·综 述·

注意力测试工具的分类及其在睡眠剥夺干预药物评价中的应用

徐子扬，谭 军，邓 敏，陈礼治，王 卓*
（海军军医大学第一附属医院药剂科，上海 200433）

摘要：睡眠剥夺（sleep deprivation，SD）会对人的注意力造成显著损害。评价 SD 对注意力的损害及其干预药物、干预措施时常需要开展 SD 试验，并使用注意力测试工具评价不同 SD 条件对人注意力的影响情况。选用合适的注意力测试工具时，需要综合考虑不同方法的优缺点。现通过回顾近年来 SD 对注意力影响的相关文献，总结归纳注意力测试工具及其分类，分析不同工具在 SD 干预药物试验中的特点，为注意力测试评价中测试方法的选择提供思路。

关键词：注意力；测试工具；睡眠剥夺；药物临床试验；分类汇总
中图分类号：R-33 **文献标志码：**A **文章编号：**1672-9188（2022）06-0793-06
DOI：10.13683/j.wph.2022.06.025

Classification of attention testing instruments and application in the evaluation of sleep deprivation intervention medications

XU Ziyang, TAN Jun, DENG Min, CHEN Lizhi, WANG Zhuo*
（*Department of Pharmacy, the First Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China*）

Abstract: Sleep deprivation（SD） causes significant impairment of attentional capacity in humans. The evaluation of SD impairment of attention and its intervention drugs and measures often requires pilot studies of SD and the use of attention testing tools to evaluate the effect of different SD conditions on a person's attention. It is necessary to comprehensively consider the advantages and disadvantages of different methods and select appropriate attention testing tools. This article reviewed the literature on the effects of SD on attention in recent years, summarized and classified the relevant attention testing tools, analyzed the characteristics of different instruments in drug trials of SD interventions, and to provide ideas for the selection of test methods in the evaluation of attention tests.

Key words: attention; test instrument; sleep deprivation; clinical drug trial; category summary

睡眠是恢复脑力的重要途径，其对人的认知功能至关重要，尤其是注意力的集中性以及记忆力的长期巩固[1-2]。睡眠剥夺（sleep deprivation，SD）是指个体睡眠时间未能满足机体为保持清醒和警觉所需的睡眠时间[3]。国内外大量研究表明，SD 对健康人群造成的认知功能损害主要表现在学习能力、记忆力、注意力、警觉性及执行功能等方面[4-6]。SD 会导致注意力分散及出现幻觉等症状[7-8]，部分药物可以预防或减缓 SD 对包括注意力在内的作业能力的损伤，但其具体的神经生物学机制目前尚未完全阐明[9]。

在近些年出现的重大公共事件及军事作业中，由于高强度工作、恶劣的周围环境等影响，SD 是现场作业人员极为常见的情形[10]。睡眠不足极大影响着人员面对重大公共事件的处置速度以及军事作业的效率。探索 SD 条件下注意力的变化情况，寻找合适的干预药物、用量以及药物干预的最佳时机，对

收稿日期：2022-03-06
作者简介：徐子扬，硕士研究生，研究方向：临床药学。
通信作者：王卓，主任药师，教授，博士生导师，研究方向：临床合理用药及临床药动学相关研究。
基金项目：十三五国家科技重大专项重大新药创制军特药专项（2018ZX09J18108-004-002）；2019年度军队后勤科研项目保健专项（19BJZ01）

减少 SD 对注意力的损害，提高特定条件下的作业能力具有重要意义。

上述 SD 条件下的相关研究离不开注意力测试评价，目前注意力测试以主观测试为主[11]，通过不同目标方向的测试工具，评价受试者的注意力相关指标。不同的测试工具所使用的测试媒介也有不同的特点。本文对既往文献报道的注意力测试工具进行汇总和分类，并对其在 SD 及相关干预药物评价试验中的应用特点进行介绍。

