

工作记忆测量脑力疲劳的实验研究

曹雪亮,苗丹民,皇甫恩,侯艳红,孙云峰,史衍峰,李媛

(第四军医大学航空航天医学系心理学教研室,陕西 西安 710032)

【摘要】目的: 介绍一种采用工作记忆评定脑力疲劳的方法; 用该方法对连续 63h 完全睡眠剥夺(sleep deprivation,SD)所诱发的脑力疲劳程度进行全时程测评。**方法:** 8 名 21~26 岁的健康男性青年,在完全 SD 下,采用此方法每隔 6h 进行 1 次脑力疲劳评定。该测验包括两类任务:字母内容匹配任务和字母位置匹配任务,每类任务又根据工作记忆负荷的大小分别设定低、中、高三种难度。**结果:** 两类任务三种难度水平上,脑力疲劳的测验得分随 SD 时间延长有着相同的变化趋势。在 SD16h 以内,6 项测验的成绩同基础值相比均未达显著性水平;但在 20h 以后测验成绩显著下降($P<0.01$);其后稍有恢复,48h 后继续下降;最后 1 次测验(SD63h),成绩又有所恢复,但成绩依然显著低于基础值($P<0.01$)。**结论:** 本测验是一种敏感的脑力疲劳评定方法; 在 63h 的完全 SD 过程中,脑力疲劳的发生不是一个纯粹被动的过程,大脑皮层的高级中枢依然具有重要的调节作用。

【关键词】 脑力疲劳; 睡眠剥夺; 工作记忆

中图分类号: B845.67

文献标识码: A

文章编号: 1005-3611(2004)04-0331-04

An Experimental Research of Mental Fatigue Using a Working Memory Test

CAO Xue-liang, MIAO Dan-min, HUANGFU En, et al

Faculty of Aerospace and Aviation Medicine, The Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China

【Abstract】 Objective: To introduce a method of evaluating mental fatigue, which adopts a kind of working memory test; Using this method to evaluate the degree of mental fatigue induced by 63h sleep deprivation. **Methods:** 8 healthy subjects, aged 21 to 26, were selected to receive the test every 6h during three days, and their behavioral data about mental fatigue were collected. Measurement content includes two kinds of task: the letter content paired task and the letter position task, and each kind of task is set in three difficulty degrees: low, moderate and high, in term of the working memory load. **Results:** With the SD time prolonged, the mental fatigue scores of two kinds of task, including the three difficult levels, all have the same development trend. Less than SD 16h, there are no significant difference between the baseline value and other time point measurement scores in the six subtests; Whereas, beyond SD 20h, the measurement score shows a significant decline ($P<0.01$); Then, there is a little recovery; After 48h, the scores keep on decreasing; Although there is a little recovery at the SD 63h, its score is still lower than the baseline value ($P<0.01$). **Conclusion:** This test is a very sensitive method in evaluating mental fatigue; During the period of 63h SD, the development of the mental fatigue is not a purely passive course, the advanced nerve center of the brain cortex still has important regulation effects.

【Key words】 Mental fatigue; Sleep deprivation; Working memory

脑力疲劳,又称心理疲劳(mental fatigue)是指一种缺乏动机与警觉的主观感觉,具体表现为头脑昏沉,注意力不易集中,思考困难,健忘,欲望降低,工作效率低下,易出差错等。它的产生与许多因素有关,如工作的单调乏味、大负荷的脑力劳动、应激事件等。在实际的研究中,出于被试安全的考虑,常采用睡眠剥夺(sleep deprivation,SD)作为脑力疲劳的诱导方法。

