

高功能孤独症幼儿空间工作记忆的组块加工缺陷^{*}

李松泽¹ 胡金生¹ 李骋诗¹ 王琦¹

何建青¹ 王妍¹ 杨翠萍²

(¹ 辽宁师范大学心理学院, 大连 116029) (² 大连市中山区春雨幼儿园, 大连 116001)

摘要 孤独症谱系障碍者存在空间工作记忆加工缺陷, 其具体受损环节尚不明确。组块是一种有效的策略性信息编码方式, 是空间工作记忆的关键环节。高度结构化的刺激容易形成高水平组块, 因此, 刺激结构化程度对记忆效果的影响能够反映个体的组块加工能力。研究采用 Sternberg 空间工作记忆任务、Corsi 空间广度任务, 加入刺激结构化因素, 考察高功能孤独症幼儿是否存在组块加工缺陷, 并探讨组块加工是否直接影响到空间工作记忆容量。实验 1 采用 Sternberg 空间工作记忆任务, 结果表明, ASD 幼儿存在明显的组块加工缺陷。在易于组块的高结构化条件下, 健康幼儿的记忆成绩明显较高, 而 ASD 幼儿在高、低结构化条件下的记忆成绩并无显著差异。实验 2 采用 Corsi 空间广度任务, 结果显示, 不论高、低结构化条件, ASD 幼儿的空间工作记忆容量均显著低于健康幼儿。但 ASD 幼儿由于存在组块加工缺陷, 在高、低结构化条件下的记忆成绩差异较健康幼儿小。因此, ASD 幼儿的组块能力一定程度上影响了空间工作记忆容量。此外, 记忆存储器的异常可能也是 ASD 幼儿空间工作记忆容量不足的重要原因。研究表明, ASD 幼儿的空间组块缺陷主要由于弱中央统合的认知风格, 他们缺乏自上而下的组块加工动机, 难以主动对刺激形成高水平组块编码, 从而影响记忆效果。

关键词 孤独症谱系障碍; 空间工作记忆; 组块加工; 弱中央统合

分类号 R395

1 问题提出

生活中, 人们常常需要记住人或物体的位置及位移。穿过车水马龙的十字路口、借助周围建筑物的位置确定目的地和认路, 在教室或会场根据他人位置记住自己的座位, 这些都离不开空间工作记忆 (spatial working memory)。孤独症谱系障碍 (Autism Spectrum Disorder, ASD) 是一组幼年期初发的神经发育障碍, 虽然社会交往障碍和重复刻板行为被认定为 ASD 的核心症状 (American Psychiatric Association, 2013), 不过, 目前对这组疾病的认识已不单单局限于社会功能障碍和行为问题。已有研究证实, ASD 群体存在较为明显的、多方面的认知缺陷。其中, 中央统合较弱、执行功能障碍、心理理论缺陷是 ASD 群体的三大认知缺陷, 与之相关的神经生

理机能受损也是探索 ASD 生物学病因的关键突破口 (Barendse et al., 2013; Kim et al., 2016; Mackie & Fan, 2016; Torii, 2011)。空间工作记忆作为执行功能的重要方面, 不仅在日常认知活动中起到基础性作用, 而且能够反映 ASD 群体的相关神经系统发育特点, 兼具临床干预和病因探究的双重价值。

空间工作记忆是指人在短时间内对刺激物空间位置信息的保持与操控能力, 主要涉及个体对客体位置的感知与记忆、对动态物体位移的觉知及位置刷新等, 是完成复杂的认知任务必不可少的环节 (Huntley, Bor, Hampshire, Owen, & Howard, 2011)。多项研究发现, 高功能孤独症者存在空间工作记忆缺陷。例如, Cui, Gao, Chen, Zou 和 Wang (2010) 采用 N-back 任务考察 ASD 儿童的空间工作记忆, 结果显示, 他们在 2-back 水平所需反应时较长, 且反

收稿日期: 2016-11-07

^{*} 辽宁省特聘教授基金、辽宁省人文社科重点研究基地项目和辽宁省儿童青少年健康人格评定与培养协同创新中心资助项目支持。

通讯作者: 胡金生, E-mail: hu_jinsheng@126.com

应时较 1-back 水平的延长比普通被试更加明显。Geurts, Verté, Oosterlaan, Roeyers 和 Sergeant (2004) 采用 Corsi 空间广度任务考察高功能孤独症儿童的空间工作记忆容量, 研究发现, ASD 被试的空间容量显著低于普通儿童。Kaufmann 等(2013)采用剑桥大学神经心理成套测验(Cambridge Neuropsychological Tests Automated Battery, CANTAB)的空间工作记忆测验, 结果显示, 高功能 ASD 被试的搜索效率明显较低, 他们完成任务需要更长时间, 搜索错误率更高, 难以形成相对固定的搜索策略, 尤其当难度水平增大时, 高功能 ASD 被试所呈现缺陷更明显。

有关 ASD 群体空间工作记忆缺陷的阐述, 最具影响力的是信息复杂性理论(information complexity account), 即任务越复杂, ASD 个体呈现的记忆缺陷越明显(Barendse et al., 2013)。这种“复杂”主要涵盖 3 个方面: 刺激物的数量、高效的记忆策略所需认知资源的量、其他导致任务难度增加的因素(Jiang, Capistrano, & Palm, 2014)。基于行为学、神经生理学领域的研究表明, ASD 者存在认知负荷效应(effects of cognitive load), 即随任务的认知负荷量增大而缺陷加重。这种观点不仅在 n-back 任务等多种空间工作记忆范式下得到证实, 其神经生理机制亦有迹可循。根据孤独症的“知觉功能促进化模型”(Enhanced Perceptual Functioning model)以及近几年的 fMRI 研究结果, 当任务的复杂程度增加时, ASD 个体往往呈现额-顶网络失活状态, 取而代之的是脑后部区域的代偿激活, 但是, 这种初级的视知觉区域激活无法胜任复杂的认知任务(Mammarella, Giofrè, Caviola, Cornoldi, & Hamilton, 2014; Matsuura et al., 2014; Motttron, Dawson, Soulières, Hubert, & Burack, 2006; Steele, Minshew, Luna, & Sweeney, 2007; Vogan et al., 2014)。

从认知机制层面解释 ASD 者空间工作记忆的“认知负荷效应”, 已有研究主要着眼于三个方面。第一, ASD 个体工作记忆容量不足, 记忆存储器能够存储的刺激量少于普通人群, 当认知负荷增大时, 可能超出 ASD 者记忆存储器的可容限度, 导致记忆效果的降低(Cui et al., 2010; Jiang et al., 2014; Williams, Goldstein, Carpenter, & Minshew, 2005); 第二, 由于 ASD 者存在注意和执行功能的异常, 对高负荷任务的信息加工更易受干扰, 从而影响空间表征(Chien et al., 2015; Makovski, Sussman, & Jiang, 2008); 第三, 根据弱中央统合理论(weak central coherence), ASD 个体在认知活动对复杂信息的整

合能力较弱, 当认知负荷增大时, 他们对复杂刺激无法整合分析, 难以形成高效的记忆加工策略(Happé & Frith, 2006; Mammarella et al., 2014)。

