

# 室内照度和时间对警觉性和视空绩效的影响\*

熊晓<sup>1,2</sup> 朱莹莹<sup>1</sup> 陈庆伟<sup>1</sup> 汝涛涛<sup>\*\* 2,3</sup> 周国富<sup>2,3,4</sup>

(<sup>1</sup> 华南师范大学心理学院, 广州, 510631) (<sup>2</sup> 华南师范大学国家绿色光电子国际联合研究中心, 广州, 510006)

(<sup>3</sup> 华南师范大学先进光电子研究院, 广州, 510631) (<sup>4</sup> 深圳市国华光电科技有限公司, 深圳, 518110)

**摘要** 研究发现夜间室内光照环境对认知加工和警觉性存在显著影响, 但白天正常工作状态下室内照度对个体警觉性和认知加工, 特别是视空加工绩效 (如视空工作记忆和视空能力) 的影响则鲜有考察。本研究主要探讨了白天室内照度对警觉性 (采用卡罗林斯卡睡眠量表和精神警觉性任务), 视空工作记忆 (采用柯西块和点记忆任务) 和视空能力 (采用隐藏模型, 卡片旋转和镶嵌图形测验) 的影响及其时间效应。结果显示: (1) 高照度下柯西块任务成绩明显高于低照度; (2) 与低照度相比, 高照度能够显著提高个体警觉性, 且该作用在下午尤为明显; (3) 不同照度水平对点记忆任务、视空能力均无显著影响。本研究结果表明, 白天室内照度对视空绩效存在一定促进作用, 但该作用具有任务依赖性。照度水平对警觉性的影响受到测量时间的调节。

**关键词** 室内照度 视空工作记忆 视空能力 警觉性

## 1 引言

光照对人们的生活、学习和工作都有举足轻重的作用, 它为我们提取事物的视觉信息提供基本的环境保障。自第三类感光细胞—内在光敏感性视网膜神经节细胞 (ipRGCs) (Berson, Dunn, & Takao, 2002) 被发现后, 大量研究证明光能通过 ipRGCs 对机体的激素分泌、昼夜节律、生理状态、认知表现及大脑神经活动等身心功能产生非视觉影响, 即光照的非视觉效应 (朱莹莹, 汝涛涛, 周国富, 2015)。

以往关于光照非视觉效应的研究多集中在探讨夜间照明对心理活动的影响 (Kretschmer, Griefahn, & Schmidt, 2011; Kretschmer, Schmidt, & Griefahn, 2012), 而对白天正常活动状态下 (即无睡眠压力或褪黑素分泌) 室内照度<sup>①</sup>对心理活动的影响研究关注较少。近年来, 研究者们对日间室内照明的非视觉作用开展了一些研究。例如, 在警觉性方面, Smolders 等人考察了室内照度和时间对警觉性的影响, 结果发现高照度环境下个体的警觉性明显高于低照度, 且该促进作用与时间无明显相关 (Smolders, de Kort, & Cluitmans, 2012); 而近期一项研究发现

照度对个体警觉性的影响受到时间的调节, 即在上午, 高照度下的警觉性显著高于低照度, 而在下午, 两种照度对警觉性无显著影响 (Huiberts, Smolders, & de Kort, 2015)。造成上述研究结果的不一致可能与研究工具的选用 (如二者均使用主观性较强的警觉性量表进行评定, 而缺乏较为客观的测量指标进行系统考察) 和实验方法 (如上述研究均未评估个体实验前的警觉状态, 仅将实验结束后的评估结果作为统计指标进行差异分析, 使实验前个体警觉性的差异未得到较好控制) 等不无相关。因此本研究基于前人的研究不足, 采用主、客观两种测量指标对个体警觉性进行考察以揭示日间室内照明对个体警觉性的影响及其时间效应。

在认知加工方面, 研究者发现白天正常工作状态下, 室内照度对个体的注意、记忆等基本认知活动亦具有显著影响。譬如, 高照度光环境下被试工作记忆的认知加工明显好于低照度 (Smolders et al., 2012)。不仅如此, 研究者还发现室内照度对工作记忆的影响会受到时间和任务难度的影响。Huiberts 等人 (2015) 发现下午高照度下的工作记忆成绩显著好于上午; 高照度有利于被试对较难工作记忆任务的加工, 而对较易的工作记忆任务影响较不明显

\* 本研究得到国家重点研发计划项目 (2016YFB0401202)、国家自然科学基金项目 (U1501244, 51561135014) 和国家高等学校学科创新引智计划 111 引智基地项目的资助。