大量研究表明脑力疲劳对人体认知功能的影响是全方位的,而工作记忆是受到损害最严重的心理功能之一。1974 年,Baddeley 指出,工作记忆是一种

系统,它为复杂的任务,如言语理解、学习和推理等提供临时的储存空间和加工时所必需的信息,具有储存和加工信息的功能^[1,2]。由此定义可知,工作记忆系统是架起瞬时记忆系统和长时记忆系统的桥梁,是人类信息加工过程中的重要环节。鉴于此,我教研室特参照有关文献^[3,4],设计了用于评定脑力疲劳状态下工作记忆能力变化的计算机软件“工作记忆测验”,并以此对 63h 完全 SD 期间,工作记忆系统的工作能力变化情况进行了研究。

1 对象与方法

1.1 对象

某陆军学院本科二年级男性学员 8 名,年龄 21

【基金项目】 本研究得到全军医药卫生科研基金(01L073)的资助。

岁~26岁,身高 $171.3 \pm 3.7\text{cm}$,体重 $62.5 \pm 5\text{kg}$,身体健康,无神经疾患,两眼矫正视力全部大于1.0,均为右利手。陆军学院的学员平时严格遵守军队的作息制度,睡眠时间为22:00至次日6:00,每晚保证8h的睡眠。

1.2 任务结构

工作记忆测验由六组连续匹配任务所组成,被试的任务是对当前呈现的刺激同先前呈现的刺激进行匹配并做出判断。实验中,被试端坐微机前,双眼平视计算机屏幕中心,距离显示器70cm,屏幕的背景为黑色。刺激由26个英文字母的前12个字母所组成,均为大写。每次试验开始时,在显示器的中央呈现一个提示信息,白色“x”,持续时间为200ms。提示信息消失后1.1s,刺激开始呈现,持续时间也为200ms。刺激呈现的位置是两个同心等六边形的12个端点之一,其半径分别是1cm和3.5cm。刺激消失后3000ms,下一个试验的提示信息(白色“x”)开始呈现。字母的内容和字母的位置在每一次试验中都是随机变化的。当既无提示信息,又无刺激字母呈现时,就会有一黄色圆点出现在屏幕中央,也即两个同心等六边形的圆心。

被试的匹配任务有两种:一是对字母的内容进行匹配,而不管其字母位置如何;二是对字母的位置进行匹配,而不管其字母内容如何。每种任务的难度又分为三个水平:低等难度,中等难度和高等难度。

在低等难度水平,被试的任务是对当前呈现的刺激和前一个试验中呈现的刺激进行匹配;在中等难度水平,被试的任务是对当前呈现的刺激和向前数第二个试验中呈现的刺激进行匹配;在高等难度水平,被试的任务是对当前呈现的刺激和向前数第三个试验中呈现的刺激进行匹配。如果当前刺激与前面的刺激相匹配,被试用右手食指按鼠标左键;如果当前刺激与前面的刺激不匹配,被试则用右手中指按鼠标右键。

每组任务(trial-block)各有20次试验(trial),刺激匹配预设为在50%的试验中发生,每个试验的时间长度为4.5s。为了完成连续匹配任务被试必须记住字母的内容或位置,在低、中、高三种难度水平中被试分别要延时回忆4.5s、9s和13.5s。

1.3 实验步骤

正式实验前2天被试进入实验室,对其进行培训,讲解工作记忆测验的步骤和操作方法,并让每名被试亲自操作1遍,以确认其完全掌握。待全部被

试学会后,开始正式练习。练习时间全部安排在每天的上午8:30~11:30,下午2:30~5:30和晚上7:30~9:30。晚间练习完毕后,被试回宿舍按正常作息时间休息。练习共进行两天,使每名被试在该测验的各项分测验上成绩均趋于稳定,以消除实际测验中练习效应的影响^[5]。睡眠剥夺时间从正式实验的当天早6:00起床开始计算^[6],在监督下避免睡眠。实验从8:30开始,每隔6h重测1次,共11次,时间安排详见下表。