1 按照注意力测试指标分类

按照注意力指标可将注意力测试工具分为持续性注意力测试工具和选择性注意力测试工具[12]。

1.1 持续性注意力测试工具

持续性注意被定义为对单一信息源在连续的一段时间内的注意保持[13]。其是与警觉唤醒紧密联系的一种注意形式，用来说明个体的生理效能状态。持续性注意力可反映注意维持能力和冲动性。广义地说，持续注意力不同于其他类别的注意力，取决于所需活动的持续时间[14]。也就是说，持续的注意力需要观察者在一段较长的时间内保持对特定任务的参与。

持续操作功能测试（continuous performance test，CPT）为持续性注意力测试的经典方法，大多数 CPT 研究遵循 Rosvold 和 Mirsky 所使用的基本模式[15]，即在计算机屏幕上随机出现不同的字母，受试者必须在键盘上按下 1 个键来响应 1 个特定的目标，如字母“X”。在经典 CPT 的基础上，也出现了很多改良版本的 CPT，例如“A-X”任务，其中目标是 1 个“X”，前面必须有 1 个“A”或其他特定的字母组合才需要受试者作出响应。主要考察的指标有反应时间、错误率、正确率及正确反应时间等[16]。

1.2 选择性注意力测试工具

选择性注意通常被描述为在过滤掉无关信息的同时，关注相关信息并确定其优先级的能力[17]。选择性注意既可集中亦可分配。在集中注意中，要求个体注意 1 个或一类信息而排除其他的信息；而在分配注意中，个体要对两个或更多的信息或更多类信息进行时间分配。尽管选择性注意任务有许多类型，但其都是用于测试选择性、抵制分心和改换策略这 3 个相互区别的成分[18]。

斯特鲁普试验是选择性注意力测试的经典方法[19]，即随机呈现字色一致（如红色的“红”字）、字色矛盾（如红色的“绿”字）及字色无关（如蓝色的“冠”字）共 3 种类型色块，所有类型混杂在一起随机排列。要求被试者对红、黄、蓝及绿 4 种颜色点击对应色按钮。测试中的刺激信息包括两个特征，即颜色和字意。冲突条件下，对颜色作反应要受到字义的干扰，涉及对目标字的选择、对干扰的抑制等，是 1 个选择注意的范式，包含了集中注意和分散注意。研究证实，SD 后受试者斯特鲁普试验成绩错误率增加，反应时间延长，且随着 SD 时间的延长，测试成绩错误率和反应时间均显著增加，说明了 SD 后选择性注意力受到损害，并随着剥夺时间的延长，损害加重，而斯特鲁普试验能较好地反映相关损害[20]。

2 按照注意力测试工具媒介分类

按照测试媒介可将注意力测试工具分为纸笔和软件。纸笔操作取材较容易，准备工作便捷，受试者操作流程熟悉，测试题需提前准备，随机性人为可控，成本较低，是一种常见的注意力测试工具，但同时也存在保存时效短、统计繁琐等问题。软件是目前较为主流的注意力测试工具，利用计算机、平板等终端设备进行的注意力测试软件，操作简单，管理便捷，占用场地小，数据统计清晰。根据试验要求合理地组合各种测试，可以更加直观地反映出受试者的注意力指标，更加系统地分析注意力的变化。同时，可以及时获取所需参数，并进行相应调整。相对于纸笔，该方式下的原始数据更精确，且更易于保存。

3 按照注意力工具测试内容分类

按照测试内容可将注意力测试工具按模块进行区分，综合各个模块组成核心能力测试，可作为评

价注意力的综合测试工具。

3.1 形状模块

字母划销测验（letter cancellation task，LCT），要求受试者尽可能迅速和准确地按顺序（从左到右、从上到下）搜索和标识特定的字母[21]。如目标字母为 C、G、N，干扰字母为除目标字母外的 22 个字母。测试时每行包括 9 个目标字母和 44 个干扰字母随机排列，每页共 10 行，记录完成时间和正确率。LCT 不仅简便易行，而且重复效应小，有较高的生态效度，可以应用在现场和大规模的人群。研究表明，将 LCT 用于反映 SD 对注意力的影响有较好的敏感性，其敏感性取决于目标字母的数量[22]。