\*\* 通讯作者: 汝涛涛。E-mail: taotao.ru@scau.edu.cn

①光照强度的简称, 为单位面积上的光通量的多少, 单位为勒克斯 (lx)。

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20180606

(Huiberts, Smolders, & de Kort, 2016)。尽管前人对白天室内照度对工作记忆的研究较为深入,但多集中在言语工作记忆中,而对视空信息加工方面则鲜有考察。在视空信息加工领域,对视空间信息的存储与加工是个体重要的空间信息加工能力,尤其体现在视空工作记忆和视空能力两方面。其中视空工作记忆是工作记忆的子成分之一,主要负责视觉信息和空间信息的暂时存储和加工,在空间定位以及视空问题的解决中扮演着重要角色。视空能力则是指运用视觉认知来加工视觉环境、物体特性、空间位置等进行感知,通过想象、推理等空间技能进行心理操作的能力(范晓壮, 2015)。早期,有研究者察了三种室内照度水平(80lx、160lx和320lx)对视空能力的影响,结果显示,日间室内照度对视空能力并无显著影响(Nelson, Hopkins, & Nilsson, 1983; Veitch, 2001)。然而Nelson等人的研究中,三种照度水平下的视空能力成绩无显著差异可能是由于该研究所使用的照度水平偏低,根据以往研究我们发现日间高照度( $\geq 1000$  lx)光照环境下诱发的非视觉作用更加明显(Rüger, Gordijn, de Vries, & Beersma, 2005; Smolders, de Kort, & Cluitmans, 2016)。

此外,值得一提的是, Vandewalle 等人曾进行一系列严格的实验室研究系统考察白天正常活动状态下室内照明对认知功能及其背后的脑神经机制,结果显示:高照度下被试执行注意和工作记忆任务时,与警觉、注意相关的顶-枕网络(顶内沟、顶上小叶和背外侧前额皮层)被显著激活(Vandewalle et al., 2006);相比绿色光,个体在蓝色光下加工工作记忆任务时会显著激活额叶、顶叶及丘脑等与工作记忆相关的脑区(Vandewalle et al., 2007)。该结论为进一步探究白天室内照度与认知加工间的关系提供了扎实的理论基础和实证依据。

综上所述,本研究在前人研究的基础上欲进一步考察日间室内光照照度对视空工作记忆、视空能力和警觉性的影响。此外,研究发现个体的警觉性和认知加工会随生理周期和内稳态睡眠趋势的变化而发生改变(Schmidt, Collette, Cajochen, & Peigneux, 2007)。因此,本研究另一个目的即探讨白天室内照度水平对上述主客观指标的影响是否存在时间效应。研究采用 $2 \times 2$ 两因素混合设计,自变量为室内照度和时间。因变量为任务反应时、正确率以及量表分数。基于前人研究,本实验预期高照度能够提

高视空工作记忆和视空能力,同时对警觉性产生明显的促进作用,且该作用受时间的调节。

## 2 方法

### 2.1 被试

选取在校大学生34人(男14人),年龄 $19.65 \pm 1.63$ 岁。视力或矫正视力正常,无色盲或色弱,右利手。筛选标准如下:身心健康(GHQ-20)(李虹,梅锦荣, 2002);无睡眠障碍(PSQI);无极端睡眠类型(MEQ)(张斌,郝彦利,荣润国, 2006);无情绪情感障碍(BDI-II);近一个月未参加轮班工作或有跨时区经历;无药物依赖;无吸烟酗酒;无咖啡、浓茶等饮用,未参加过类似实验。实验结束后可获得一定报酬。

### 2.2 实验设计

采用 $2$ (照度:200lx vs. 1000lx) $\times 2$ (时间:上午 vs. 下午)的混合设计,照度为被试内变量。所有被试需来两次,期间至少间隔2天且测验时间保持一致。实验条件在被试间平衡。

### 2.3 实验室的设置与实验仪器

整个实验在全封闭的房间内进行。室内天花板上共镶嵌九个格栅灯,每个格栅灯内安装三根LED灯管(Philips, T8 20W/865, 6500 K; CRI = 82)。照度水平通过控制灯管数量来实现,由光谱辐射计(JETI, Specbos 1201, 已年检)测得。实验开始前20min打开照明装置以确保光线稳定。两照度条件下的最低照明均匀度分别为.87和.83。墙壁、地面、桌面反射率分别为71.5%, 18%和28%。室温为25℃,湿度为40%~60%。

19.5英寸的显示器用于呈现实验刺激,屏幕分辨率为 $1600 \times 900$ ,刷新率为60Hz。

### 2.4 实验材料

#### 2.4.1 主、客观警觉性

(1)主观警觉性:采用卡罗林斯卡睡意量表(Karolinska Sleepiness Scale, KSS)(Åkerstedt & Gillberg, 1990)评估被试的主观警觉性。该量表只有一个题目,9点评分:1“极度清醒”,9“极度困乏”。

