



# 计算机化神经行为评价系统 的研究与进展

上海医科大学劳动卫生教研室 孙荣昆 梁友信

神经行为测试具有简便、无创伤、易被接受和比较敏感等优点,在许多领域中应用广泛。继芬兰心理学家 Hanninen 在60年代初首次采用成套的心理行为方法,对铅、苯、汽油及二硫化碳等作业工人进行接触化学物质与行为功能改变的流行病学观察后<sup>[1]</sup>,目前,已有许多神经行为测试组合,用于评价职业人群接触毒物对中枢神经系统功能的影响<sup>[2-4]</sup>。其中多种测试起源于实验心理学和临床心理学,主要通过问卷或书面测试来完成。由于各家所用方法不同,即使采用同一测试,在不同的实验室具体测试条件也不尽相同,难以对结果进行比较。1986年,世界卫生组织(WHO)推荐了包括有七项测验的神经行为核心测试组合(NCTB)最为基本,操作简便,仪器简单,易被接受,且受文化程度影响较小,可作为跨国使用的测试方法<sup>[5]</sup>。然而,手工测试难以避免测试过程中的偏倚而引起的系统误差。1985年,美国神经毒理学家 Baker 等在电子计算机化的神经行为测试(NES)方面进行了探索,从而推动了神经行为测试向着程序化、规范化和定量化方向的发展,使神经行为测试方法进入了一个新的发展时期<sup>[6,7]</sup>。

## 计算机化的神经行为测试

Baker 等创立的NES成功地把行为测试操作、资料贮存、结果分析等一系列过程电子计算机化,是神经行为方法学上的一个创新,它已广泛地应用于劳动卫生及其它相关领域<sup>[8]</sup>。上海医科大学劳动卫生教研室与上海工业大学协作自1987年开始在该领域进行了探索,已建立中文测试系统。目前,正处于实验室内方法学研究和现场验证阶段。

使用计算机化测试具有诸多优点:①客观、规范、定量化:全部测试均由计算机程序控制,从而消除了由于主试者偏倚所带来的系统误差,使测试更规范,结果更客观,记录更趋定量化;②高效、精确:计算机化的操作、测试、结果贮存与分析融为一体,每次测试所给予的刺激更均等、准确,还可立即提供部分结果报告;③信息及时反馈:若受试者对导语不理解,操作不当时,能够及时反馈加以指导,从而保

证了测试正确、顺利地进行;④灵活: NES包括反映多种神经行为功能近20项测验,研究者可根据测试对象及研究目的加以选择、调整,形成不同的组合,故灵活性大,适用面广;⑤新颖:计算机作为一种测试工具,改变了单一枯燥的笔纸测试,使受试者有新鲜感,乐于接受。

然而, NES亦存在一定局限性:①设备昂贵:除主机外,某些测试还需配备特殊设备(例如:眼一手协调测试需要操纵杆, joystick);②不便携带:不利于现场测试,从而,在一定程度上限制了推广应用;③受试者使用计算机熟练程度的影响,故在对照组选择时应加以控制;④现阶段使用的计算机测试几乎均是通过视觉刺激,按键反应,记录的基本数据是反应速度,而较少反映语言表达及空间关系的认识等其他行为功能<sup>[7,8]</sup>。因此,进一步发展方向应使其成为小型化、便携式,以利现场使用并降低成本。此外,除“按键反应”外,应辅以其它形式的心理运动及认知判别等手工测试。

## NES 的结构

### 一、结构组成

NES 包括硬件和软件二部分。硬件为 IBM 个人计算机(IBM-PC/XT),操作在键盘上进行;某些测试附带一操纵杆,接入插口以控制光标移动。软件程序的编写使用IBM高级BASIC语言,通过人机对话保证测试的进行,测试项目以菜单形式排列,可供选择和随机组合。每个测试项目彼此独立,各测试对象均有自己的文件档案以贮存测试结果,使用统计程序软件包,即可直接进行数据处理。图象呈现迅速,反应速度的记时通过软件钟完成,分辨能力误差为0.5毫秒。