表1 测验时间安排表

	时间点	SD时间(h)	测验起始时间
第一天	1	2.5~4.0	8:30
	2	8.5~10	14:30
	3	14.5~16	20:30
第二天	4	20.5~22	02:30
	5	26.5~28	8:30
	6	32.5~34	14:30
	7	38.5~40	20:30
第三天	8	44.5~46	02:30
	9	50.5~52	8:30
	10	56.5~58	14:30
	11	62.5~64	20:30

每次测验时,被试先做字母内容的匹配测验,再做字母位置的匹配测验,共进行两遍。在两种任务中,测验顺序均是由易到难,即先做低等难度,再做中等难度,最后做高等难度。为确保被试的安全和实验过程的顺利,每次测验前后均要分别进行1次血压和心率的测量。实验期间,为了确保被试处于清醒状态,其可以读书、下棋、打牌、看电视,但不许做剧烈运动,不许抽烟,也不许饮茶和喝咖啡中枢兴奋剂。

1.4 统计方法

全部数据采用SPSS10.0、Excel2000进行统计分析。所用统计方法包括秩变换,随机化完全区组设计的方差分析,最小显著性差异法(LSD)。

1.5 秩变换规则

在本测验的各项分测验(两种版本,三种难度)中,由于刺激匹配均预设以50%的概率发生,因此被试凭猜测做对每次试验(trial)的概率也是50%。又因为每项分测验,即每个试验块(trialblock)中的匹配试验的个数均为20,故此类情况下的二项分布接近正态。按有关公式进行计算, $\mu = np = 20 \times 0.5 = 10$, $\sigma = \sqrt{npq} = \sqrt{20 \times 0.5 \times 0.5} = 2.236$ 。根据正态分布概率,当 $Z = 1.645$ 时,该点以上包含了全体的95%。用公式计算临界值,可得: $\mu + 1.645 \sigma =$

$10 + 1.645 \times 2.236 = 13.67822$ 14。因此,在每个试验块中,被试的正确反应数只有等于或高于 14 时,才可确认为被试不是凭猜测来完成测验的。

又由于在每 1 时间点上,六项分测验均要做两遍,因此,具体到某项分测验,在不同时间点上被试的成绩就存在三种情况:(1)两遍都不是凭猜测完成,在此记为 类;(2)第 1 遍不是凭猜测完成,第 2 遍凭猜测完成(正确反应数 < 14),这种情况在此记为 类;(3)两遍均是凭猜测完成,这种情况在此记为 类。I 类代表被试有能力完成两遍测验; 类代表被试由于脑力疲劳的缘故,只能完成第 1 遍测试而无力完成第 2 遍测试; 类代表脑力疲劳进一步加重,无力完成两遍测试中的任何 1 遍。因此,脑力疲劳假定为: 类 $>$ 类 $>$ 类。

根据上述规则从全部数据(包括每名被试,每个时间点)中筛选出所有的 类数据,按公式:校正平均反应时 = (两遍测验的平均反应时 $\times 40$)/两遍测

验的正确反应数之和,对各时间点所测平均反应时进行校正,然后按其大小从低到高赋予相应的秩号;对于所有的 类数据,只取第 1 遍测验的平均反应时,并按公式:校正平均反应时 = (第 1 遍测验的平均反应时 $\times 20$)/第 1 遍测验的正确反应数,对平均反应时进行校正,校正后根据其大小从低到高赋予相应的秩号,然后对 类数据的全部秩号加上 类数据中的最大秩号作为 类数据的最终秩号;所有的 类数据视为结(认为数据完全一样),统一取平均秩,加在 类数据的最大秩号之后。

2 结 果

2.1 基础值

在本研究中,第 1 个时间点(第 1 天上午 8:30)测试的成绩是基础值,代表被试正常状态下的工作记忆能力水平。对该时间点上 8 名被试的测试结果(反应时、正确率)进行统计,其结果见表 2。

表 2 字母内容和字母位置匹配任务工作记忆测验基础值测试结果 ($n = 8$)