3.2 方向模块

go/no-go 测试采用随机呈现的左或右箭头，每个刺激呈现的时间为 200 ms，刺激间隔 800 ms，操作流程如图 1[23]。测试中要求受试者对 go 刺激作出反应，在保证正确率前提下尽快应答。记录其反应时间和应答正确率。Honn 等[24] 研究证实，go/no-go 测试能较好地反映受试者的视觉注意力水平。

3.3 声音模块

手控跟踪加听觉 oddball 双任务测试时，黑色荧光屏上呈现一个随机折线运动的黄色光点，要求受试者以右手操纵游戏杆控制一个“十”字光标跟踪光点，在完成跟踪的同时耳机中随机呈现高、低音两种声音，以高音作为标准刺激。要求受试者在尽最大努力跟踪好光标的同时，当听到标准刺激（高音）时按“F”键作出快速反应，当听到偏差刺激（低音）时按“J”键作出快速反应，操作流程如图 2[25]。其跟踪误差及正确率由计算机自动测算。作为基于 go/no-go 的测试，除了被要求在标准刺激时作出反应，在偏差刺激时同样要求作出反应。oddball 双任务测试被认为是一种比较合理的探测大脑功能状态的方法，其结果可用来探测人的脑力资源水平，同时可部分模拟飞行员的驾机作业[26]。

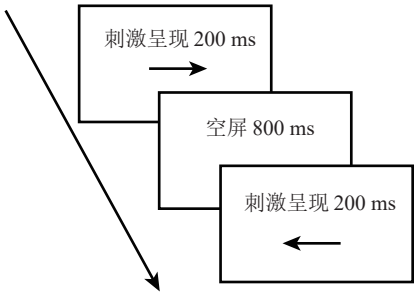


图 1 go/no-go 操作界面（箭头方向为操作顺序方向）
Figure 1 The operation interface of go/no-go (arrow direction is the operation order direction)

3.4 数字模块

视知觉检索（visual cognitive search，VCS）测试每题由 0 ～ 9 中的 9 个数字随机排序组成数串，随

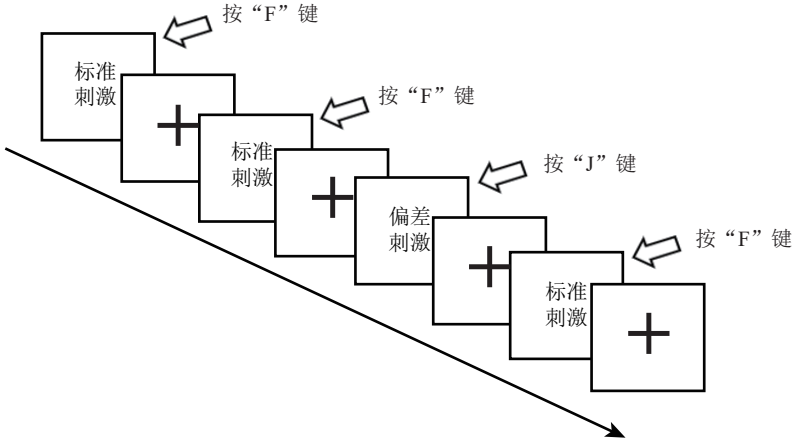


图 2 手控跟踪加听觉任务操作流程（箭头方向为操作顺序方向）
Figure 2 Task operation flow of manual tracking plus auditory (arrow direction is the direction of operation sequence)