(2)客观警觉性:采用听觉版精神警觉性任务(Psychomotor Vigilance Task, PVT)(Smolders & de Kort, 2014)测量客观警觉性。听觉刺激为400Hz的一个“滴”声,ISI为1~9s。被试听到刺激后立即按下空格键进行反应。

## 2.4.2 视空任务

### (1) 视空工作记忆任务：

柯西块积木任务：选用记忆广度为4的计算机版柯西块积木任务（Miyake, Friedman, Rettinger, Shah, & Hegarty, 2002）。测试材料由九个不规则排列的白色方格组成，在各试次中，先有几个白色方格按随机顺序变为黑色方格（每次只变一个）。要求被试记住黑色方格依次出现的位置（图 1a）。特定顺序呈现结束后，被试需用鼠标按顺序点击相应的白色方格。任务开始前先进行若干练习，正式实验共 20 个试次。

点记忆任务（Lin, Wang, & Kang, 2015）：首先呈现“+”注视点，接着会有黑点以随机顺序依次出现在  $4 \times 4$  的空白网格上。被试需记住黑点依次出现的位置，并在随后呈现的空白网格中进行点击（图 1b）。任务记忆广度为 4，任务开始前有若干练习，正式实验共 20 个试次。

(2) 视空能力测验：包括空间知觉、心理旋转和空间视觉化三个成分（Linn & Petersen, 1985）。

空间知觉：使用隐藏模型测验（the hidden patterns test, HPT）（Eckstrom, French, Harman, & Dermen, 1976）。屏幕中央会呈现简单图及测试图（图 1c）。

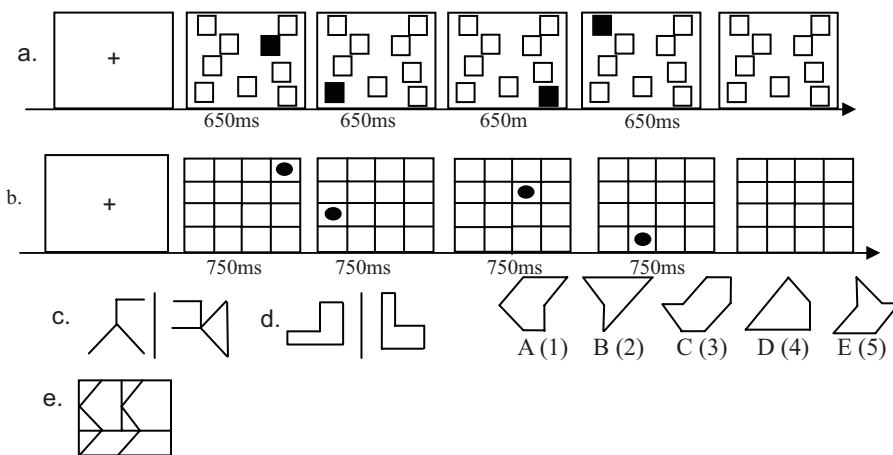


图 1 实验材料示例图

被试需判断测试图中是否包含简单图。测验共 200 题，限时 3 分钟。

心理旋转：使用卡片旋转测验（the card rotations test, CRT）（Eckstrom et al., 1976）。屏幕中央会呈现目标图及测试图（图 1d）。被试需判断测试图是否为目标图的平面旋转图。测验共 80 题，限时 3 分钟。

figures test, EFT）（Eckstrom et al., 1976）（图 1e）。每个反应界面均由五个简单图和一个复杂图组成，被试需从复杂图中找出简单图。测验共 16 题，限时 12 分钟。

## 2.4.3 室内光环境评估

该问卷共八个条目，其中四个条目用来评估对环境光的愉悦程度（不愉悦—愉悦，不舒服—舒服，不柔和的—柔和的，眩光—不眩光）， $\alpha$  系数为 .81。另四个条目分别评估光环境的色温（冷—暖）、亮度（暗—亮）、均匀性（不均匀—均匀）以及刺激性（放松—刺激）。采用 5 点等级评定：1 “一点也不或没有”，5 “非常”。

## 2.5 实验程序

被试进入实验室后，首先进行 10 分钟的光环境适应，期间主试讲解实验指导语，说明实验流程，签署知情同意书，并对被试的警觉性进行测量。随后被试完成视空工作记忆任务，接着进行第二次警觉性测试，测试完成后，被试进行视空能力测验，最后再次进行警觉性测量并完成室内光环境评估。