任务类型	正确率 (%)			反应时 ($t/ms, \bar{x} \pm s$)		
	低	中	高	低	中	高
字母内容匹配任务	97.19	96.25	88.44	809.35 ± 129.40	919.60 ± 179.02	968.127 ± 206.10
字母位置匹配任务	98.75	95.94	90.94	697.53 ± 109.53	855.73 ± 233.68	957.04 ± 237.05

分别对两种任务类型不同难度间的正确率和反应时进行比较,结果发现字母内容匹配任务中,正确率随难度增加而下降,反应时随难度增加而延长,且不同难度间在两项指标上均达显著性水平($F_{2,14} = 10.63, P < 0.01; F_{2,14} = 6.13, P < 0.05$);字母位置匹配任务中,正确率和反应时随难度变化的趋势同上,但只有不同难度间反应时彼此差异达显著性水平

($F_{2,14} = 8.32, P < 0.01$)。

2.2 字母内容匹配任务

分别对 8 名被试各个时间点上的测试成绩,包括反应时和正确率,采用秩变换规则进行数据转换。再根据不同的难度分别对转换后的数据进行统计,其结果见表 3。

表 3 睡眠剥夺对不同难度字母内容和字母位置匹配任务的影响 ($\bar{x} \pm s, n = 8$)

时间点	字母内容匹配任务			字母位置匹配任务		
	低	中	高	低	中	高
1	21.13 ± 17.26	18.13 ± 12.16	23.38 ± 14.37	18.25 ± 13.35	23.00 ± 15.42	20.00 ± 11.14
2	24.13 ± 10.83	21.00 ± 13.54	19.38 ± 9.56	20.50 ± 13.48	25.50 ± 12.32	22.50 ± 12.49
3	29.00 ± 18.16	31.13 ± 16.87	27.31 ± 22.84	24.88 ± 19.04	20.25 ± 14.10	20.38 ± 11.78
4	45.75 $\pm 21.37^{**}$	48.13 $\pm 27.60^{**}$	39.56 $\pm 25.07^{*}$	39.50 $\pm 15.03^{**}$	47.75 $\pm 23.86^{**}$	47.38 $\pm 21.74^{**}$
5	38.00 $\pm 22.38^{*}$	39.56 $\pm 24.19^{**}$	45.13 $\pm 25.5^{**}$	35.13 $\pm 19.01^{*}$	47.50 $\pm 18.46^{**}$	35.25 $\pm 18.03^{*}$
6	42.38 $\pm 29.34^{**}$	44.63 $\pm 24.89^{**}$	43.25 $\pm 25.41^{**}$	50.75 $\pm 18.44^{**}$	36.50 ± 22.44	42.31 $\pm 21.47^{**}$
7	47.75 $\pm 24.55^{**}$	46.00 $\pm 26.22^{**}$	45.13 $\pm 26.41^{**}$	48.75 $\pm 23.76^{**}$	50.13 $\pm 26.03^{**}$	60.44 $\pm 25.40^{**}$
8	62.13 $\pm 28.13^{**}$	65.00 $\pm 25.32^{**}$	64.94 $\pm 19.88^{**}$	67.13 $\pm 24.63^{**}$	64.38 $\pm 24.66^{**}$	61.44 $\pm 20.42^{**}$
9	56.50 $\pm 22.40^{**}$	63.50 $\pm 20.52^{**}$	61.50 $\pm 16.86^{**}$	65.06 $\pm 22.19^{**}$	62.75 $\pm 24.74^{**}$	64.25 $\pm 21.92^{**}$
10	68.25 $\pm 11.36^{**}$	58.69 $\pm 14.10^{**}$	66.25 $\pm 11.94^{**}$	70.13 $\pm 11.73^{**}$	64.75 $\pm 17.04^{**}$	61.19 $\pm 20.46^{**}$
11	54.50 $\pm 28.33^{**}$	53.75 $\pm 24.28^{**}$	53.69 $\pm 25.29^{**}$	49.44 $\pm 26.87^{**}$	47.00 $\pm 26.15^{**}$	54.38 $\pm 26.50^{**}$

