed of reasoning)
晶态智力 (crystallized intelligence)	阅读速度 (reading speed)
空间能力 (spatial ability)	知觉速度 (perceptual speed)
构思的流畅性 (ideational fluency)	提取速度 (retrieval speed)
认知速度 (cognitive speed)	完成测验的速度 (test-taking speed)
加工速度 (processing speed)	反应时 (reaction time)

另外,像记忆和学习这样的能力虽然没有可明确对应的速度变量,但我们知道工作记忆是和复述

的速度相关的,学习效应则主要体现在知觉加工和概念加工的流畅性上,也都与信息加工的速度有关<sup>[6]</sup>。心理速度实际上是智力测量的基本指标。

常用的测量信息加工速度的方法是选择反应

收稿日期: 2005-03-04

通讯作者: 樊春雷, fanc@psych.ac.cn, 电话 010-64850860

时 (choice reaction time, RT) 和检测时 (inspection time, IT), 其中又以后者最为常见, 特别是在考察智力的生物学指标时, 研究者通常将智力测验、IT 和 ERP 等多项指标整合在一起使用。

## 1.2 智力g因素与信息加工速度的生物学研究方向

以美国心理学家 Jensen 为代表的生物学方向的智力研究, 把 g 因素与一些生物指标联系起来, 强调速度因素是智力测量的重要依据。Reed 和 Jensen (1993) 把 g 因素归为神经加工速度的指标 (an index measure of neural processing speed) [7]。

Deary 和 Crawford (1998) 运用因素分析法从已发表的各类测验中提取出 g 因素的载值 (g loading values), 计算它与一些生物指标的相关[8]。他们发现, g 因素与头型、脑葡萄糖代谢率、平均诱发电位的幅值和波形的复杂度, 以及视觉诱发电位 (Visual evoked potentials)、大脑神经传导速度 (Brain nerve conduction velocities) 和视觉通路的神经传导速度 (Visual pathway nerve conduction velocity, 简称 NCV) 等许多生物指标 (biological indices) 存在高的正相关。

Duncan 等人 (2000) 利用 PET 技术进一步研究 g 因素与大脑皮层激活区的联系[9]。他们采用了三种认知任务: 空间任务、语词任务和感觉运动任务, 每一种任务又分为两种水平: 高 g 因素任务和低 g 因素任务。研究发现, 不管是在哪一种认知任务下, 高 g 因素任务伴随的脑激活区和低 g 因素任务伴随的脑激活区之间的差别都出现在侧额叶 (lateral frontal cortex); 在高 g 因素的认知任务中, 被试侧额叶的激活水平更高。该实验进一步支持了 g 因素的生物学存在。

人们熟知的液态智力 (fluid intelligence) 概念 [10] 也与生物学基本特征相关, 它随年龄的增长而衰减。与此不同, 晶态智力 (crystallized intelligence) 更多地受到环境和教育因素的影响, 并随年龄的发展而变化, 与言语能力显著相关 [11]。液态智力主要包括推理、记忆和知觉速度, 一般用数字测验来测量; 而晶态智力包括知识和流畅性, 一般用言语测验来测量 [12]。根据智力投资理论 [10], 液态智力对晶

态智力保持动态的影响。液态智力是婴儿期行为的主要决定因素, 它影响文化知识和特定的文化技能的习得。到成人期, 这种主导性的影响逐渐转移到晶态智力上。晶态智力随年龄的增长而增长或保持不变 [13,14], 然而基本的生物行为还是主要受液态智力的影响, 如早期知觉行为。

## 2 心理速度与检测时 (inspection time, IT) 实验

出于文化公平性的考虑, 研究者尝试运用生理测验代替智力测验, IT 实验范式就是在这一背景下提出的。它最早是被用于研究知觉过程的 [15], 后来被用于揭示智力个体差异的生理基础。1976年, Nettelbeck 和 Lally 首次用 IT 进行 IQ 研究, 并发现了 IT 与 IQ 之间的显著相关关系 [16], 引起了心理学界的关注。