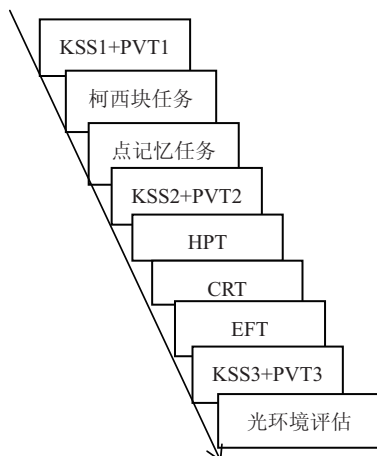


图 2 实验流程图

空间视觉化：使用镶嵌图形测验（the embedded



实验结束后, 被试方可离开实验室。整个实验时长约 50 分钟。具体实验流程如图 2。

### 3 结果

采用 SPSS 19.0 对实验数据进行统计分析。在 PVT 任务上, 剔除反应时小于 100ms 或大于 500ms 的试次 (Slama, Deliens, Schmitz, Peigneux, & Leproult, 2015), 并计算剩下试次的平均反应时。对于视空工作记忆, 因变量为被正确回忆的位置总数 (Lin et al., 2015)。对于视空能力测验, 将反应时和正确率作为因变量, 反应时方面剔除各分测验中的错误反应及  $M \pm 3SD$  之外的数据 (200lx 和 1000lx: HPT 剔除率 1.66% 和 1.69%, Card 剔除率 1.53% 和 1.90%, EFT 剔除率 0.32% 和 0.32%)。然后对视空任务和室内光环境评估进行 2 (照度)  $\times$  2 (时间) 两因素重复测量方差分析, 对主客观警觉性进行 2 (照度)  $\times$  2 (时间)  $\times$  3 (时间点) 三因素重复测量方差分析。不同实验条件下各因变量指标的描述统计如表 1 所示。

#### 3.1 主、客观警觉性

PVT 任务: 照度主效应显著,  $F(1, 32) = 4.63$ ,  $p = .039$ ,  $\eta^2 = .13$ ; 被试在高照度下的反应时 ( $M = 311.63\text{ms}$ ) 显著短于低照度 ( $M = 317.85\text{ms}$ )。照度与时间交互作用显著,  $F(1, 32) = 6.00$ ,  $p = .02$ ,  $\eta^2 = .16$ ; 在下午, 被试在高照度下的反应速度 ( $M = 313.45\text{ms}$ ) 显著快于低照度 ( $M = 326.76\text{ms}$ ),  $F(1, 32) = 9.99$ ,  $p = .003$ ,  $\eta^2 = .24$ ; 而上午两种光环境下的反应时无显著差异 ( $308.95\text{ms}$  vs.  $309.82\text{ms}$ ),  $F(1, 32) = .05$ ,  $p = .829$ ,  $\eta^2 = .00$ 。时间点主效应显著,  $F(2, 64) = 16.12$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .34$ , 被试在实验开始前的警觉反应明显较快, 而随着实验的进行, 被试的警觉水平逐渐下降 ( $308.52\text{ms}$  vs.  $314.30\text{ms}$  vs.  $321.42\text{ms}$ ),  $F(2, 32) = 12.50$ ,  $p = .000$ ,  $\eta^2 = .45$ 。而其他效应均不显著。在 KSS 得分上, 三个因素的主效应及其交互作用均不显著 ( $ps > .05$ ) (见表 2)。

#### 3.2 视空任务绩效

柯西块任务: 照度主效应显著,  $F(1, 32) = 4.83$ ,  $p = .035$ ,  $\eta^2 = .13$ , 被试在高照度下正确回忆的位

表 1 不同实验条件下各因变量指标的描述统计表 ( $M \pm SD$ )

		上午		下午	
		200 lx $M(SD)$	1000 lx $M(SD)$	200 lx $M(SD)$	1000 lx $M(SD)$
KSS	T1	3.67(1.03)	3.72(1.27)	3.00(.97)	3.44(1.15)
	T2	3.72(1.02)	3.72(1.18)	3.25(.93)	3.50(1.21)
	T3	3.39(1.15)	3.44(1.10)	3.19(.66)	3.62(1.09)
PVT	T1	302.79(29.21)	302.79(32.21)	323.06(33.06)	305.43(30.54)
	T2	308.15(27.84)	309.71(33.32)	323.31(35.84)	316.02(28.25)
	T3	315.91(28.75)	316.95(30.98)	333.90(28.00)	318.90(33.65)
柯西块	NBlock4	77.11(3.23)	77.89(2.37)	76.75(2.72)	78.25(2.32)
点记忆	NDot4	77.11(3.18)	76.89(2.90)	77.38(2.25)	77.13(2.19)
HPT	ACC	.91(.08)	.89(.16)	.91(.06)	.91(.12)
CRT	RT	828.02(166.96)	841.36(343.03)	776.90(160.43)	811.95(226.46)
	ACC	.82(.16)	.82(.14)	.90(.11)	.88(.11)
EFT	RT	2452.38(957.34)	2272.70(733.78)	1846.76(488.19)	1896.22(674.18)
	ACC	.57(.27)	.55(.20)	.58(.20)	.59(.17)
	RT	36153.73(19704.86)	36163.54(15892.53)	32116.65(13121.87)	33229.08(11676.23)