睡眠剥夺各时间点测验成绩与基础值(第 1 个时间点的测量值)相比: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

2.3 字母位置匹配任务

分别对 8 名被试各个时间点上的测试成绩,包

括反应时和正确率,采用秩变换规则进行数据转换。转换后再根据不同的难度分别进行统计,见表 3。

3 讨 论

在以往关于 SD 对被试认知能力的研究中,评价指标多采用反应时和正确率。由于此类实验中普遍存在“速度 - 准确性权衡”(speed - accuracy trade off)的现象,即有些被试看重正确率,有些被试看重反应速度,而看重任何一方均是以牺牲另一方为代价。鉴于此,本研究中对反应速度做了控制,具体来讲就是在每次试验(trial)中,要求被试必须在 3s 内做出反应,否则按错误处理。这样,被试就必须在确保速度的前提下,尽量提高正确率。

SD 是诱发脑力疲劳的主要方法之一,且随着 SD 时间的延长,脑力疲劳呈逐渐加重的趋势,各项认知能力也随之减弱。由于用于此类研究的认知能力测验其主要目的在于评定脑力疲劳的程度,而非在于展示脑力疲劳状态下机体的认知能力有多强;加之,SD 导致脑力疲劳是一种客观的、普遍的事实,同个人的智力水平无关;因此,此类的认知能力测验不同于测量智力的认知测验,其显著特点就是必须要足够简单,以适应于各种智力水平的个体,但同时还要足够敏感,能够反映出脑力疲劳的细微变化而不出现“天花板效应”。

为了找到一种恰当的难度水平,避免“天花板效应”,本研究对两类任务各选择了三种难度:低、中、高。从基础值结果可以看出,两类任务中,随着工作记忆负荷的增加,正确率逐渐下降,反应时逐渐延长,说明难度也在增加,经统计检验,3 种难度间存在显著性差异,说明存在难度上的梯度变化,符合预先的设计要求。从两类任务各难度的测量值来看,即便是最难的测验,正确率仍在 88% 以上,说明全部任务相当简单,被试处在正常清醒状态时均能较好地完成任务。

此处工作记忆测验是一种认知能力测验,并根据被试在此测验上的成绩来判定其脑力疲劳的程度。随着脑力疲劳程度增加,被试可能出现完全凭猜测完成测验的情况,鉴于此,每组测验刺激匹配数均预设 50%。这样通过对二项分布函数求解,就可确定出被试凭猜测完成测验的正确数临界值。

从以往的研究来看,随着脑力疲劳的加重,被试在以反应时和正确率为评定指标的认知功能测验中,正确率和反应时的变化并不同步。为了确保各时间点所得数据的可比性,在此引入了秩的概念,并根据一定的规则对原始的观察数据进行秩变换,变换后以秩为因变量进行方差分析。对秩所进行的方

差分析是一种非参数检验法,有着广泛的适用性,因为它较少受非正态性和不寻常的观察值干扰。有统计学家甚至建议当以秩和原始观察值同时做方差分析而结果不相一致时,则宁可选用前者^[7]。因此,本研究中的统计方法为秩的方差分析。

采用上述统计方法对测验数据进行统计,结果如表 3 所示。认真分析统计数据可知,两类任务三种难度的 6 项测验上,工作记忆能力随 SD 时间的延长,有着相同的变化趋势,说明 SD 对大脑左、右半球的影响情况相类似。截止到时间点 3(SD 第 1 天的 20:30),6 项分测验的成绩同基础值相比均未达显著性水平。从第 4 个时间点(SD 第 2 天凌晨 2:30)起,工作记忆能力同基础值相比显著下降,且达显著性水平。尔后,在第 5 个时间点稍有恢复,其后继续下降。在第 8 个时间点上(第 3 天凌晨 2:30),测验成绩继续大幅度下降,这反映出脑力疲劳的进一步加重。其后各时间点的测验成绩维持在一种稳定的水平,但在第 11 个时间点上成绩又有所恢复。