以上三种观点从记忆容量、执行功能、认知风格三方面揭示了 ASD 个体空间工作记忆缺陷的特征及可能的原因, 但着眼点均在较宽泛的认知领域, 并未直接切入到空间工作记忆本身的信息加工环节, 即编码、保持、存储、提取过程中具体的加工策略或形式。为深层次把握 ASD 者存在此种加工困难的具体环节, 组块加工过程是一个重要着眼点。组块(chunking)是工作记忆加工中的策略化编码形式, 是指将一组刺激信息编码为整合、压缩、高效的信息加工单元(Bor, Duncan, Wiseman, & Owen, 2003)。首先, 组块能够扩大空间工作记忆容量。高通达的组块将零散刺激组织为若干个有意义的整体单元, 从而利用有限的认知资源记忆更多项目, 因而 ASD 者的记忆容量小很可能与缺乏组块能力有关。其次, 高水平的组块加工反映个体的注意控制力以及注意聚焦内的信息加工速度, 尤其在任务相对复杂时, 多个刺激间的组块存在竞争, 抑制无关项目的干扰, 充分利用有限资源, 并在短时间内迅速形成高水平的组块, 需要较强的注意控制力和高效的资源分配能力。而且, ASD 者在空间工作记忆中表现出的注意和执行困难, 也一定程度上由于不善运用组块策略。最后, 高水平组块的前提是对多项刺激的整合, ASD 者过度关注细节的认知风格, 致使其缺乏自上而下的信息整合动机, 难以形成高效的组块加工策略。综上所述, 组块加工可能是进一步揭示 ASD 者空间工作记忆受损环节的重要切入点。对 ASD 者组块加工过程的研究, 不仅为目前存在的现象提供认知机制层面的解释, 而且对于 ASD 者认知能力的干预和改善具有启发意义。

弱中央统合理论(weak central coherence)是孤独症的重要认知理论, 即 ASD 群体的认知风格普遍存在着重局部、忽略整体的特点, 表现为无法提取整体的形式和含义, 但在局部和细节加工方面具有特殊的优势。这一理论在言语理解、空间知觉、社会认知等诸多方面得到印证。例如, ASD 被试在阅读中过分关注片段或细节, 忽略情境主题; 镶嵌图形测验中, 对靶图形的知觉较少受到格式塔的影响; 在面孔识别中无法整体感知面孔, 对正置和倒置面孔知觉相似(Happé & Frith, 2006)。由于空间工作记忆的加工过程较多涉及刺激间的位置关系, ASD 者着重细节而忽略整体的认知风格可能影响

到空间信息的整合感知。

已有研究通过控制刺激的集中性、控制背景一致性等方式,探讨 ASD 者的弱中央统合是否影响空间工作记忆的加工,但所得结论并不一致(Jiang et al., 2014; Mammarella et al., 2014)。基于普通人的研究发现,组块的形成与刺激布局结构化程度有关,高结构化的布局更容易激发策略化编码,形成高度整体性的组织模式,从而产生高水平组块(Huntley et al., 2011)。目前,未曾有研究直接考察 ASD 者空间工作记忆的组块加工,本研究首次通过控制刺激布局的结构化程度,对 ASD 幼儿的空间组块能力进行探讨。即向被试呈现高、低结构化的刺激图片,要求被试记忆图片中若干刺激物的位置。本研究假设,健康幼儿具有组块加工的能力和动机,在容易组块的高结构化条件下,记忆成绩将显著优于低结构化条件;而 ASD 幼儿由于缺乏组块加工策略,在高、低结构化条件下的记忆成绩差异不明显。

实验1采用 Sternberg 空间工作记忆任务,呈现高结构化、低结构化两类刺激材料,要求被试对某个特定刺激的位置进行再认。健康儿童具有组块加工的认知模式,在高结构化条件下的记忆成绩应显著好于低结构化条件(Huntley et al., 2011)。如果 ASD 幼儿同样能够采取组块策略,那么,在高结构化条件下将容易形成高水平组块,记忆成绩也应显著优于低结构化条件;反之,如果 ASD 幼儿缺乏组块策略,则两种刺激布局下的记忆成绩无显著差别。实验2采用 Corsi 空间广度任务,采取逐一呈现刺激的方式,以高结构化、低结构化两类路径呈现刺激材料,要求被试对所呈现刺激按相同顺序进行重复。通过与健康幼儿的对比,考察 ASD 幼儿是否具备在头脑对刺激进行组块的能力,并探讨组块能力是否直接影响其空间工作记忆容量。健康幼儿存在组块的认知机制,能够在头脑中对逐一出现的刺激进行组织,因此,他们在高结构化条件下的记忆容量应显著大于低结构化条件(Watter, Heisz, Karle, Shedden, & Kiss, 2010)。如果 ASD 幼儿同样具有这种组块能力,那么,他们在高结构化条件下的记忆容量较低结构化条件大,反之,两种条件下的记忆容量应无显著差异。

另外,空间工作记忆作为基础性的认知能力,随着个体的年龄发展而经历发生和逐步完善的过程。Gathercole, Pickering, Ambridge 和 Wearing (2004)通过因素分析的方法,将工作记忆划分为三个模块,

分别为简单语音存储(verbal storage-only)、复杂记忆广度(complex memory span)和视觉-空间记忆(visuo-spatial memory)。该项研究考察 4~15 岁儿童空间工作记忆各模块的发生和发展状况,结果显示,三个模块均呈现明显的随年龄增长而逐渐成熟的趋势。4 岁幼儿已表现出基本的工作记忆能力,只有少数较为复杂的加工能力,如迷津回忆、计数回忆等,在 6 岁时才得以完善。而本研究所涉及的空间位置记忆在 4 岁时就已经出现。另外,Moher, Tuerk 和 Feigenson (2012)研究发现,普通个体在婴儿期即表现出记忆的组块加工倾向。目前,ASD 者空间工作记忆的研究大多集中在学龄期儿童和青少年,尚未涉及学龄前幼儿(Piefke, Onur, & Fink, 2012)。ASD 是发展性的神经发育障碍,认知能力形成初期的发展特点具有基础性、机制性的意义。兼顾研究的价值和实验可操作性,本研究选用高功能的 ASD 学龄前幼儿,以真实的物品作为实验材料,采用实物演练、互动实操的形式确保被试理解并有效执行实验任务,尝试揭示认知能力发展初期的组块加工特点,为 ASD 的早期认知评估与干预提供参考。

2 实验1 高、低结构化的空间位置再认

2.1 方法

2.1.1 被试

从同时招收特殊幼儿和普通幼儿的大连市中山区春雨幼儿园选取高功能孤独症幼儿 20 名,其中 2 名幼儿因存在明显多动症状、稳定性差而无法完成实验任务,3 名幼儿因无法理解任务要求而未能完成实验。最终有 15 名 ASD 幼儿作为有效被试完成实验,均为男孩,视力或矫正视力正常。所有被试均经医院临床诊断为孤独症,符合 DSM-V、ICD-10 等精神病学专业诊断标准。为使孤独症组与健康幼儿组被试达到智力匹配,以控制智力因素对实验结果可能造成的影响,同时考虑到功能较低的孤独症幼儿理解力和配合程度较差,研究所选被试均为智力达到或接近正常水平,无明显语言障碍的高功能孤独症幼儿,且无其他重大躯体疾病、精神疾病或残疾。在同一所幼儿园选取健康幼儿 20 名作为对照组,其中 2 名因难以理解任务要求而未能有效完成实验,最终有 18 名健康幼儿完成实验,均为男孩,视力或矫正视力正常,经与其教师访谈,排除重大躯体疾病和精神障碍。所有被试均为右利

手,没有明显的特定形状或颜色偏好,无记忆力超常现象。两组被试从生理年龄、言语智力、非言语智力 3 方面进行匹配,其中言语智力的匹配采用 PPVT-R (Peabody Picture Vocabulary Test-Revised),非言语智力匹配采用联合型瑞文智力测验(Combined Raven's Test, CRT) (表 1)。