注: T1, T2, T3 分别代表时间点 1, 2, 3; NBlock4 和 NDot4 分别表示柯西块、点记忆任务上被试正确回忆的位置数

表 2 不同实验条件下主、客观警觉性的方差分析表

		主效应			两因素交互			三因素交互
		照度	测验时间	时间点	照度 $\times$ 测验时间	照度 $\times$ 时间点	测验时间 $\times$ 时间点	照度 $\times$ 测验时间 $\times$ 时间点
KSS	$F$	1.37	1.02	.66	.91	.32	1.96	.10
	$(df)$	(1,32)	(1,32)	(2,64)	(1,32)	(2,64)	(2,64)	(2,64)
	$p$	.253	.321	.475	.347	.724	.149	.909
	$\eta^2$	.04	.03	.02	.03	.01	.06	.00
PVT	$F$	4.63	1.27	16.12	6.00	1.05	.05	.62
	$(df)$	(1,32)	(1,32)	(2,64)	(1,32)	(2,64)	(2,64)	(2,64)
	$p$	.039	.274	.000	.02	.36	.948	.54
	$\eta^2$	.13	.04	.34	.16	.03	.00	.02

表 3 不同实验条件下视空任务成绩和光环境评估的方差分析表

		照度			测验时间			照度×测验时间		
		<i>F(df)</i>	<i>p</i>	$\eta^2$	<i>F(df)</i>	<i>p</i>	$\eta^2$	<i>F(df)</i>	<i>p</i>	$\eta^2$
柯西块	Nblock4	4.83(1,32)	.035	.13	.00(1,32)	1.00	.00	.49(1,32)	.491	.02
点记忆	Ndot4	.19(1,32)	.667	.01	.11(1,32)	.74	.00	.00(1,32)	.98	.00
HPT	ACC	.20(1,32)	.657	.01	.09(1,32)	.768	.00	.17(1,32)	.687	.01
	RT	.26(1,32)	.611	.01	.36(1,32)	.551	.01	.05(1,32)	.819	.00
CRT	ACC	.32(1,32)	.576	.01	2.90(1,32)	.098	.08	.25(1,32)	.619	.01
	RT	.34(1,32)	.566	.01	4.62(1,32)	.039	.13	1.04(1,32)	.315	.03
EFT	ACC	.00(1,32)	.980	.00	.15(1,32)	.71	.01	.24(1,32)	.63	.01
	RT	.04(1,32)	.839	.00	.58(1,32)	.45	.02	.04(1,32)	.842	.00
光环境评估	亮度	57.05(1,32)	.000	.64	1.74(1,32)	.20	.05	3.17(1,32)	.084	.09
	愉悦度	16.38(1,32)	.000	.34	.33(1,32)	.57	.01	.76(1,32)	.391	.02
	激活度	4.14(1,32)	.050	.12	.97(1,32)	.333	.03	.34(1,32)	.565	.01
	照明分布	8.51(1,32)	.006	.21	1.28(1,32)	.266	.04	.03(1,32)	.865	.00

置数 ( $M = 78.07$ ) 显著高于低照度 ( $M = 76.93$ )；其他效应均不显著。在点记忆任务上未发现任何显著效应。在卡片旋转测验反应时上,时间主效应显著,  $F(1, 32) = 4.62, p = .039, \eta^2 = .13$ , 下午的反应时 ( $M = 1871.49\text{ms}$ ) 显著短于上午 ( $M = 2362.54\text{ms}$ )。其他效应均不显著。在正确率上,时间主效应边缘显著,  $F(1, 32) = 2.90, p = .098, \eta^2 = .08$ ; 下午的正确率 ( $M = .89$ ) 高于上午 ( $M = .82$ )。其他测验上亦未发现显著的主效应和交互作用 (见表 3)。

### 3.3 室内光环境评估

相比 200lx 照明环境 (亮度:  $M = 3.26, SD = .71$ ; 照明分布:  $M = 3.29, SD = 1.03$ ; 愉悦度:  $M = 13.59, SD = 2.66$ ; 激活度:  $M = 2.56, SD = .96$ ) , 被试在 1000lx 下评估的亮度更亮 ( $M = 4.41, SD = .66$ ) , 分布更均匀 ( $M = 3.94, SD = 1.01$ ) , 愉悦度较少 ( $M = 11.41, SD = 2.48$ ) , 激活度更高 ( $M = 2.94, SD = .81$ ) 。其他效应均不显著。