### 二、测试过程

1. 测试前问卷:在正式开始测试前,每个受试者都需完成一健康问卷,包括既往健康状况、工作经历及所接触的化学物质名称、目前及过去生活习惯(如吸烟、饮酒等)、工作性质、家庭经济状况及目前的症状。此外,还需询问测试前起居情况(如睡眠、

服药、饮酒及情绪波动等),以了解可能存在的干扰因素。主试者根据上述条件,决定取舍。

2. 正式测试:正式开始操作前,主试者给予简要介绍并嘱受试者仔细阅读屏幕上的导语,随后即由受试者独立操作,在旁观察,发现问题及时解决;对于多次出现错误,操作有困难者,主试应根据具体情况加以指导或中止测试。

### NES 的测试项目

#### 一、内容

Baker 等研制的完整的计算机化神经行为评价系统(NES2)共包括十七项测试,分别反映情绪状态(Mood states)、心理运动(Psychomotor)、记忆与学习(Memory and Learning)及认知功能(Cognitive)(见表1)。

#### 二、表达形式

每项测试开始前,屏幕显示导语,理解后按“+”或“Enter”键,进入测试状态。一旦主试选择和组织好测试顺序,计算机便可按菜单次序逐项进行。某些测试安排有练习机会,便于熟悉操作要领。同时,系统内还有监督程序,在练习过程,如出现错误会给予提示或帮助,确保受试者充分理解,达到测

试目的。现以NES中的二个分测验为例,略加介绍。

#### 1. 眼手协调测试

导语:在屏幕上有一正弦曲线,左边有一光标将从左向右移动,请用习惯用手通过操纵杆,控制水平及垂直移动光标,尽可能贴住弧线运行。

练习结束后,开始正式测试二次,根据光标移动轨迹,统计垂直距离误差,以评价眼手协调功能及操作精确度。

#### 2. 符号数字译码测试(Symbol Digit Substitution)

导语:屏幕上方有一系列符号,在符号的下面有一列与之相关的数字,请在屏幕中央每个符号的下方空格位置,按键填上相对应的数字,越快越好。

必须练习至完全操作正确,否则将鸣声提示,且错误数字不被填入空格。练习毕则开始测试共90秒,记录并贮存填入总数,正确个数及错误个数。

测试选择的合理性和有效性。理想的测试应具有高度敏感性和可靠性,而且能够反映某一特种认知功能<sup>[1]</sup>。然而,由于低浓度毒物对CNS功能的影响是综合性的,常表现为某种类型的“症候群”,且目前对

表1 神经行为评价系统(NES)测试项目<sup>[1]</sup>

所反映的行为功能	测试名称	耗时(分)
心理运动		
运动速度	指叩(Finger Tapping) <sup>[3]</sup>	3
视感知运动准确度	眼手协调测试(Hand-Eye Coordination) <sup>[3]</sup>	5
视感知反应速度	简单反应时(Simple Reaction Time) <sup>[1,3]</sup>	5
持久注意力	连续操作测试(Continuous Performance Test) <sup>[2,3]</sup>	6
视感知速度	图案比较(Pattern Comparison Test) <sup>[3]</sup>	4
译码速度	符号数字译码(Symbol Digit Substitution) <sup>[1,3]</sup>	5
记忆与学习		
视记忆	图案记忆(Pattern Memory) <sup>[3]</sup>	5
短期记忆	数字广度(Digit Span) <sup>[1,3]</sup>	7
学习/记忆	系列数字学习(Serial Digit Learning) <sup>[3]</sup>	4
学习	联想学习(Associate Learning) <sup>[2,3]</sup>	7
联想记忆	联想回忆(Associate Recall) <sup>[2,3]</sup>	2
记忆/速度	记忆扫描(Memory Scanning) <sup>[3]</sup>	10
认知功能		
词汇能力	词汇测试(Vocabulary Test) <sup>[1,3]</sup>	7
算术能力	横向加法(Horisonal Addition) <sup>[3]</sup>	3
其他	注意力调转(Switching Attention) <sup>[3]</sup>	7
	语法推理(Grammatical Reasoning) <sup>[3]</sup>	6
情感状态		
情感	情感量表(Mood Scales) <sup>[1,3]</sup>	5