2.1.2 实验任务与材料

实验 1 采用经典 Sternberg 空间工作记忆任务 (Sternberg Spatial Working Memory task)。该任务的基本逻辑是:同时向被试呈现若干个刺激,要求被试对全部刺激的空间位置进行记忆。随后,呈现其中一个刺激,要求被试判断该刺激位置是否正确。本研究在此范式的基础上加入刺激结构化因素,考察刺激布局的结构化程度是否影响记忆成绩,从而评估组块加工功能。

实验所呈现刺激为 16 个圆柱体盒子,4×4 矩阵排列。所有盒盖为打开状态,其中 4 个盒子中各有 1 个正方体木块。木块的布局方式分为高结构化、低结构化两种。在高结构化条件下,相邻两个木块常常在同一条水平线、垂直线或对角线上,4 个木块共同组成一规则的对称四边形或平行四边形,容易形成高度整体化的组块形式(图 1A);在低结构化条件下,4 个木块组成的图形不规则、不对称,布局较零散,不易整体觉知(图 1B)。

实验刺激材料的制作过程是将盒子、木块等用相机拍照,再用 Photoshop 制图软件进行编辑,最后生成背景为透明的 png 格式图片。材料的呈现使

用 E-prime 2.0 软件,呈现在显示屏为 14 寸的笔记本电脑上,屏幕分辨率设定为 1280×768 像素,刺激图片大小为 600×600 像素,呈现在屏幕中央,背景为白色。

2.1.3 实验设计

采用 2(被试类型:高功能孤独症幼儿、健康幼儿)×2(刺激结构化程度:高结构化、低结构化)二因素混合实验设计。被试类型为被试间变量,刺激结构化程度为被试内变量。因变量为每组被试在高、低结构化条件下对木块位置进行判断的正确率。

2.1.4 实验程序

每个试次开始时,屏幕上呈现 4×4 矩阵排列的 16 个盒盖闭合的圆柱体盒子,主试确认幼儿的注意力集中在屏幕上时,立即按键盘上的空格键触发试次。这时盒盖全部打开,其中 4 个盒子里呈现木块,幼儿需记住木块在哪几个盒子里。盒盖打开 3000 ms 后关闭。经过 1000 ms 的记忆存储时间,其中一个盒子上出现一小手,这时幼儿需尽快判断小手所指的盒子里是否藏有木块,并使用 E-prime 配备的反应盒进行反应,如有,按反应盒左边的 1 键,如没有,按右边的 4 键。为方便幼儿进行反应,主试事先在反应盒对应按键上贴上“有”和“没有”的标签。为保持幼儿的积极性,每个试次结束时有反馈。如果幼儿反应正确,屏幕上出现一颗星星表示奖励,反馈内容为“答对啦!你真棒!”;如反应错误,反馈内容为“加油哦!还有机会!”。反馈呈现 2000 ms 后自动进入下一试次(图 2)。

表 1 被试样本的基本特征

基本特征	高功能孤独症幼儿($n = 15$)	健康幼儿($n = 18$)	t	p
生理年龄(月)	71.60 ± 5.78	66.67 ± 7.99	1.995	0.055
言语智力(PPVT-R)	84.92 ± 20.71	93.87 ± 14.41	-1.82	0.075
瑞文推理智力(CRT)	31.36 ± 10.66	36.50 ± 11.50	-1.71	0.094

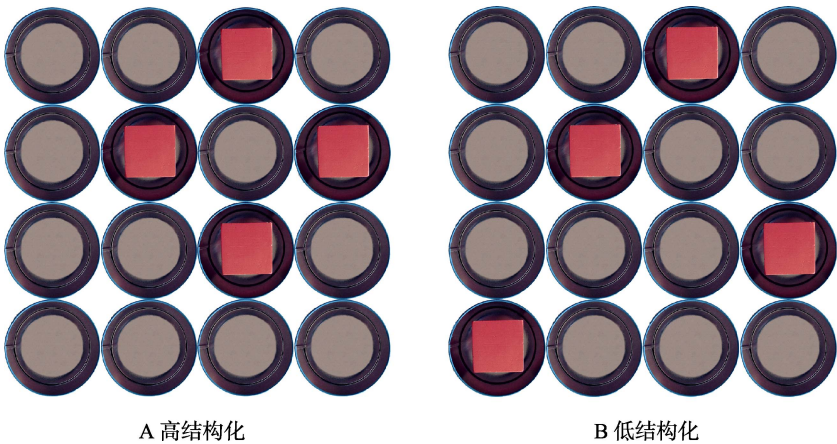


图 1 实验 1 刺激材料示例

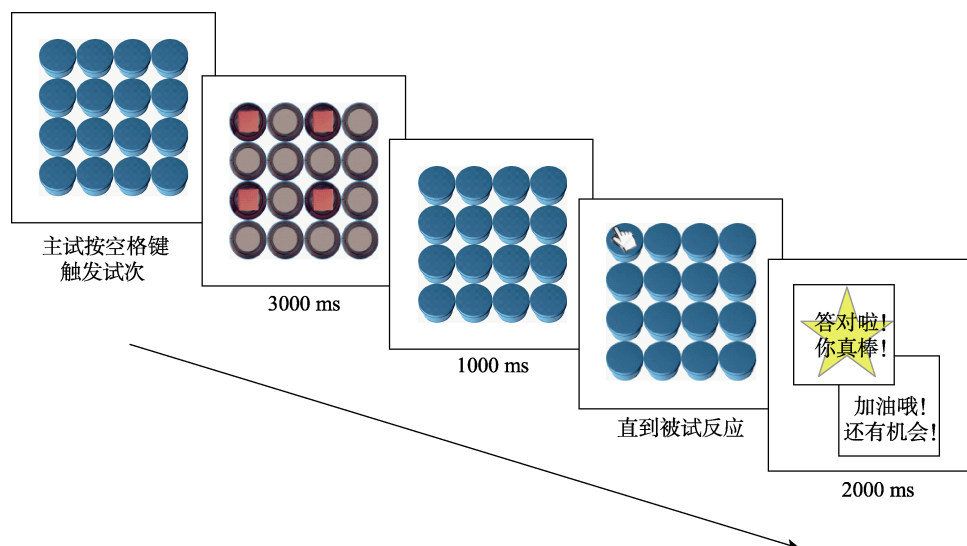


图2 实验1流程

实验在幼儿园的一间个体训练室中进行, 安静且隔音。在实验开始之前, 为确保幼儿能够理解并有效完成任务, 主试和实验助手先以与刺激图片中相同的4个圆柱体盒子和1个正方体木块进行2轮实物演练。首先, 助手将4个盒子以 2×2 矩阵式摆放在幼儿面前, 盖上盒盖。主试对幼儿说: “小朋友, 你看, 桌子上有4个蓝色的盒子。”这时, 助手将盒盖全部打开, 其中一个盒子里有木块。主试对幼儿说: “看, 盒子里有个小木块! 指一指, 木块在哪里?”待幼儿手指向木块后, 助手将盒盖全部盖上。然后, 主试指着有木块的盒子, 问幼儿: “这个盒子里有木块吗?”, 幼儿回答“有”, 第1轮演练结束。主试将盒子顺序打乱, 重复上述过程, 最后指着一个没有木块的盒子问幼儿: “这个盒子里有木块吗?”, 幼儿回答: “没有”, 则第2轮演练结束。