## 4 讨论

本研究考察了室内照度对个体警觉性、视空工作记忆和视空能力的影响及其时间效应。总体而言,结果发现被试在高照度下的警觉性明显高于低照度;在视空方面,仅发现照度对视空工作记忆的影响较大。

本研究发现室内照明环境对视空工作记忆的影响较为明显,具体表现为被试在高照度下的柯西块任务成绩明显好于低照度。然而两种照明环境下的点记忆任务成绩无明显差异。Valdez, Reilly 和 Waterhouse (2008) 曾指出任务成绩不仅与环境因素有关,而且与任务本身 (如任务类型、任务难度等) 密切相关。前人研究表明照度对工作记忆的影响与

任务难度有关,即照度水平对较难的工作记忆任务无显著影响,而对较易的任务具有显著的促进作用 (Huiberts et al., 2015) , 根据本研究中任务的难度评分可知点记忆任务上的难度评分显著高于柯西块任务,由此可能导致照度对较难的点记忆任务影响不显著。虽然高照度下柯西块任务成绩有所提升,但在时间上两照明条件无显著差异。前人在照度对认知加工的影响上是否受时间的调节目前尚未得到一致结论。有研究指出无论是白天还是夜间,高照度光环境均能提高认知绩效,并减少清醒脑电波中慢波的频谱密度,而对于简单反应时任务,高照度对认知加工的促进作用只有在夜间才起作用,而在白天高低照度下的认知反应无明显差异 (Rüger et al., 2005) ; 然而,有研究者发现,下午高照度光环境对认知绩效 (向前数字广度任务) 的提高比上午更加明显,且下午高照度下执行向后数字广度测验时的心率水平高于低照度 (Huiberts et al., 2015) 。上述研究结果的不一致可能与光照参数、测试时间、实验时长、任务难度及范畴等密切相关。

此外,本研究发现被试的视空能力较少受室内照明环境的影响。以往研究表明室内照明对认知任务成绩的影响依赖任务类型。例如,多数研究发现室内照明环境对警觉性、注意以及简单的言语工作记忆等基础认知活动的影响更大 (Gabel et al., 2015; Rüger et al., 2005) , 而对于高级的认知活动影响较小 (Chellappa et al., 2011) 。同时, Veitch (2001) 也曾就认知作业在不同光照环境下未出现显著差异的原因做过猜测,他认为照明对认知任务的影响可能具有选择性,并非所有认知加工任务都会受到照明环境的影响,与任务难度、解决技巧和后天训练等因素密切相关。而视空能力属于智力结构中的重

要组成部分,且与先天遗传、后天训练及加工策略等关系密切(Lin, 2016),因此仅通过外界客观物理环境(如光照)的变化很难对其产生显著影响。

在警觉性方面,本研究发现在客观警觉性任务上,照度和时间的交互作用显著,即被试在高照度下的警觉反应显著快于低照度,且在下午表现尤为明显,该结果在一定程度上支持了研究假设,即高照度水平能够对警觉性具有明显的促进作用,且受时间的调节。Huiberts 等人(2015)也发现了照度对警觉性的影响受到时间的调节,即高照度环境下的警觉效果在上午更加明显。已有研究表明个体在白天的警觉水平不仅受生物节律过程的影响,同时也受内稳态过程影响(Monk, 1987)。而且Borbély(1982)提出的睡眠双过程调控模型指出个体的睡眠会受到生物节律过程和内稳态过程的调控,即个体的生理状态会因一天中时间的不同而发生变化,譬如随着一天中清醒时间的增加,个体的内在睡眠驱动力会逐渐增加,睡意增强。本研究中的时间主要指被试在不同测验时间的生理变化而非测验时间时的外部太阳光。因此,根据该模型,研究发现的高照度对警觉性的促进作用在下午更强,很可能由于下午被试的睡眠驱力较大,睡意较强,高照度对被试在该种状态下的警觉性更易起提升作用。该结果进一步说明室内高照度环境对警觉性的提高在个体疲劳或睡意较强的状态下更容易被察觉到(Smolders et al., 2014)。本研究发现室内照度对个体主客观警觉性的影响不一致,这与Zhou 等人(2012)的发现——主观警觉性会低估个体的行为表现,即被试的主观感受与其客观行为反应有一定差异,是一致的。主观警觉性采用量表得分,按被试的主观感受进行评分,主观性较强,灵敏度较低,而客观警觉性采用客观的反应时作为测查指标,更能反映不同实验条件下的真实表现。此外,本研究还发现随着实验时长的增加,个体疲劳感更大,警觉性下降,与前人研究一致(Smolders et al., 2012; Smolders & de Kort, 2014)。