检测时实验的基本程序如图1所示。

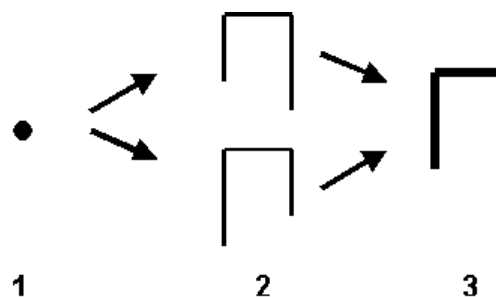


图1 检测时实验的基本程序

注: (1) 预警线索, (2) 刺激材料, (3) 掩蔽刺激。

靶刺激包含两条长度不同的垂直线, 顶端由一条水平线相连 (见图1中的A和B)。在靶刺激出现前, 显示屏中心出现一个小实心圆, 作为预警线索。几百ms后 (如, 425ms) 靶刺激出现, 随后立即出现掩蔽刺激。被试需要做出的反应是短线出现在左边还是右边。检测时 (IT) 就是从靶刺激出现到掩蔽刺激出现之间的间隔时间, 这一间隔时间的长度以反应准确率 (一般是75%或95%) 为取舍标准。主试通过调整刺激呈现的时间调节辨别反应的难度, 刺激呈现时间从几百ms到10ms不等, 一般呈阶

梯状排列。

检测时实验是以视知觉理论为基础的。在视知觉领域，研究者倾向于认为个体是以量子方式从环境中抽取信息的，每一个量子被称为一个知觉量。Vickers (1970) 的“知觉决策的累积模型” [17] (accumulator model of perceptual decision making) 描述了视知觉早期阶段信息抽取的过程，以及当信息累积到足够量以做出准确的辨别判断的机制 [18]。IT实验以“准确率” (accuracy) 为指标，它是刺激呈现时间长度的函数。所以，IT实验所测的并不仅仅是反应所需的时间。

IT实验相对于反应时实验的优势是，在刺激呈现后有掩蔽刺激，可以排除高水平的认知策略的影响。由于任务简单，它避免了反应时实验中的多因素混合影响的问题，也避免了速度-准确性权衡效应的出现。有观点认为，IT所反映的是在迫选条件、后掩蔽模式下的知觉阈限值 [19-21]。更详细的讨论可参考刘正奎和施建农 (2003) 的研究 [22]。

信息加工取向的IT研究成为近年来的主流，越来越多的学者认为IT反映了一种核心信息加工能力的早期阶段，是形成多种智力的基本元素 [4,23]。IT是IQ最可靠、最强的信息加工指标 [24]。这一指标体现为信息加工速度，而信息加工速度的神经基础则是神经传导速度 (nerve conduction velocity, NCV)，后者与智力的相关在0.26-0.48之间 [25,27]。

### 3 信息加工时间与ERP成分

#### 3.1 信息加工时间的脑机制

Woodcock和Mather (1989) 的信息加工能力的层次结构模型认为，人的信息加工能力是分层次的。 [26] 其中，感觉检测能力 (sensory detector capability) 在最底层，上一层是联想加工能力 (association processing capability)，再上一层是知觉组织能力 (perceptual organisation)，最上层是关系教育能力 (education of relations)。从底部到顶部，认知加工的复杂性逐步增加。这个结构中相邻层级之间的相关高于不相邻层级之间的相关。该模型得到许多研究证据的支持，包括ERP数据的支持。

根据层次结构模型，信息加工存在时间上的顺序关系，底层的认知加工最先进行。图2为猴子在视觉分类任务中的脑活动过程示意图，可以清楚地说明这一点。

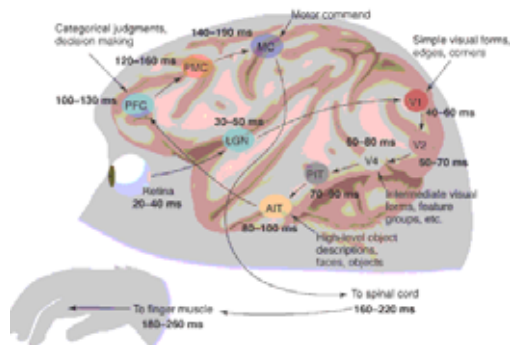


图2 猴在进行视觉分类任务时的脑活动过程示意图

(资料来源：文献[27])

在猴的视觉分类任务中，平均反应时为250~260ms。信息经丘脑的外侧膝状核 (lateral geniculate nucleus, LGN) 传导，从视网膜出发，到达初级视皮层V1区。随后，信息在V2和V4区继续加工，到达前/后颞下皮层区(PIT和AIT)，此处有特异性地对某类刺激进行反应的神经元。信息再传递给前额叶皮层 (PFC)，此处有负责物体分类的视觉神经元，对视觉信息做出分类判断和反应决策。随后，信号通过前运动皮层 (PMC) 和初级运动皮层 (MC) 传到脊髓的运动神经元，再发出运动指令使手指肌肉做出运动 [27]。