幼儿成功通过实物演练后, 在计算机上练习实验任务。实验的指导语为: “小朋友, 你将看到电脑屏幕上有一些圆盒子, 老师将盒子打开, 你会看到其中4个木块。请你记住木块在哪些盒子里。盒子很快会盖上, 其中一个盒子上出现一只小手。请你回答小手所指的盒子里有没有木块, 如果有, 按1键, 如果没有, 按4键。如果你答对了, 屏幕上会有一颗小星星表示奖励。”在练习过程中, 主试边讲述指导语, 边指导幼儿操作。主试可根据幼儿的接受程度进行反复多次的协助指导, 直到幼儿的操作较为熟练时, 即进入正式实验。练习试次与正式实验的材料不重复, 被试的反应不计入结果的统计分析。

正式实验包括两组, 每组22个试次, 其中高结构化、低结构化条件下各11试次, 伪随机呈现。整

个实验共44试次, 小手所指盒子里有、无木块的情况各半。第一组测试结束后, 被试稍事休息, 再完成第二组测试。正式实验持续时间约15 min。在正式实验过程中, 主试始终在被试左侧观察被试的行为, 如果被试在刺激呈现中出现明显的注意力分散, 如眼睛看向别处、与主试说话等, 主试按键盘上的Q键跳过该试次, 并提示幼儿集中注意力于下一试次。跳过的试次将不用于结果分析。

2.1.5 数据收集与分析

实验中被试的反应数据由E-prime 2.0软件记录, 使用SPSS 18.0进行统计分析。统计分析剔除了因被试注意力分散等原因由主试按键跳过的试次, 以及每名被试反应时平均值上下3个标准差以外的试次, 孤独症幼儿组有效试次占试次总数的83.3%, 健康幼儿组有效试次为93.8%。

2.2 结果

高功能孤独症幼儿与健康幼儿在高、低结构化条件下反应正确率的描述性统计见表2。

表2 高功能孤独症幼儿与健康幼儿完成 Sternberg 空间工作记忆任务的正确率(%) ($M \pm SD$)

刺激结构化程度	高功能孤独症幼儿 ($n = 15$)	健康幼儿 ($n = 18$)
高结构化	65.29 ± 10.00	81.30 ± 11.30
低结构化	61.18 ± 15.74	65.60 ± 11.47

刺激结构化程度与被试类型的混合重复测量方差分析显示, 刺激结构化程度主效应显著, $F(1, 31) = 19.26, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.38$; 被试类型的主效应显著, $F(1, 31) = 7.92, p = 0.008, \eta_p^2 = 0.20$; 刺激

结构化程度与被试类型的交互作用显著, $F(1, 31) = 6.59, p = 0.015, \eta_p^2 = 0.18$ 。

组间变量的多重比较分析结果显示, 高结构化条件的被试类型主效应显著 [$F(1, 31) = 18.21, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.37$], 即高结构化条件下 ASD 幼儿组的正确率显著低于健康幼儿组; 低结构化条件的被试类型主效应不显著 [$F(1, 31) = 0.87, p = 0.358, \eta_p^2 = 0.03$], 即低结构化条件下两组被试正确率差异不显著。组内变量的多重比较分析结果显示, ASD 幼儿组在高、低结构化条件下的正确率差异不显著 ($p = 0.245$); 健康幼儿组在高、低结构化条件下的正确率差异显著 ($p < 0.001$), 健康幼儿在高结构化条件下的正确率显著高于低结构化条件下的正确率 (图 3)。

3 实验 2 高、低结构化的空间位置回忆

3.1 方法

3.1.1 被试

实验 2 选用与实验 1 相同的被试。为避免完成实验先后顺序可能造成的结果误差, 半数被试首先完成实验 1, 其余被试先完成实验 2。为防止练习效应和被试疲劳, 每名被试完成一个实验一周后, 再完成另一实验。

3.1.2 实验任务与材料

实验 2 采用 Corsi 空间广度任务 (Corsi's Spatial Span task), 操控刺激呈现路径的结构化程度, 考察刺激结构化是否直接影响被试的空间工作记忆容量。该任务的基本流程是: 将若干木块固定于木板上, 主试按照一定顺序敲击若干木块, 要求被试按照相同顺序重复主试的操作。如果被试反应正确, 则所敲木块数量增加 1。被试能够正确重复的木块数量上限, 即为该名被试的空间工作记忆容量。

实验所用材料为 16 个正方体木块, 以 4×4 矩阵形式排列在 1 个正方形的木板上。刺激呈现的路径分为高结构化和低结构化两种 (图 4)。在高结构化条件下, 所敲击的 2 个木块在一条水平或垂直线上, 3 个及以上木块的敲击路径为规则的常见多边形或对称图形, 路径无交叉, 易于整合 (图 4A); 在低结构化条件下, 所敲击的 2 个木块不在一条水平或垂直线上, 3 个及以上的木块敲击路径为不规则、非对称图形, 路径有交叉, 不易整合 (图 4B)。

为了避免主试敲击动作、速度带来的误差, 本研究采用计算机呈现刺激的方式, 以木块标亮的方式代替敲击, 被试直接在电脑上作触屏点击反应。计算机呈现刺激材料的制作过程是, 首先将实物用照相机拍照, 再用 Photoshop 作图软件进行处理。图片材料使用 E-prime 2.0 软件呈现在 14 寸触屏笔记本电脑上, 屏幕分辨率设定为 1280×768 像素, 刺激图片大小为 600×600 像素, 呈现在屏幕中央, 背景为白色。

3.1.3 实验设计

采用 2(被试类型: 高功能孤独症幼儿、健康幼儿) \times 2(刺激结构化程度: 高结构化、低结构化) 二因素混合实验设计。被试类型为被试间变量, 刺激结构化程度为被试内变量。因变量为每组被试在两种刺激呈现路径下的空间工作记忆容量。

3.1.4 实验程序

实验在幼儿园一个安静训练室进行。首先计算机屏幕呈现一木板, 木板上有 4×4 矩阵形式排列的 16 个木块。主试确定幼儿将注意力集中在屏幕时, 即按空格键触发试次。这时, 木块依次标亮, 每个刺激呈现 1000 ms 后消失, 刺激间隔 500 ms。刺激呈现完毕后, 主试要求幼儿按照相同顺序用手指点击标亮的木块, 如被试反应正确, 主试按键盘上的 F