机缺少其中 1 个数字，要求受试者迅速用小键盘输入所缺数字。如超过规定时间则自动呈现下一串数串，共 10 组，操作界面如图 3，反应时间和应答正确率均由计算机记录。在多项研究中，VCS 测试被用于评估 SD 对受试者注意力的影响，而小剂量咖啡因则被证实可改善 SD 导致的注意力受损 [27-28]。

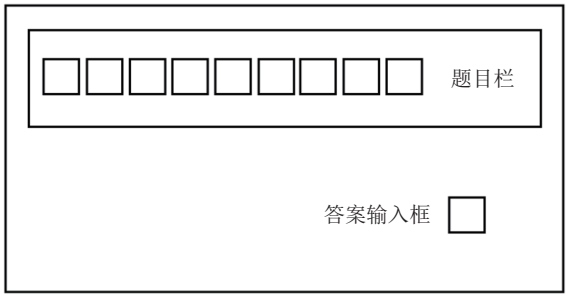


图 3 VCS 界面
Figure 3 The interface of VCS

3.5 警惕性模块

警戒作业模拟任务（psychomotor vigilance task，PVT）主要考察持续性注意力，要求被试者面对屏幕中心随机出现的红色圆点进行按键反应，操作界面如图 4，刺激出现间隔为 2 ～ 10 s，测试持续 10 min[29]。在注意力测试中，对注意力不集中最常见的定义是 PVT 的反应时间持续超过 500 ms[30]。因为对睡眠损失敏感，且对许多与运输相关的事故具有生态效度，故 500 ms 这一标准被广泛使用。有学者在研究中利用了 PVT 探究，并明确了 SD 对健康人群注意力的影响 [31]。

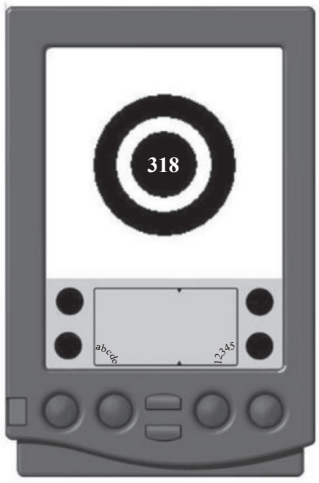


图 4 PVT 操作界面
Figure 4 The operation interface of PVT

注意力测试工具种类繁多，不同的注意力测试工具的特点也各不相同，可根据研究目的、观察指标及研究条件等需求选用 1 种或多种测试工具，上述常用注意力测试工具的主要特点总结如表 1。

4 讨论与小结

注意力测试的主观性极强，这也导致其极易被各种因素所影响。个人保持注意力的能力是高度可训练的，认知训练有助于改善认知功能 [32]。通过训练可以改善空间注意力和执行功能。在许多评价药

表 1 注意力测试工具分类及特点
Table 1 Classification and characteristics of attention test instruments

注意力测试工具分类	注意力测试工具名称	特点
按注意力测试指标	持续性注意力，CPT	正确率高，反应时间短，信度高，是注意力测试的经典工具
	选择性注意力，斯特鲁普试验	同时考察注意力的认知学习能力，以及SD后选择性注意力
按注意力测试工具媒介	纸笔	传统方法，取材简易，保存不易
	软件	现代媒介，操作便捷，数据统计简便
按注意力测试工具内容	形状模块，字母划销	简便易行，重复效应小。有较高的生态效度，可应用在现场和大规模的人群
	方向模块，go/no-go	通常用于评估反应抑制，反映SD对持续注意力的影响
	声音模块，oddball	一种比较合理的探测大脑功能状态的方法，可部分模拟飞行员驾机作业
	数字模块，VCS	选择性注意力测试方法，涉及复杂视觉信息的任务中，灵敏度下降或反应偏差改变均可产生影响
	警惕性模块，PVT	主要评估持续性注意力测试，对脑力疲劳具有较好的敏感性，分析指标全面