由于猴和人类在种族上的相似性，人类的简单视觉鉴别任务如IT，应该也遵循类似的由后头部到前头部的信息加工过程。

对于心理能力的不同层次，也可以通过ERP的不同成分反映出来。研究发现，ERP潜伏期反映了皮层的信息加工时间，早成分与低水平的心理成分相关，与视觉加工 (Gv)、加工速度 (Gs) 和短时记忆 (Gsm) 呈高相关 [28]，在时间上主要对应于感觉检测等过程；而晚成分与高水平的心理成分相关，对应于知觉组织和关系整合等过程 [29,30]。

由于智力反映了个体在神经加工速度上的差异，也反映了心理能量上的差异。一些研究也开始

关注ERP和心理能量间的关系,主要指标是ERP的波幅和潜伏期。

在文献中,ERP潜伏期与智力的相关平均为-0.30左右<sup>[31~33,29]</sup>。对于ERP波幅,临床研究发现,许多病理条件都会导致ERP波幅的降低<sup>[34]</sup>。在智力和ERP波幅之间的关系上,研究发现,儿童的ERP早成分(100~250ms)表现出智力和波幅的正相关<sup>[35]</sup>,而晚成分(250~500ms)表现出智力和波幅的负相关<sup>[33]</sup>。

### 3.2 检测时任务与ERP测量

ERP研究的基本实验范式是让不同IQ水平的实验组完成相关作业任务,同时进行ERP记录。实验所用的作业任务主要有怪球作业、检测时、Sternberg记忆搜索任务(Sternberg memory scan)和工作记忆等任务,发展趋势是从传统心理测验转变为反映认知能力的测验。

运用IT作业任务,研究发现刺激呈现后140~200ms的波(N1-P2波)能够对智力有差异的被试进行区分。高IQ和低IQ组在刺激呈现后140~200ms之间出现了ERP波形上的显著差异,高IQ的被试,N1-P2上升曲线波形更陡,而低IQ的被试,上升曲线的波形较为平缓。这种现象在额叶和颞-顶脑区表现得更明显<sup>[36,37]</sup>。

Burns等人(2003)运用5项韦氏测验任务:句子记忆(Gsm)、划消(Gs)、视觉完形(Gv)、图形词汇(Gc)和分析-合成(Gf),测量两种视觉ERP:黑白格棋盘式反转ERP和IT刺激判断ERP<sup>[23]</sup>。结果表明,IT与划消测验(Gs)表现出一0.42的显著相关,但是与其它任务没有表现出显著相关。这与以前的结果一致。在ERP成分上,顶叶的P100波潜伏期与句子记忆、划消、分析-合成和IT表现出显著相关,N1波和句子记忆之间也表现出显著相关。该实验还发现潜伏期70ms(N70)到240ms的波与认知能力测验相关,并与IT相关,说明在神经生理过程中的加工速度因素至少是智力的部分贡献因素。该实验把ERP研究的传统指标进一步扩展到了N1、P1、P2和N70指标,特别是N1-P2斜率(N1-P2 slope)正逐步成为智力ERP研究中的重要

指标。

上述结果与通过其它智力作业任务得到的结果一致。人们对刺激的鉴别和分类一般从165ms开始<sup>[38]</sup>,运用Sternberg记忆搜索任务也发现IQ对于ERP波幅的影响发生在165ms左右<sup>[39,40]</sup>。同时,IQ越高的被试在165ms处表现出更长的负向转折。在对于IQ、IT和ERP的研究中,Morris、Alcorn(1995)<sup>[36]</sup>和Crinella、Yu(2000)<sup>[37]</sup>同样发现IQ影响ERP发生在165ms左右。这些证据都表明,智力对认知加工过程的影响发生在ERP早成分的一个特殊时段。

## 4 总结与展望

综上所述,作为心理速度或信息加工速度的评估指标,检测时、反应时、ERP或神经传导速度都表现出与智力g因素的较高相关。这些指标是从非常简单的基本作业任务中获得的,不但可以解决文化公平性问题,也是评估智力差异的稳定指标。智力的心理计量学研究出现的结果间的冲突,有可能在认知心理学和生理心理学层面上得到解决。