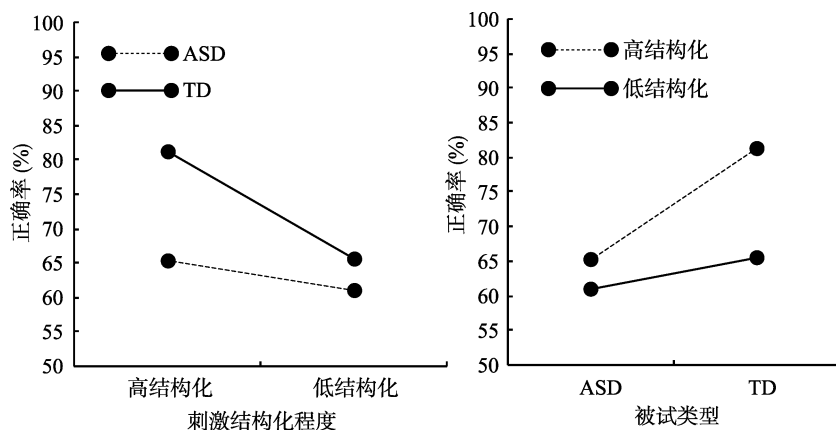


图 3 实验 1 被试类型与刺激结构化程度的交互作用

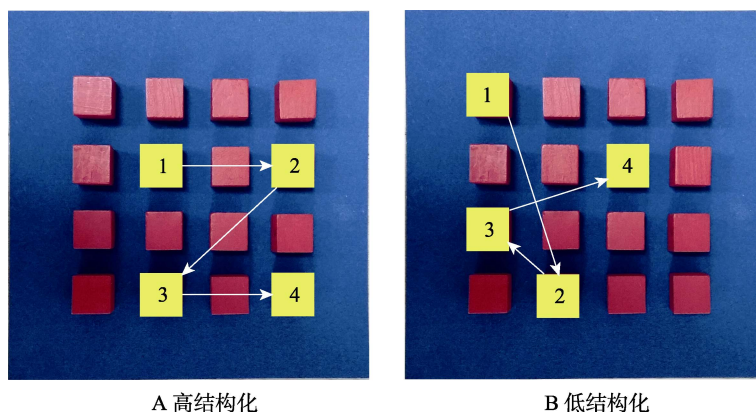


图 4 实验 2 高、低结构化的实验材料示例

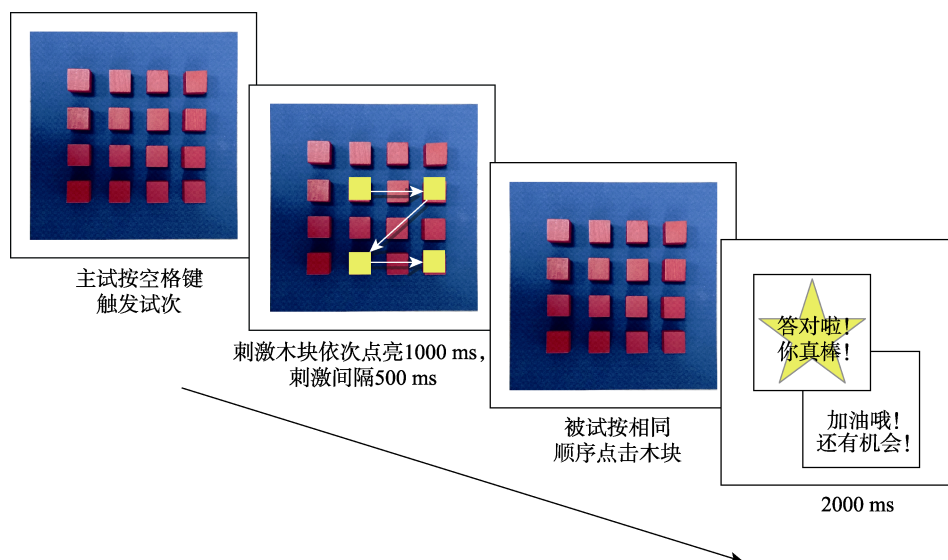


图 5 实验 2 流程图

键, 如反应错误, 则按 J 键。此时呈现反馈, 如果被试反应正确, 屏幕上出现一颗星星, 反馈内容为“答对啦! 你真棒!”; 如反应错误, 反馈内容为“加油哦, 还有机会!”。反馈呈现 2000 ms, 系统进入下一试次(图 5)。实验的指导语为:“小朋友, 我们来做一个小游戏。你将看到屏幕上有一个木板, 木板上有一些小木块, 游戏开始后, 小木块会一个一个地点亮, 你要记住木块点亮的顺序, 并且重复点击一遍。如果你做对了, 屏幕上会有一颗小星星表示奖励!”

正式实验前, 为了确保被试正确理解任务并有效操作, 主试边讲述指导语, 边指导幼儿进行练习。首先, 仅点亮 1 个木块, 经 1000 ms 消失。主试示意幼儿重复点击, 并给予积极反馈。幼儿点击正确后, 再呈现 2 个、3 个刺激, 被试均正确重复点击, 视为通过练习, 可以进入正式实验。为了保证能够理解实验任务的幼儿都能顺利完成练习, 练习试次中呈现的若干刺激相邻, 记忆难度低。

正式实验中, 刺激呈现的数量从 2 开始, 逐步

增加到 7。每个数量水平进行 1 组测验, 共 6 组。每组 6 个试次, 其中高、低结构化条件各 3 个试次, 随机穿插呈现。同一条件下的 3 个试次有 2 个回答正确, 即视为通过。在高、低结构化条件下, 被试能够通过的最大刺激数量分别为被试在相应条件下的空间工作记忆容量。一组测验中, 若被试在至少一个条件下达到通过, 则实验继续, 刺激数量增加 1; 若在两个条件下均未达到通过, 则测验停止。主试分别记录被试在高结构化和低结构化条件下的空间工作记忆容量。正式实验根据每名被试的实际情况, 进行 10~15 min。

3.1.5 数据收集与分析

根据被试在每组测试中的通过情况, 分别记录每名被试在高、低结构化条件下的空间工作记忆容量, 并采用 SPSS 18.0 进行统计分析。

3.2 结果

高功能孤独症幼儿与健康幼儿在高、低结构化条件下的空间工作记忆容量的描述性统计见表 3。

表 3 高功能孤独症幼儿和健康幼儿完成 Corsi 空间广度任务的空间工作记忆容量($M \pm SD$)

刺激结构化程度	高功能孤独症幼儿 ($n = 15$)	健康幼儿 ($n = 18$)
高结构化	2.87 ± 0.74	4.50 ± 0.71
低结构化	2.60 ± 0.63	3.28 ± 0.46

刺激结构化程度与被试类型的混合重复测量方差分析显示, 刺激结构化程度主效应显著, $F(1, 31) = 69.89, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.69$; 被试类型的主效应显著, $F(1, 31) = 31.62, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.51$; 刺激结构化程度与被试类型的交互作用显著, $F(1, 31) = 28.79, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.48$ 。

组间变量的多重比较分析结果显示, 高结构化条件的被试类型主效应显著 [$F(1, 31) = 41.68, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.57$], 即高结构化条件下孤独症幼儿组的空间工作记忆容量显著低于健康幼儿组; 低结构化条件的被试类型主效应显著 [$F(1, 31) = 12.65, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.29$], 即低结构化条件孤独症幼儿组的空间工作记忆容量显著低于健康幼儿组。组内变量的多重比较分析结果显示, 孤独症幼儿组在高、低结构化条件下的空间工作记忆容量差异显著 ($p = 0.041$), 孤独症幼儿在高结构化条件下的空间工作记忆容量显著高于低结构化条件; 健康幼儿组在高、低结构化条件下的空间工作记忆容量差异显著 ($p < 0.001$), 健康幼儿在高结构化条件下的空间工作记忆容量显著高于低结构化条件(图 6)。

4 讨论

本研究采用 Sternberg 空间工作记忆任务和 Corsi 空间广度任务, 加入刺激结构化程度因素, 考察 ASD 幼儿在空间工作记忆中的组块编码策略, 以及组块水平对空间工作记忆容量的影响。研究发

现, ASD 幼儿存在明显的组块加工缺陷, 且这种缺陷主要在于缺乏自上而下的整合加工机制。实验 1 结果显示, 健康幼儿存在较为明显的组块加工机制, 他们在高结构化条件下更容易形成高水平组块, 记忆成绩显著好于低结构化条件; 而 ASD 幼儿在高、低结构化条件下的记忆成绩并无显著差别。而且, ASD 与健康幼儿的记忆成绩差异主要表现在高结构化条件, 两组被试在低结构化条件下的记忆成绩无显著差异。由此推知, 在实验 1 中, ASD 幼儿所表现出的空间工作记忆缺陷主要来自组块策略的缺失, 而当刺激材料难以组织时, 两组被试的记忆水平相当。那么, 组块策略是否直接影响 ASD 幼儿的空间工作记忆容量? 根据实验 2 的结果, 虽然两组被试均呈现在高、低结构化条件下的空间工作记忆容量差异, 但从交互作用来看, 健康幼儿在高、低结构化条件下的容量差异明显大于 ASD 幼儿。这表明健康幼儿更加善于运用组块策略, 高结构化条件下的记忆容量明显提高; 而 ASD 幼儿存在组块加工缺陷, 高结构化刺激材料对记忆容量的提高作用不如健康幼儿明显, 但并非完全消失。此外, 不论在高结构化还是低结构化条件下, ASD 幼儿均呈现明显的空间工作记忆容量缺陷, 其记忆容量显著低于健康幼儿, 究其原因可能来自 ASD 幼儿的记忆存储器本身。以往研究发现, ASD 者存在空间工作记忆容量的不足, 其记忆存储器可能存在功能异常(Cui et al., 2010; Williams et al., 2005)。Jiang 等(2014)的研究的出类似结论, 并以公式推算出, ASD 儿童的空间工作记忆容量比普通儿童低约 25%左右。综合分析, 组块策略缺陷虽然一定程度上导致了 ASD 幼儿空间工作记忆容量下降, 但记忆存储器的异常可能也是 ASD 幼儿存在空间容量不足的重要原因。