英译右上角注[1], NCTB测试项目; [2], NCTB附加测试项目; [3]: 适宜重复使用的测试项目

于各种行为功能的产生机理所知甚少,很难有单一的“特异性”行为指标,故需采用成套测验,以便进行综合评价<sup>[11]</sup>。在群体比较的流行病学调查中,宜选择简单易行、快速的测试,而用于临床检测,则应是高度有效可靠的测试<sup>[8]</sup>。在实际应用中,调查者应充分复习文献,了解所调查毒物对人的可能影响,在此基础上选择适当测试组合。一般认为,较高级的认知活动比低级的认知活动更为敏感,更易反映行为功能的细微差别。例如:Mahoney等通过对自愿者研究,发现比较复杂的注意力调转测试(Switching Attention Test)对20%一氧化二氮(笑气)接触组与对照组有显著差异;而相同对象用简单的方法却未见有显著差别<sup>[16]</sup>。当然,测试的复杂程度必须有个限度,即应

确保大部分受试者能够接受。而且,方法越难,从练习到正确掌握所耗时间越长,还易受诸多因素,如智力水平、文化程度、语言能力及社会经济状况的影响<sup>[11]</sup>。

计算机化神经行为测试的敏感性和有效性的标志在于能否识别接触人群在出现慢性、不可逆性损害之前的亚临床神经行为功能的改变。Baker等在多组人群中用计算机测试与“标准化”的手工心理测试作了比较和分析(见表2)两组结果有可比性,其中符号数字译码可比性最佳。然而计算机测试增加了测试难度,每完成一次正确反应费时比传统的手工测试多30~40%。此外,计算机测试与手工测试相关性较低,符合程度仅属中等,故彼此不能相互取代<sup>[7]</sup>。

表2 计算机测试与手工测试的可比性 (相关系数, n=53)

计 算 机 测 试						
		数字广度			数字符号译码	眼手协调
		顺序	倒序	总和		
手 工 测 试	数字广度	顺序	0.42			
		倒序		0.60		
		总和			0.69	
	数字符号译码					0.76
	Santa Ana 提转捷度					-0.42*
	目标追踪					-0.23*

\* 计算机测试得分越高,表示操作功能越差

#### NES 的应用

计算机化神经行为测试在劳动卫生领域应用广泛(表3)。目前主要用于流行病学调查及实验室研究,正逐步推广到临床,包括筛检及监护等以个体为对象的研究。

表3 神经行为测试在劳动卫生学中的应用<sup>[11]</sup>

研究类型	测试对象		影响程度		接触情况		重复测试
	群体	个体	中等	严重	急性	慢性	
实验室研究	•		•		•		•
准实验研究	•		•		•		•
流行病学研究							
横断面调查	•		+	•		•	
纵向调查	•		+	•		•	•
临 床		•		•	+	•	+
筛 检		•		•	+	•	
监 护		•		•		•	•

•: 经常用   +: 偶尔用

神经行为评价系统(NES)用于横断面流行病学调查以评价长期慢性接触对健康的影响。Baker等先后两次对建筑及油漆工人(101人及198人)进行了调查,均表明有机溶剂接触对神经行为功能有影响,表现为心理运动操作功能降低,并有紧张、抑郁、愤怒、疲劳感以及慌乱迷惑<sup>[12,13]</sup>。

已经证实,计算机化测试在实验室及准实验研究神经毒物的急性效应是非常有效的。在瑞典,NES已用于研究甲苯、二甲苯混合接触及甲苯、乙醇混合接触对健康的影响<sup>[14,15]</sup>。NES中某些心理运动测试在20%一氧化二氮接触水平,可表现出显著差异<sup>[16]</sup>。实验室接触一氧化二氮,对于评价神经行为测试的敏感性是一个有效的模式系统<sup>[8]</sup>。此外,有作者也利用准实验设计来研究接触有机磷农药对行为功能的影响,但由于设计的接触水平太低,故未发现受试者明显的神经行为改变<sup>[17]</sup>。