物对 SD 干预效果的研究中，不同受试者对不同注意力测试方法的接受程度各不相同，所以在开展研究前学习并熟悉测试工具十分必要。同时，由于不同模块下的测试侧重点各不相同，故还需全面考虑测试方式、测试环境以及测试时间等因素。

注意力测试方法是多样的，在经典方法的基础上，可以根据实际需求，在不改变经典测试方法框架的基础上，对经典方法进行针对性改良，如通过调整题目数量、测试时间、测试难度及测试要素等，以提高测试的效度。各类不同作用机制的干预药物，其干预效果可以通过不同的注意力测试指标分别评价，并进行综合比较，这样有利于总结药物的特点，在实际应用时可有针对性地合理选用。

多种注意力测试工具被用于评价 SD 对注意力的损害以及相关药物的疗效。大部分研究表明，SD 对注意力具有明确的影响作用，可导致相关评价指标呈下降趋势，而药物治疗是逆转这种影响的有效方法，可改善 SD 导致的注意力下降 [33]。正确选用注意力测试工具，有利于科学、高效地遴选出最合适的干预药物和用药的最佳方案。

参考文献：

[1] Cordi MJ, Rasch B. How robust are sleep-mediated memory benefits?[J]. Curr Opin Neurobiol, 2021, 67: 1-7.

[2] Paller KA, Creery JD, Schechtman E. Memory and sleep: how sleep cognition can change the waking mind for the better[J]. Annu Rev Psychol, 2021, 72: 123-150.

[3] Grandner MA, Alfonso-Miller P, Fernandez-Mendoza J, *et al*. Sleep: important considerations for the prevention of cardiovascular disease[J]. Curr Opin Cardiol, 2016, 31(5): 551-565.

[4] Csipo T, Lipecz A, Owens C, *et al*. Sleep deprivation impairs cognitive performance, alters task-associated cerebral blood flow and decreases cortical neurovascular coupling-related hemodynamic responses[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 20994.

[5] Kurinec CA, Whitney P, Hinson JM, *et al*. Sleep deprivation impairs binding of information with its context[J]. Sleep, 2021, 44(8): zsab113.

[6] Olpinska-Lischka M, Kujawa K, Maciaszek J. Differences in the effect of sleep deprivation on the postural stability among men and women[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(7): 3796.

[7] Whitney P, Hinson JM, Nusbaum AT. A dynamic attentional control framework for understanding sleep deprivation effects on cognition[J]. Prog Brain Res, 2019, 246: 111-126.

[8] Batuk IT, Batuk MO, Aksoy S. Evaluation of the postural balance and visual perception in young adults with acute sleep deprivation[J]. J Vestib Res, 2020, 30(6): 383-391.

[9] Santello M, Toni N, Volterra A. Astrocyte function from information processing to cognition and cognitive impairment[J]. Nat Neurosci, 2019, 22(2): 154-166.

[10] Matsangas P, Shattuck NL. Sleep quality, occupational factors, and psychomotor vigilance performance in the U.S. Navy sailors[J]. Sleep, 2020, 43(12): zsaa118.

[11] Moller MC, de Boussard CN, Oldenburg C, *et al*. An investigation of attention, executive, and psychomotor aspects of cognitive fatigability[J]. J Clin Exp Neuropsychol, 2014, 36(7): 716-729.

[12] Lee JB, Kocherginsky M, Cherney LR. Attention in individuals with aphasia: performance on the Conners' continuous performance test - 2nd edition[J]. Neuropsychol Rehabil, 2020, 30(2): 249-265.

[13] Esterman M, Rothlein D. Models of sustained attention[J]. Curr Opin Psychol, 2019, 29: 174-180.

[14] Shalev L, Ben-Simon A, Mevorach C, *et al*. Conjunctive continuous performance task(CCPT)– a pure measure of sustained attention[J]. Neuropsychologia, 2011, 49(9): 2584-2591.