当前的研究趋势是,在同一项智力研究中同时运用认知的与生物学的两种研究途径<sup>[47,48]</sup>。也就是说,把心理计量学智力关联到认知或生理心理学变量上,以便考察两者之间的关联是否与信息加工的生物学因素有关。

不过,获得心理计量学智力测验与简单的认知指标和生物参数的显著相关并不困难,困难的问题是这些简单指标的有效成分是什么,以及它们与智力差异的关联机制是什么。这应该是未来研究的重点。同时,心理速度只是智力能力的一个方面,要更好地理解智力和智力差异问题,需要多学科的交叉与融合。

## 参考文献

- [1] Neisser U, Boodoo G, Bouchard T J, et al. Intelligence: knowns and unknowns, *American psychologist*, 1996, 51: 77~101
- [2] Eysenck H J. A biological theory of intelligence. In: Detterman D K (Ed.), *Current topics in human intelligence*. Norwood, NJ: Ablex, 1994. 117~149

- [3] Miller E M. Intelligence and brain myelination: A hypothesis. *Personality and Individual Differences*, 1994, 17: 803~832
- [4] Luciano M, Wright M J, Geffen G M, et al. A genetic investigation of the covariation among inspection time, choice reaction time, and IQ subtest scores. *Behavior Genetics*, 2004, 34(1): 41~50
- [5] Bates T C, Eysenck H J. String length, attention & intelligence: Focused attention reverses the string length-IQ relationship. *Personality and Individual Differences*, 1993, 15(4): 363~371
- [6] Gilmore G C, Royer F L, Gruhn J J, Esson M J. Symbol-digit substitution and individual differences in visual search ability. *Intelligence*, 2004, 32: 47~64
- [7] Reed T E, Jensen A R. A somatosensory latency between the thalamus and cortex also correlates with level of intelligence. *Intelligence*, 1993, 17: 443~450
- [8] Deary I J, Crawford R. A triarchic theory of Jensenism: Persistent, conservative reductionism. *Intelligence*, 1998, 26: 273~282
- [9] Duncan J, Seitz R J, Kolodny J, Bor D, Herzog H, et al. A neural basis for general intelligence. *Science*, 2000, 289: 457~460
- [10] Cattell R B. Theory of fluid and crystallized intelligence: a critical experiment. *Journal of Educational Psychology*, 1963, 54: 1~22
- [11] Horn J L. Thinking about human abilities. In J. R. Nesselrode (Ed.), *Handbook of multivariate psychology*. New York: Academic Press, 1988. 645~685
- [12] Lindenberger U, Baltes P B. Intellectual functioning in old and very old age: Cross-sectional results from the Berlin Aging Study. *Psychology and Aging*, 1997, 12: 410~432
- [13] Horn J. L. Cognitive diversity: a framework of learning. In: Ackerman P L, Sternberg R J, Glaser R. (Eds.), *Learning and individual differences: advances in theory and research*. New York: W.H. Freeman and Company, 1989. 61~116
- [14] Horn J L, Hofer S M. Major abilities and development in the adult period. In: R J Sternberg, C A Berg (Eds.), *Intellectual development*. New York: Cambridge Univ. Press, 1992. 44~99
- [15] Vickers T, Nettelbeck T, Willson R J. Perceptual indices of performance: the measurement of "inspection time" and "noise" in the visual system. *Perception*, 1972, 1: 263~295
- [16] Nettelbeck T. Inspection time and intelligence. In: P A Vernon (Ed.), *Speed of information processing and intelligence*. Norwood, NJ: Ablex, 1987. 295~346
- [17] Vickers D. Evidence for an accumulator model of psychophysical discrimination. *Ergonomics*, 1970, 13: 37~58
- [18] Stough C, et al. The relationship between intelligence, personality and inspection time. *The British Psychological Society*, 1996. 255~268
- [19] Burns N R, Nettelbeck T, White M. Testing the interpretation of inspection time as a measure of speed of sensory processing. *Personality and Individual Differences*, 1998, 24: 25~39
- [20] White M. The inspection time rationale fails to demonstrate that inspection time is a measure of the speed of post-sensory processing. *Personality and Individual Differences*, 1993, 15: 185~198
- [21] White M. Interpreting inspection time as a measure of the speed of sensory processing. *Personality and Individual Differences*, 1996, 20: 351~363
- [22] 刘正奎 施建农. 检测时与智力关系的研究述评. *心理科学进展*, 2003, 11(5): 511~515
- [23] Burns N R, Nettelbeck T. Inspection time in the structure of cognitive abilities: Where does IT fit. *Intelligence*, 2003, 31(3): 237~255
- [24] Deary I J, Stough C. Intelligence and inspection time: Achievements, prospects, and problems. *American Psychology*, 1996, 51: 599~608
- [25] Vernon P A, Mori M. Intelligence, reaction times, and peripheral nerve conduction velocity. *Intelligence*, 1992, 16: 273~288
- [26] Woodcock R W, Mather N. WJ-R tests of cognitive ability standard and supplemental batteries: Examiner's manual. In: Woodcock R W, Johnson M B ed. *Woodcock-Johnson Psycho-Educational Battery, Revised*. Allen, TX: DLM Teaching Resources, 1989
- [27] Thorpe S J, Thorpe M F. Seeking categories in the brain. *Science*, 2001, 291: 260~263
- [28] Caryl P G, Harper A. Event related potentials (ERPs) in elementary cognitive tasks reflect task difficulty and task threshold. *Intelligence*, 1996, 22: 1~22
- [29] Caryl P G. Early event-related potentials correlate with inspection time and intelligence. *Intelligence*, 1994, 18: 15~46