#### 对未来的展望

计算机化神经行为评价系统用于评价在生产环境中接触神经毒物所致功能性改变,只是近年才发展起

表 4

YGX 计算机化神经行为测试系统项目

所反映的行为功能	测 试 名 称	耗时(分)
智力		
记忆与思维	心算 (Mental Arithmetic)	2
记忆与思维	系列加减 (Serial Addition/Subtraction)	2
记忆		
视记忆	视觉保留 (Visual Retention Test)	2
形象记忆	图象记忆测验 (Pattern Memory Test)	3
联想记忆	成对词联想学习 (Paired-Associate Learning Test)	5
数字记忆	数字广度 (Digit Span Test)	6
短期记忆	记忆扫描 (Memory Scanning)	5
数字记忆	记忆广度 (Memory Span)	7
学习记忆	连续识别记忆 (Continuous Recognition Memory)	5
视感知功能		
视觉检索及认知功能	数字检索 (Two-Digit Search)	2
认知功能	数字译码 (Symbol Digit Substitution)	3
警觉性及注意力	长度判断测验 (Length Discrimination)	7
	连续操作测验 (Continuous Performance Test)	7
视感知速度	图象比较 (Pattern Comparison Test)	2
心理运动操作		
眼手协调及反应速度	视简单反应时 (Visual Simple Reaction Time Test)	4
	视选择反应时 (Visual Choice Reaction Time Test)	4
听觉感知及反应速度	听简单反应时 (Auditory Simple Reaction Time Test)	4
操作速度及眼手协调	指叩测验 (Finger Tapping)	2
眼手协调能力及注意力	光标追踪 (Cursor Tracing)	5
	注意力调转 (Switching Attention)	6

来的。上海医科大学劳动卫生学教研室根据以往工作的经验<sup>[18-21]</sup>,在系统复习有关文献的基础上,与上海工业大学工业自动化仪表与自动化教研组生物医学工程科研小组协作研制了包括有22项分测验的神经行为测试系统(YGX, Y: 医大, G: 工大, X: 协作)(见表4)。该系统有彩色、黑白两套显示,可任意选择,每一测试均配有简明的中文导语,同时还将视、听、操作及反应速度等多种功能融为一体。这套系统建立的宗旨是,立足于国内的实际情况,形成一种适合我国国情的程序化测试工具,力争早日跻身于这一领域的国际水平行列。目前,正处于对非职业接触人群,自愿者及录作业工人进行测试验证阶段,以期对该系统的可行性、稳定性和有效性进行全面的分析和鉴定。

为克服 IBM-PC/XT 机价格昂贵、搬动不便的缺点,以适应现场测试需要,美国的 Baker 和 Letz 等已成功地采用了 COMPAQ 计算机 (COMPAQ Computer Corp. Houston, TX),该计算机体积小,重量轻(仅28磅),便于携带,显示由9吋液晶荧光

屏实现,其软件和硬件均与 IBM-PC/XT 机兼容<sup>[1]</sup>,是今后我们的发展方向。

NES 在职业卫生领域的应用,在我国尚处探索阶段。为使这套系统能更有效地用以反映职业性有害因素,特别是神经性毒物对 CNS 的早期影响,还需作扎实的基础研究。例如:①探索非职业性混杂因素,如年龄、性别、文化程度、社会经济状况、摄生起居及生活习惯等对测试结果的影响规律;②阐明反复测试对不同测试项目所致“学习效应”的程度,以期编出“学习效应”小、适用于随访观察的测试组合;③研究测试组合的选择原则,以提高用于不同职业接触人群的测试敏感性与特异性;④合理组合“问卷-NES-手工测试”三个组成部分,以提高对行为功能的综合评价效果。