同以往的研究相比,实验结果有所出入。先前的研究认为短于 40h 的 SD 对短时记忆(工作记忆)的速度和错误数没有显著性影响^[8]。而本研究中,SD 超过 20h 后,工作记忆能力即呈显著下降趋势。事后对被试的访谈表明,这一结果同被试的主观感受相一致,说明本方法较之以前的方法更为敏感。

目前有关 SD 对认知能力产生负面影响的理论主要是 1983 年 Sander 提出的“唤醒水平下降”假说^[9],该理论认为随着 SD 时间的延长,唤醒水平呈下降趋势,个体所能支配的脑力资源也随之减少。当脑力资源低于某种认知作业要求时,就会出现工作成绩下降。但从观测到的数据来看,SD 所导致的唤醒水平下降,并不是一个纯粹被动的过程,其间还有大脑皮层高级中枢的调控作用。来自本实验的证据就是 SD 过程中似昼夜节律的存在(夜间工作成绩最低,每天的上午又有所恢复),和第 11 个时间点上测验成绩的提高。关于最后一个时间点上测验成绩的提高,据推测可能是由于测验临近结束,被试普遍有一种解脱感,兴奋性提高,调动储备的脑力资源,因此成绩有所恢复。需要注意的是,最后 1 次测试,成绩虽然有所恢复,但毕竟非常有限,同基础值相比依然差异显著。

参 考 文 献

- 1 Baddeley AD, Working memory. Science, 1992, 255 (5044): 556 - 559

案接龙分测验,抽象思维、双手描线、注意和速度分量表以及总分都达到了显著水平,虽然相关指数并不很高,但也达到同类测验的水平。能力倾向测验预测效度多在 0.20 与 0.30 之间,很少有超过 0.30 的^[3],这也能够理解,人的工作态度、动机和兴趣,用在工作上的时间,这几种因素共同影响工作成绩^[17]。这样,单独的能力倾向测验预测相关系数为 0.20 左右也能够证实 MAT 的效度了。

由领导对被试的能力表现进行评估是有一定准确性的^[18],考察评估结果与测验的相关也是进行效度考验的重要方法。从本研究领导评定与测验结果的相关看,领导评定的语言水平和数理运算能力与测验的一般智力相关显著,领导评定的动手实践能力和军事动作水平与测验的描画线条成绩相关显著,领导评定的语言文字能力和数理运算能力及总分与测验总分相关显著,这表明 MAT 分数与领导评定具有一定的一致性。

能力倾向不同于智力,但与之关系密切,以智力测验作为效标对能力倾向测验进行效度检验,考察其相容效度也是常见的方法^[11]。本研究显示韦氏总分与 MAT 各分量表有从 0.537 ~ 0.667 中等以上的相关,各个分测验与 MAT 中相应的分测验或分量表都有中等水平的显著相关,如韦氏测验里的数字符号与 MAT 的注意和速度分量表有 0.692 的高相关,与文字校对、数字校对、编码和图形选择有 0.54 ~ 0.679 的相关,两总分有 0.62 的相关,其相容效度得到了充分证实。

以上效度资料的分析显示了 MAT 的结构效度比较理想,四个分量表的设计符合一定职业群体侧重的能力倾向的结构,因素分析的四因子模型结果也很好地证实了这种结构的合理性;以不同职业群体的区分、训练成绩、领导评定,韦氏成人智力测验等不同校标的考察均证实了 MAT 的实证效度。这表明 MAT 的达到了预期目的。