[15] MacQueen DA, Minassian A, Henry BL, *et al*. Amphetamine modestly improves Conners' continuous performance test performance in healthy adults[J]. J Int Neuropsychol Soc, 2018, 24(3): 283-293.

[16] Shaked D, Faulkner LMD, Tolle K, *et al*. Reliability and validity of the Conners' continuous performance test[J]. Appl Neuropsychol Adult, 2020, 27(5): 478-487.

[17] Plebanek DJ, Sloutsky VM. Selective attention, filtering, and the development of working memory[J]. Dev Sci, 2019, 22(1): e12727.

[18] Fisher AV. Selective sustained attention: a developmental foundation for cognition[J]. Curr Opin Psychol, 2019, 29: 248-253.

[19] Fisk GD, Haase SJ. Classic Stroop color words produce no

stroop effect when the display characteristics are based upon emotional Stroop studies with subliminal presentations[J]. Psychol Rep, 2020, 123(4): 1207-1225.

[20] Skurvydas A, Zlibinaite L, Solianik R, *et al*. One night of sleep deprivation impairs executive function but does not affect psychomotor or motor performance[J]. Biol Sport, 2020, 37(1): 7-14.

[21] Dixit A, Thawani R, Goyal A, *et al*. Psychomotor performance of medical students: effect of 24 hours of sleep deprivation[J]. Indian J Psychol Med, 2012, 34(2): 129-132.

[22] Casagrande M, Violani C, Curcio G, *et al*. Assessing vigilance through a brief pencil and paper letter cancellation task(LCT): effects of one night of sleep deprivation and of the time of day[J]. Ergonomics, 1997, 40(6): 613-630.

[23] Gardiner E, Jackson CJ, Loxton NJ. Left hemispheric lateral preference and high neuroticism predict disinhibition in two go/no-go experiments[J]. J Pers, 2015, 83(1): 84-96.

[24] Honn KA, Hinson JM, Whitney P, *et al*. Cognitive flexibility: a distinct element of performance impairment due to sleep deprivation[J]. Accid Anal Prev, 2019, 126: 191-197.

[25] Yuan J, He Y, Qinglin Z, *et al*. Gender differences in behavioral inhibitory control: ERP evidence from a two-choice oddball task[J]. Psychophysiology, 2008, 45(6): 986-993.

[26] Shin E, Chong SC. Electrophysiological revelations of trial history effects in a color oddball search task[J]. Psychophysiology, 2016, 53(12): 1878-1888.

[27] 杨朝晖, 皇甫恩, 刘宁, 等. 重复口服小剂量咖啡因对完全睡眠剥夺条件下视知觉检索能力的影响[J]. 第四军医大学学报, 2000, 21(1): 34-37.

[28] Pomplun M, Silva EJ, Ronda JM, *et al*. The effects of circadian phase, time awake, and imposed sleep restriction on performing complex visual tasks: evidence from comparative visual search[J]. J Vis, 2012, 12(7): 14.

[29] Lim J, Dinges DF. Sleep deprivation and vigilant attention[J]. Ann NY Acad Sci, 2008, 1129: 305-322.

[30] Killgore WDS, Kamimori GH. Multiple caffeine doses maintain vigilance, attention, complex motor sequence expression, and manual dexterity during 77 hours of total sleep deprivation[J]. Neurobiol Sleep Circadian Rhythms, 2020, 9: 100051.

[31] Yang FN, Xu S, Chai Y, *et al*. Sleep deprivation enhances inter-stimulus interval effect on vigilant attention performance[J]. Sleep, 2018, 41(12): zsy189.

[32] Fortenbaugh FC, DeGutis J, Esterman M. Recent theoretical, neural, and clinical advances in sustained attention research[J]. Ann NY Acad Sci, 2017, 1396(1): 70-91.

[33] 杜丽娜, 袁伯川, 孙云波, 等. 提升军事作业能力药物研究进展[J]. 军事医学, 2021, 45(8): 561-567.

(编辑：王 佳)