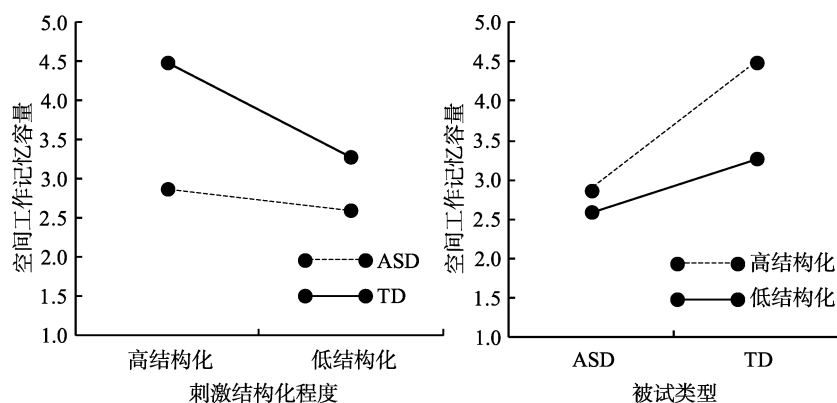


图 6 实验 2 被试类型与刺激结构化程度的交互作用

此外, ASD 被试在实验 1 的高、低结构化条件下的记忆成绩无显著差异, 而在实验 2 中则差异显著, 可能存在以下原因。一方面, 从实验 2 中 ASD 被试的记忆容量来看, 实验 1 要求记忆 4 个刺激, 任务难度稍大, 可能因此导致 ASD 幼儿在高、低结构化条件下记忆成绩无差异。另一方面, 实验 2 采用刺激逐一呈现的方式, 在低结构化条件下, 刺激呈现的路径常有交叉, 增加了对路径进行表征的难度, 这也可能导致 ASD 幼儿在高、低结构化条件下的记忆差异。

总的来说, 本研究结果验证了假设。高结构化刺激有效促进了健康幼儿的高水平组块加工, 表明健康幼儿对于材料的加工着眼于整体布局; 然而, 高结构化刺激并未有效激发 ASD 幼儿的高水平组块加工, 表明他们对刺激材料的记忆零散孤立, 很少进行整合的编码策略。因此, 弱中央统合的认知风格是 ASD 个体组块加工缺陷的关键所在。

目前, 有两项研究关注 ASD 个体的弱中央统合对空间工作记忆加工的影响, 且结论并不一致。Mammarella 等(2014)采用高/低组织程度的矩阵任务(High- and Low-semantic matrix patterns task, HLSPT)考察刺激分布的集中程度对高功能孤独症儿童空间工作记忆的影响。首先向被试呈现一个网格矩阵, 半数方格填充成黑色, 要求被试记忆被填充网格的位置。高组织条件下, 被填充网格常彼此相邻, 刺激分布相对集中; 低组织条件下, 被填充网格各自孤立, 刺激分布相对离散。对于普通人来说, 刺激集中分布时, 位置信息更加容易整合, 记忆难度较小; 刺激离散分布时, 信息难以整合致使记忆难度增加。该研究结果证实了这一观点, 同时发现, ASD 被试在刺激集中或离散分布时的记忆成绩并无明显差别, 甚至当刺激离散分布时, ASD 被试的成绩稍好于普通被试。这表明, ASD 被试在对空间位置进行记忆加工时采取局部加工的方式, 忽略整体布局和刺激间位置关系, 充分印证了弱中央统合理论。

在研究方法上, Mammarella 等的研究控制刺激布局的集中或离散。组块分解理论认为, 将组块分解成更小的成分来分析, 是实现信息重新组织的关键机制(Knoblich, Ohlsson, Haider, & Rhenius, 1999)。该理论将组块分为“紧组块”和“松组块”。在紧组块情况下, 组块内部结构是有意义的整体单元; 在松组块情况下, 组块内部结构无意义或较为松散(张忠炉等, 2016)。而紧组块的分解比松组块更加困

难。对于空间工作记忆来说, “紧组块”情况下刺激布局紧凑, 组块内部结构紧密连结; “松组块”情况下刺激布局相对松散, 更加容易分解。两种组织形式的视觉效果具有明显而直观的差别, 虽然该实验结果能够证实 ASD 被试对于刺激布局的整体性不敏感, 但难以甄别被试是否主动对刺激物采取自上而下的组块编码策略。本研究在操控组块难度时, 着眼于刺激布局的结构化而非集中性, 只考虑多个刺激共同组成的图形是否规则, 刺激布局的离散程度一致且比较适当。因此, 本研究更加深入地考察到, ASD 个体缺乏自上而下的组块加工动机, 而不仅仅是对位置关系整体化的不敏感。

Jiang 等(2014)采用变化察觉范式, 考察高功能孤独症儿童在空间工作记忆中对刺激间位置关系的敏感程度。实验在 8×8 的隐形网格内呈现 3 个或 6 个小球, 要求被试记住这些小球的位置, 然后对其中一个目标小球的位置是否正确进行判断。测验分为背景一致和背景不一致两种条件。背景一致条件下, 刺激呈现和被试反应时, 除目标外的其他小球位置保持不变; 背景不一致条件下, 除目标外的背景小球位置发生改变。普通人的空间知觉存在“背景线索效应”, 即将目标刺激与背景刺激进行绑定, 形成固定的整体结构。因此, 背景的变化与否会显著影响个体对目标刺激的位置判断。Jiang 等人认为, 如果 ASD 个体的空间工作记忆存在弱中央统合, 那么, 他们对目标刺激的判断将不依赖背景, 因而不存在背景线索效应。然而, 实验发现, 背景小球的位置变化同等程度地影响着 ASD 儿童对目标小球位置的判断。也就是说, ASD 被试在空间工作记忆中存在背景线索效应, 并未支持弱中央统合理论, 这与本研究结论并不一致。

在某些特定情况下, ASD 个体的空间位置记忆的确参考了与其他刺激的位置关系。然而, 值得探讨的是, Jiang 等人的研究直接将刺激呈现在空白屏幕上, 并无任何辅助记忆的线索, 被试难以定位单个刺激物的位置, 从而更加容易将背景刺激当做参照物, 这并不一定意味着 ASD 儿童对刺激物采取了整体组织的记忆策略。曾有研究发现, ASD 个体存在“管状视力”现象, 他们在视觉上对两个客体的距离得感知比普通人更加敏感, 能够察觉更小的相对位移(Robertson, Kravitz, Freyberg, Baron-Cohen, & Baker, 2013)。可以推断, ASD 者在空间定位中可能更加依赖参照物, 这也是着重细节的一种体现。因此, 在背景不一致的情况下, ASD 被试因失去参照