本研究通过探讨日间室内照度对视空信息加工的影响,一方面拓展了光照非视觉效应在认知层面的研究,同时使用客观警觉性指标来考察照度对其的影响,所得实验结果在一定程度上验证了研究假设。另一方面,从实际角度讲,该结果表明,白天高照度的照明环境更有利于提高工作绩效,特别是视空工作记忆相关的加工成绩。在下午人们较疲劳

的状态下,相对于低照度的室内光环境,高照度更能提升个体警觉性,减少困意。

## 5 结论

本研究发现,白天室内照度水平会对个体的视空加工绩效,特别是视空工作记忆产生显著影响,主要表现在高照度照明条件下被试的视空工作记忆成绩明显好于低照度条件。此外,本研究还发现高照度光照环境能够显著提高个体的警觉反应,且在下午时段表现更加凸显。

## 参考文献

- 范晓壮. (2015). 自闭症系障碍儿童视觉空间能力的实验研究. 华东师范大学硕士学位论文.
- 李虹, 梅锦荣. (2002). 测量大学生的心理问题: GHQ-20 的结构及其信度和效度. *心理发展与教育*, 18(1), 75-79.
- 张斌, 郝彦利, 荣润国. (2006). 清晨型与夜晚型评定量表的信度与效度. *中国行为医学科学*, 15(9), 856-858.
- 朱莹莹, 汝涛涛, 周国富. (2015). 照明的非视觉作用及其脑神经机制. *心理科学进展*, 23(8), 1348-1360.
- Åkerstedt, T., & Gillberg, M. (1990). Subjective and objective sleepiness in the active individual. *International Journal of Neuroscience*, 52(1-2), 29-37.
- Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070-1073.
- Borbély, A. A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, 1(3), 195-204.
- Chellappa, S. L., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Götz, T., & Cajochen, C. (2011). Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: Can blue-enriched light keep us alert? *PLoS ONE*, 6(1), e16429.
- Eckstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. W. (1976). *Kit of factor-referenced cognitive tests*. Princeton, NJ: Educational Testing Service.
- Gabel, V., Maire, M., Reichert, C. F., Chellappa, S. L., Schmidt, C., Hommes, V., et al. (2015). Dawn simulation light impacts on different cognitive domains under sleep restriction. *Behavioural Brain Research*, 281, 258-266.
- Huiberts, L. M., Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2016). Non-image forming effects of illuminance level: Exploring parallel effects on physiological arousal and task performance. *Physiology and Behavior*, 164, 129-139.
- Huiberts, L. M., Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2015). Shining light on memory: Effects of bright light on working memory performance. *Behavioural Brain Research*, 294, 234-245.
- Kretschmer, V., Griefahn, B., & Schmidt, K. H. (2011). Bright light and night work: Effects on selective and divided attention in elderly persons. *Lighting Research and Technology*, 43(4), 473-486.
- Kretschmer, V., Schmidt, K. H., & Griefahn, B. (2012). Bright light effects on working memory, sustained attention and concentration of elderly night shift workers. *Lighting Research and Technology*, 44(3), 316-333.
- Lin, C. L., Wang, M. J. J., & Kang, Y. Y. (2015). The evaluation of visuospatial performance between screen and paper. *Displays*, 39, 26-32.
- Lin, H. (2016). Influence of design training and spatial solution strategies on

- spatial ability performance. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(1), 123–131.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479–1498.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2002). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology General*, 130(4), 621–640.
- Monk, T. H. (1987). Subjective ratings of sleepiness—the underlying circadian mechanisms. *Sleep*, 10(4), 343–353.
- Nelson, T. M., Hopkins, G. W., & Nilsson, T. H. (1983). *Steps toward convergence of optimal human and energy effectiveness: Interactions of indoor environmental factors and their effects on human performance, comfort, and mood*. Edmonton, Alberta: Department of Psychology, University of Alberta. Report for the Alberta Environmental Research Trust, Edmonton.
- Rüger, M., Gordijn, M. C. M., de Vries, B., & Beersma, D. G. M. (2005). Effects of diurnal and nocturnal bright light exposure on human performance and wake EEG. In M. Rüger (Ed.), *Lighting up the clock: Effects of bright light on physiological and psychological states in humans* (pp. 61–85). Groningen: Van Denderen.
- Schmidt, C., Collette, F., Cajochen, C., & Peigneux, P. (2007). A time to think: Circadian rhythms in human cognition. *Cognitive Neuropsychology*, 24(7), 755–789.
- Slama, H., Deliens, G., Schmitz, R., Peigneux, P., & Leproult, R. (2015). Afternoon nap and bright light exposure improve cognitive flexibility post lunch. *PLoS ONE*, 10(5), e0125359.
- Smolders, K. C. H. J., & de Kort, Y. A. W. (2014). Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. *Journal of Environmental Psychology*, 39, 77–91.
- Smolders, K. C. H. J., de Kort, Y. A. W., & Cluitmans, P. J. M. (2012). A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. *Physiology and Behavior*, 107(1), 7–16.
- Smolders, K. C. H. J., de Kort, Y. A. W., & Cluitmans, P. J. M. (2016). Higher light intensity induces modulations in brain activity even during regular daytime working hours. *Lighting Research and Technology*, 48(4), 433–448.
- Valdez, P., Reilly, T., & Waterhouse, J. (2008). Rhythms of mental performance. *Mind, Brain, and Education*, 2(1), 7–16.
- Vandewalle, G., Baiteau, E., Phillips, C., Degueldre, C., Moreau, V., Sterpenich, V., et al. (2006). Daytime light exposure dynamically enhances brain responses. *Current Biology*, 16(16), 1616–1621.
- Vandewalle, G., Gais, S., Schabus, M., Baiteau, E., Carrier, J., Darsaud, A., et al. (2007). Wavelength-dependent modulation of brain responses to a working memory task by daytime light exposure. *Cerebral Cortex*, 17(12), 2788–2795.
- Veitch, J. A. (2001). Lighting quality contributions from biopsychological processes. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(1), 3–16.
- Zhou, X., Ferguson, S. A., Matthews, R. W., Sargent, C., Darwent, D., Kennaway, D. J., & Roach, G. D. (2012). Mismatch between subjective alertness and objective performance under sleep restriction is greatest during the biological night. *Journal of Sleep Research*, 21(1), 40–49.