- [30] Zhang Y, Caryl P G, Deary I J. Evoked potentials, inspection time and intelligence. *Personality and Individual Differences*, 1989, 10: 1079~1094
- [31] Chalke F, Ertl J. Evoked potentials and intelligence. *Life Science*, 1965, 4: 1319~1322
- [32] Ertl J P. Fourier analysis of evoked potentials and human intelligence. *Nature*, 1971, 230: 525~526
- [33] Barrett P T, Eysenck H J. The relationship between evoked potential component amplitude, latency, contour length, variability, zero-crossings and psychometric intelligence. *Personality and Individual Differences*, 1994, 16: 3~32
- [34] Jensen A R. Psychological research on race differences. *American Psychologist*, 1995, 50: 41~42
- [35] Rhodes L E, Dustman R E, Beck EC. The visual evoked response: a comparison of bright and dull children. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1969, 27: 364~372
- [36] Morris G L, Alcorn M B. Raven's progressive matrices and inspection time: P200 slope correlates. *Personality and Individual Differences*, 1995, 18: 81~87
- [37] Crinella F M, Yu J. Brain mechanisms and intelligence. *Psychometric g and executive function. Intelligence*, 2000, 27(4): 299~327
- [38] Nettelbeck T. Correlation between inspection time and psychometric abilities: A personal interpretation. *Intelligence*, 2001, 29: 459~474
- [39] Pelosi L, Holly M, Slade T, et al. Event-related potential (ERP) correlates of performance of intelligence tests. *Electroencephalography And Clinical Neurophysiology*, 1992, 84: 515~520
- [40] Polczyk, Necka. Capacity and retention capability of working memory modify the strength of the RT/IQ correlation. *Personality and Individual Differences*, 1997, 23: 1089~1091
- [41] Garlick D. Understanding the nature of the general factor of intelligence: The role of individual differences in neural plasticity as an explanatory mechanism. *Psychological Review*, 2002, 109(1): 116~136
- [42] Frazier T W, Demaree H A, Youngstrom E A. Meta-analysis of intellectual and neuropsychological test performance in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Neuropsychology*, 2004, 18(3): 543~555

## Researches on Intelligence and Mental Speed

Wang Ling, Shen Zheng

*(Department of Psychology, Peking University, Beijing 100871, China)*

Fan Chunlei

*(Institute of Psychology, the Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China)*

**Abstract:** There is now a new tendency in the field of intelligence, researchers attempt to discover the correlation between psychometric intelligence to a cognitive or psychophysical variable, and employ cognitive and biological approaches in the same studies. This research emphasis is mental speed, which is indexed by inspection time (IT), reaction time, ERP or nerve conduction velocity. Many studies suggest that, in IT task, the patterns of amplitude and latency period of ERP are different between higher IQ and lower IQ participants. Many findings demonstrate that both information processing speed and nerve conduction velocity have a higher correlation with intelligence g factor, and that the cross-disciplinary studies on the relationship between intelligence and mental speed have become an important approach.

**Key words:** intelligence g factor, mental speed, inspection time, ERP.