系而难以定位目标,背景小球位置改变或可视为一种“掩蔽”,使被试无法确定目标刺激是否在原来位置,这不足以表明 ASD 被试采取了整体组织的记忆策略。与之不同,本研究中的实验材料均设有固定参照,被试即使采取局部加工策略,仍然能够准确定位单个刺激。由此,本研究发现,ASD 幼儿的确存在局部加工的认知风格,难以对刺激物主动采取整合记忆策略。

除此之外,注意控制和执行功能是否影响了 ASD 幼儿的空间组块?本研究中,实验 1 采取刺激同时呈现的方式,刺激间的位置关系显而易见,组块过程只需直接将视野中的刺激组织;而实验 2 采取刺激逐一呈现的方式,组块加工需要在头脑中对刺激的位置进行抽象整合的空间表征,对注意控制和执行功能的要求较高。研究结果显示,ASD 被试在实验 1 中即表现出较为明显的组块策略缺陷,表明这种缺陷并不直接来自注意和执行功能,而是更多来自弱中央统合的认知风格,即缺乏自上而下的组块加工动机。然而,当任务对注意控制和执行功能的需求量较大时(实验 2),无论在高、低结构化条件下,ASD 幼儿与健康幼儿均表现出明显差距,这验证了信息复杂性理论,并可推知注意控制和执行功能影响到 ASD 幼儿的空间工作记忆加工,这与中央执行系统功能密切相关。

中央执行系统是一个基于注意功能的自上而下的宏观调控系统,负责工作记忆各成分及相关功能的整合与协调,是工作记忆的核心成分(Baddeley & Hitch, 1974; Baddeley, 2000)。本研究结果验证了 ASD 幼儿的中央执行系统功能异常。一方面,ASD 幼儿在脑中保持并整合刺激的能力较弱。普通人依靠中心信息处理系统对外界信息加以整合和概括,并具有相应的神经基础。Watter 等(2010)有关空间工作记忆的事件相关电位研究发现,当要求被试记住逐一呈现的 3 个刺激的空间位置时,右侧前额叶慢波电位在第 1 个刺激出现时最强,在刺激 2、3 出现时明显缓和,这表明个体对刺激 1 进行了深度加工,而刺激 2、3 则在刺激 1 空间位置的基础上进行整合。刺激逐一呈现时,被试需要在头脑中对刺激进行保持、组织、整合等,由于 ASD 个体的高级认知脑区激活模式异常,他们难以完成较为复杂的认知任务。另一方面,ASD 个体的认知灵活性较差,当视觉刺激短暂呈现后消失,又出现另一个视觉刺激时,其注意功能难以在视觉刺激消失和新异刺激出现时灵活地进行调节,记忆存储器容易受到新异

刺激的干扰,从而影响到记忆效果(Makovski et al., 2008)。值得一提的是,中央执行系统功能与组块加工息息相关,结构化刺激编码为高水平的组块的过程涉及一系列高级认知功能,包括将信息保持在工作记忆系统中,从长时记忆系统中获取几何图形的规则,策略性地运用关联将刺激重新编码为新的表征,并抑制无关刺激对已形成的组块信息的干扰。完成这一任务对中央执行系统的统筹控制能力有较高的要求(Huntley et al., 2011)。因此,ASD 个体的组块加工是否与中央执行系统功能异常有关,还需更加细化的研究来证实,例如,进一步控制组块的复杂程度和难度、区分规则组块和自由组块,或采用两类组块的双任务操作等。

此外,从研究方法角度,本研究可为今后的研究提供几点借鉴。首先,本研究选用实物拍照的方式制作实验材料,并在计算机实验前进行实物演练,事实证明是有必要的。ASD 群体本身存在记忆规则与流程方面的困难,加之年龄较小,在没有实物辅助的情况下,ASD 幼儿很难对计算机呈现的实验过程进行抽象理解,有时甚至将两个实验试次的信息混为一谈,练习时间也较长。实物演练使原本抽象的任务流程形象化,促进了幼儿对任务的理解,有效改善实验效果。其次,具有时间连续性的实验逻辑能够简化 ASD 幼儿对任务的正确理解。一般情况下,空间工作记忆任务中,要求记忆的刺激和需要判断的刺激以同样的形式呈现,例如首先呈现若干小球,要求被试记忆,再呈现一个小球,要求被试判断“刚才”这个位置有无小球。然而,ASD 者存在时间感知的异常,部分幼儿不能理解“刚才”的含义,常常仅从“现在”这个位置是否有小球来做出判断。本研究采用“盒子里面藏有木块”的逻辑,虽然需要记忆的刺激是木块,要求判断的刺激的小手,呈现形式不相同,但任务的逻辑在时间上连续,幼儿只需判断小手所指的盒子里“现在”是否有木块即可,无需考虑“刚才”的问题,逻辑简单而形象,只要是客体永存性发展完好的幼儿,都能较为容易地理解实验任务。最后,本研究尚且存在一些不足。从实验 2 结果所呈现的空间工作记忆容量来看,实验 1 中,在低结构化条件下要求被试记忆 4 个刺激,不论对于 ASD 幼儿还是健康幼儿,都有一定难度,因此记忆成绩可能存在地板效应。但如果减少刺激的数量,将难以划分刺激的高/低结构化水平。因此,今后的研究可以适当选择年龄稍大的 ASD 儿童,并进一步增加刺激数量,考察认知负荷增大时 ASD 群体的

组块加工过程;也可在刺激数量较多时,控制刺激布局的明确程度,考察规则组块和自由组块条件下 ASD 个体迅速形成多个组块的动机与加工速度。

5 结论

本研究得出结论如下:

(1) ASD 幼儿在空间工作记忆中存在组块加工缺陷。高结构化刺激很少激发 ASD 幼儿形成高水平组块,他们难以主动采取对刺激物整合加工的策略,对刺激结构化的敏感性低。

(2) ASD 幼儿空间工作记忆容量较小。ASD 幼儿的组块能力一定程度上影响了空间工作记忆容量。此外,记忆存储器的异常可能也是 ASD 幼儿空间工作记忆容量不足的重要原因。