# Effects of Indoor Illuminance and Time of Day on Alertness and Visuospatial Performance during Daytime

Xiong Xiao<sup>1</sup>, Zhu Yingying<sup>1</sup>, Chen Qingwei<sup>1</sup>, Ru Taotao<sup>2,3</sup>, Zhou Guofu<sup>2,3,4</sup>

(<sup>1</sup> School of Psychology, South China Normal University, Guangzhou, 510631)

(<sup>2</sup> National Center for International Research on Green Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou, 510006)

(<sup>3</sup> South China Academy of Advanced Optoelectronics, South China Normal University, Guangzhou, 510631)

(<sup>4</sup> Shenzhen Guohua Optoelectronics Tech. Co. Ltd., Shenzhen, 518110)

**Abstract** Research has shown that ambient lighting has a great impact on human non-visual effects, such as hormone secretion, physiological status and cognitive performance. As to the cognitive performance, however, most previous studies focused primarily on the influence of indoor lighting on verbal working memory. Little is known about the impact of indoor lighting on the visuospatial working memory (VWM) though it plays a crucial role in storing and processing spatial information in our daily life. Further, spatial ability as another important ability in processing spatial information, mainly refers to the skill in representing, transforming, generating, and recalling non-linguistic information, including spatial perception, mental rotation and spatial visualization. Though several studies found that there was no effect of illuminance on spatial ability during a relatively low level, few has examined the effect of indoor illuminance on individual's spatial ability at a higher level of illuminance during the daytime. Moreover, some studies also found that the time of day might act as a moderator in the lighting effects. Thus, the present study explored the impact of illuminance on visuospatial performance using VWM and spatial ability tasks, and whether these lighting effects were moderated by the time of day. Furthermore, previous studies that investigated the effects of illumination level on alertness were controversial. Therefore, another aim of the current study was to further explore the impact of illuminance and the time of day on alertness.

A two (illuminance: 200 lx vs. 1000 lx)  $\times$  two (time of day: morning vs. afternoon) mixed group design was employed in the current study to investigate the effect of illuminance and time of day on healthy adults' visuospatial performance and alertness. Illuminance was the within-subject factor. A total of 34 subjects participated in the experiment according to the selection criterion. All participants should complete two light sessions on separate days during the same timeslot in the morning or in the afternoon. VWM tasks consisted of the Coris block task and the dot memory task. Spatial ability test battery included the Hidden Pattern test, Card Rotation test and Embedded Figure test. KSS as well as the PVT assessed participants' subjective and objective alertness, respectively.

Results revealed that the interaction between illuminance and time of day on objective alertness was significant, indicating that the reaction time of PVT was shorter under the bright lighting condition in the afternoon. However, no significant effect of illuminance and time of day on subjective alertness was observed. Concerning visuospatial performance, the main effect of illuminance on Coris block task showed that the number of correct recalled position was significantly larger under bright light than under dim light condition, while no significant effect on other visuospatial tasks was observed.

In summary, the results showed that daytime bright light had positive effect on visuospatial performance and this effect was task-specific. In addition, high illuminance level could obviously influence participants' alertness, and this beneficial effect of bright light was moderated by time of day.

**Key words** illuminance, visuospatial working memory, spatial ability, alertness