参 考 文 献

- 1 王进礼,龚耀先. 多项能力倾向测验的初步编制. 中国临床心理学杂志, 2004, 12(2): 116 - 120
 - 2 龚耀先,等. 长 - 鞍团体智力测验手册,长沙:湖南医科大学, 1997
 - 3 龚耀先,林传鼎,张厚粲,等. 中国修订韦氏智力量表简式手册,湖南医学院, 1986
 - 4 Burt C. The structure of the mind: a review of the results of factor analysis. British Journal of Educational psychology, 1949, 19: 110 - 111
 - 5 Vernon PE. The Structure of Human Ability (rev. ed). London: Methuen, 1960
 - 6 Carretta TR, Ree MJ. Factor structure of the air force officer qualifying test: analysis and comparison. Military Psychology, 1996, 8: 29 - 42
 - 7 Carretta TR, retzlaff PD, callister JD, et al. A comparison of tow U. S. Air Force pilot aptitude tests. Aviation, space, Environment Medicine, 1998, 69: 931 - 935
 - 8 孟庆茂,侯杰泰. 协方差结构模型与多层线性模型原理及应用. 北京师范大学心理计量与统计分析教研室, 2001
 - 9 洪 炜,龚耀先. 一般行政能力倾向测验的建构及信度、效度研究. 中国临床心理学杂志, 2000, 8(1): 1-6
 - 10 Murphy KR, Davidshofer CD. Psychological Testing. Prentice - Hall, Inc, 1994
 - 11 郑日昌. 心理测量. 湖南教育出版社, 1985. 126
 - 12 陈明终,许胜哲,吴清山. 我国心理教育测验汇编. 高雄复文书局, 1988
 - 13 吴天敏. 提高智慧的再次研究. 心理学报, 1985, 4
 - 14 吴福元. 大学生的智力发展与智力结构. 教育研究, 1983, 4
 - 15 R.L 桑代克, E. P. 哈根. 心理与教育的测量和评价. 北京:人民教育出版社, 1985. 65 - 88
 - 16 (美) 安尼. 安娜斯塔西, 苏珊娜. 厄比纳 著, 缪小春, 竺培梁 译. 心理测验. 浙江教育出版社, 2001. 154 - 164
 - 17 Atkinson JW, Malley AO. Motivation and ability: Interactive psychological determinants of intellectual performance, educational achievement, and each other. Orlando, FL: Academic Press. 1997. 29 - 60
 - 18 Robbins TL, Denisi AS. A closer look at interpersonal affect as a distinct influence on cognitive processing in performance appraisal. J Applied psychology, 1994, 79(3): 341 - 353
- (收稿日期: 2004-03-06)
-
- (上接第 334 页)
- 2 张清芳,朱 滢. 工作记忆和推理. 心理学动态, 2000, 5: 12 - 17
 - 3 Alan G, Michael ES, Harrison L, et al. Monitoring working memory load during computer - based tasks with EEG pattern recognition methods. Human Factors, 1998, 40(1): 79 - 91
 - 4 Alan G, Michael ES. Detecting transient cognitive impairment with EEG pattern recognition methods. Aviat Space Environ Med, 1999, 79(10): 1018 - 1024
 - 5 曹雪亮, 苗丹民, 皇甫恩. 工作记忆测验练习效应的个案研究. 中国临床心理学杂志, 2003, 11(1): 48 - 50
 - 6 Quant JR. The effect of sleep deprivation and sustained military operation on near visual performance. Aviat Space Environ Med, 1992, 63(3): 172 - 176
 - 7 Douglas CM 著, 汪仁官, 陈荣昭, 译. 实验设计与分析. 第 3 版. 北京: 中国统计出版社, 1998. 141 - 142
 - 8 宋国萍, 皇甫恩, 苗丹民, 等. 小睡对 40 小时睡眠剥夺条件下短时记忆的影响. 心理科学, 2002, 25(5): 603 - 604
 - 9 Sanders AF. Towards a model of stress and human performance. Acta Psychol, 1983, 53(1): 61 - 97
- (收稿日期: 2004-03-06)