(3) ASD 幼儿的注意控制和执行功能缺陷影响空间工作记忆的加工,中央执行系统异常是 ASD 幼儿存在空间工作记忆缺陷的重要因素。

参 考 文 献

- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5* (5th ed.). New York: American Psychiatric Publishing.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89.
- Barendse, E. M., Hendriks, M. P. H., Jansen, J. F. A., Backes, W. H., Hofman, P. A. M., Thoonen, G., ... Aldenkamp, A. P. (2013). Working memory deficits in high-functioning adolescents with autism spectrum disorders: Neuropsychological and neuroimaging correlates. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 5(1), 14.
- Bor, D., Duncan, J., Wiseman, R. J., & Owen, A. M. (2003). Encoding strategies dissociate prefrontal activity from working memory demand. *Neuron*, 37(2), 361-367.
- Chien, Y. L., Gau, S. S., Shang, C. Y., Chiu, Y. N., Tsai, W. C., & Wu, Y. Y. (2015). Visual memory and sustained attention impairment in youths with autism spectrum disorders. *Psychological Medicine*, 45(11), 2263-2273.
- Cui, J. F., Gao, D. G., Chen, Y. H., Zou, X. B., & Wang, Y. (2010). Working memory in early-school-age children with Asperger's syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(8), 958-967.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.
- Geurts, H. M., Verté, S., Oosterlaan, J., Roeyers, H., & Sergeant, J. A. (2004). How specific are executive functioning deficits in attention deficit hyperactivity disorder and autism? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 45(4), 836-854.
- Happé, F., & Frith, U. (2006). The weak coherence account: Detail-focused cognitive style in autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 5-25.
- Huntley, J., Bor, D., Hampshire, A., Owen, A., & Howard, R. (2011). Working memory task performance and chunking in early Alzheimer's disease. *The British Journal of Psychiatry*, 198(5), 398-403.
- Jiang, Y. V., Capistrano, C. G., & Palm, B. E. (2014). Spatial working memory in children with high-functioning autism: Intact configural processing but impaired capacity. *Journal of Abnormal Psychology*, 123(1), 248-257.
- Kaufmann, L., Zotter, S., Pixner, S., Starke, M., Haberlandt, E., Steinmayr-Genslueckner, M., ... Marksteiner, J. (2013). Brief report: CANTAB performance and brain structure in pediatric patients with Asperger syndrome. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 43(6), 1483-1490.
- Kim, E., Kyeong, S., Cheon, K. A., Park, B., Oh, M. K., Chun, J. W., ... Song, D. H. (2016). Neural responses to affective and cognitive theory of mind in children and adolescents with autism spectrum disorder. *Neuroscience Letters*, 621, 117-125.
- Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H., & Rhenius, D. (1999). Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 25(6), 1534-1555.
- Mackie, M. A., & Fan, J. (2016). Reduced efficiency and capacity of cognitive control in autism spectrum disorder. *Autism Research*, 9(3), 403-414.
- Makovski, T., Sussman, R., & Jiang, Y. V. (2008). Orienting attention in visual working memory reduces interference from memory probes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 34(2), 369-380.
- Mammarella, I. C., Giofrè, D., Caviola, S., Cornoldi, C., & Hamilton, C. (2014). Visuospatial working memory in children with autism: The effect of a semantic global organization. *Research in Developmental Disabilities*, 35(6), 1349-1356.
- Matsuura, N., Ishitobi, M., Arai, S., Kawamura, K., Asano, M., Inohara, K., ... Kosaka, H. (2014). Distinguishing between autism spectrum disorder and attention deficit hyperactivity disorder by using behavioral checklists, cognitive assessments, and neuropsychological test battery. *Asian Journal of Psychiatry*, 12, 50-57.
- Moher, M., Tuerk, A. S., & Feigenson, L. (2012). Seven-month-old infants chunk items in memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, 112, 361-377.
- Mottron, L., Dawson, M., Soulières, I., Hubert, B., & Burack, J. (2006). Enhanced perceptual functioning in autism: An update, and eight principles of autistic perception. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(1), 27-43.
- Piefke, M., Onur, Ö. A., & Fink, G. R. (2012). Aging-related changes of neural mechanisms underlying visual-spatial working memory. *Neurobiology of Aging*, 33(7), 1284-1297.
- Robertson, C. E., Kravitz, D. J., Freyberg, J., Baron-Cohen, S., & Baker, C. I. (2013). Tunnel Vision: Sharper gradient of spatial attention in autism. *Journal of Neuroscience*, 33(16), 6776-6781.
- Steele, S. D., Minshew, N. J., Luna, B., & Sweeney, J. A. (2007). Spatial working memory deficits in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 37(4), 605-612.
- Torii, M. (2011). Weak central coherence and executive dysfunction in children with autism spectrum disorder. *Neuroscience Research*, 71, e16.
- Vogan, V. M., Morgan, B. R., Lee, W., Powell, T. L., Smith, M. L., & Taylor, M. J. (2014). The neural correlates of visuo-spatial working memory in children with autism spectrum disorder: Effects of cognitive load. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 6, 19.
- Watter, S., Heisz, J. J., Karle, J. W., Shedden, J. M., & Kiss, I. (2010). Modality-specific control processes in verbal versus spatial working memory. *Brain Research*, 1347, 90-103.
- Williams, D. L., Goldstein, G., Carpenter, P. A., & Minshew, N. J. (2005). Verbal and spatial working memory in autism.

Journal of Autism and Developmental Disorders, 35(6), 747–756.

Zhang, Z. L., Zhang, J. H., Song, X. X., Dou, H. R., Yang, W. L., Yu, L., ... Li, H. (2016). P300 and creative chunk

decomposition. *Chinese Science Bulletin*, 61(22), 2494–2501.

[张忠炉, 张嘉卉, 宋欣欣, 窦皓然, 杨文龙, 于龙, ... 李红. (2016). P300 与创造性组块分解. *科学通报*, 61(22), 2494–2501.]

Chunking processing of spatial working memory in autism preschool children

LI Songze¹; HU Jinsheng¹; LI Chengshi¹; WANG Qi¹;

HE Jianqing¹; WANG Yan¹; YANG Cuiping²

(¹ Department of Psychology, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

(² Chunyu Kindergarten, Dalian 116001, China)

Abstract

Autism spectrum disorder (ASD) individuals are confirmed to have deficits in spatial working memory, but the specific impaired element is still undefined. Chunking is an effective form of strategic encoding that involves the recoding of a set of data into a compressed, efficient form and can extend working memory capacity. Spatial chunking is a key segment of the spatial working memory processing. Structured stimuli significantly encourage chunking, lessening working memory demand and significantly improving working memory performance. In this study, we used the Sternberg spatial working memory task and the Corsi's spatial span task, manipulated the structure of stimulus' spatial arrangement. In this method, we investigated the chunking processing of autism preschool children, and evaluated the relationship between spatial chunking and spatial working memory capacity in ASD.

All participants were recruited in a integrated kindergarten, including 15 ASD children and 18 typical developing children. Age range from 4.5 to 7 years old. Participants were matched in age, verbal intelligence and nonverbal intelligence. In experiment1, participants were required to remember several stimulus' positions which are presented simultaneously, and only judge one position of them. The accuracy of participants were recorded. In experiment2, stimulus participants were presented one by one, participants were required to remember several stimulus' positions, and repeat the stimulus positions in the same order. Experiments were manipulated into 2 conditions. In the high-structured condition, all sequences followed a structured rule such that locations were organized as familiar shape components, involving symmetry and parallel sides, and were thus more easily organized into higher-level patterns. In the low-structured condition, locations were organized as irregular figures.

The results in experiment1 proved that ASD children existing chunking deficits. First of all, healthy children performed significant better than ASD Children in high-structured condition, $F(1,31) = 18.21$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.370$. But there was no difference in low-structured condition between the 2 groups, $F(1,31) = 0.87$, $p = 0.358$, $\eta_p^2 = 0.027$. Besides, healthy children performed significant better in high-structured condition comparing with the low-structured condition ($p < 0.001$). In contrast, ASD Children didn't show any difference in the 2 conditions ($p = 0.245$). This proved that the high-structured arrangement encouraged high-level chunking in typical developing children. But ASD children were insensitive in the structured arrangement of stimulus and can't apply chunking strategy effectively. According to the results in experiment 2, the spatial capacity of ASD children was significantly lower than healthy children no matter in high- or low-conditions [$F(1,31) = 41.68$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.573$; $F(1,31) = 12.65$, $p = 0.001$, $\eta_p^2 = 0.290$]. High-structured arrangement significantly improved the spatial working memory capacity in typical developing children ($p < 0.001$), but also influenced ASD children to some extent ($p = 0.041$). Chunking deficits influenced spatial capacity in ASD children, abnormal memory storage is also an important factor.

In summary, ASD children showed impairment in chunking in spatial working memory, cognitive style of weak central coherence plays a crucial role in spatial chunking. Besides, attention control and executive function have indirect effect in spatial working memory processing in other domains. These findings not only provide inspiration for developing cognitive intervention model, but also provide a breakthrough to the neurophysiological mechanism studies in ASD.

Key words autism spectrum disorder; spatial working memory; chunking; weak central coherence