#### 参 考 文 献

- [1] Hanninen H, et al. Behavioral test battery for toxicopsychological studies: Used at the institute of occupational health in Helsinki. Helsinki: Institute of occupational

- health, 1979, 1~4.
- [2] Cherry N, et al. A test battery to measure the behavioral effects of neurotoxic substances. *Scand J Work Environ Health* 1984; 10:suppl, 1:18~19.
- [3] Valciukas JA, et al. Psychometric techniques in environmental research. *Environ Res* 1980; 21:257~297.
- [4] Baker EL, et al. Monitoring neurotoxins in industry: Development of a neurobehavioral test battery. *J Occup Med* 1983; 25:125~130.
- [5] 梁友信. 介绍WHO推荐的神经行为核心测验组合. *工业卫生与职业病* 1987; 13(6):331~339.
- [6] Baker EL, et al. A computer-administered neurobehavioral evaluation system for occupational & environmental epidemiology. *J Occup Med* 1985; 27(3):206~212.
- [7] Baker EL, et al. A computer-based neurobehavioral evaluation system for occupational & environmental epidemiology: Methodology and validation studies. *Neurobehav Toxicol Teratol* 1985; 7(4):369~377.
- [8] Letz R. Occupational screening for neurotoxicity: Computerized techniques. *Toxicology* 1988; 49:417~424.
- [9] Letz R, et al. NES2 Users Manual (Version 4.2) 10-Sep-1988; 20~35.
- [10] Mahoney FC, et al. Experimental nitrous oxide exposure as a model system for evaluating neurobehavioral tests. *Toxicology* 1988; 49:449~457.
- [11] Baker EL, et al. Neurobehavioral testing in monitoring hazardous workplace exposure. *J Occup Med* 1986; 23:987~990.
- [12] Fidler AT, et al. The neurobehavioral effects of occupational exposure to organic solvents among construction painters. *Br J Ind Med* 1987; 44:292~303.
- [13] Baker EL, et al. Neurobehavioral effects of solvents in construction painters. *J Occup Med* 1988; 30:116~123.
- [14] Anselm-Olsen B, et al. Co-exposure to toluene and p-xylene in man: Central nervous functions. *Br J Ind Med* 1985; 42:117~122.
- [15] Iregren A, et al. Experimental exposure to toluene in combination with ethanal intake: Psycho-physiological effects. *Scand J Work Environ Health* 1986; 12:128~136.
- [16] Greenberg BD, et al. Computerized assessment of human neurotoxicity: Sensitivity to nitrous oxide exposure. *Clin Pharmacol Ther* 1985; 38:656~660.
- [17] Maizlish N, et al. A behavioral evaluation of pest control worker with short-term, low-level exposure to the organophosphate diazinon. *Am J Ind Med* 1987; 12:153~172.
- [18] 梁友信, 等. 低浓度二硫化碳对粘胶纤维工人健康的影响. *上海第一医学院学报* 1983; 10(1):15~21.
- [19] 梁友信, 等. 视屏作业人员行为功能的研究. *中华劳动卫生职业病杂志* 1987; 5(4):193~196.
- [20] 方益昉、梁友信. 介绍一种组合式智能化视听功能测试系统. *工业卫生与职业病* 1987; 13(6):344~347.
- [21] 陈自强, 等. 世界卫生组织核心行为功能指标参考值研究. *工业卫生与职业病* 1989; 15(1):1~8.

(1989年12月4日收稿)

## 欢迎订购本刊1989年合订本

为了方便读者保存本刊的完整, 本刊1989年度1~6期合订本已经装订完毕, 每本收工本费6.00元。另, 本刊尚有1984~1988各年度合订本, 每本4.00元。需购者, 可汇款本刊办理邮购手续。

邮局汇款: 广州市怡乐路78号《职业医学》编辑部

银行汇款: 广东省劳动卫生职业病研究所  
工商银行 广州市新港西路分理处

帐号: 144—03—08220

职业医学编辑部