

童年晚期加工速度对图形推理能力的影响： 工作记忆的中介作用*

韩燕¹, 张恒¹, 贾丽娜², 刘颖³, 张雨暄³, 邹丽娟³

(1. 重庆理工大学重庆知识产权学院, 重庆 400054; 2. 江南大学人文学院, 无锡 214122; 3. 山东师范大学心理学院, 济南 250014)

摘要:考察童年晚期加工速度和工作记忆对图形推理能力的影响。采用加工速度任务、工作记忆任务和瑞文标准推理测验对 169 名 10-12 岁的儿童进行调查。研究结果如下: (1) 方差分析表明, 加工速度和图形推理具有显著的年龄差异。 (2) 结构方程模型表明, 不论图形推理难易程度如何, 工作记忆均中介了加工速度对图形推理能力的影响。 (3) 图形推理的难度越大, 工作记忆对其的影响越大。结论: 童年晚期加工速度通过工作记忆对图形推理能力产生影响, 也就是说, 工作记忆直接对图形推理能力产生影响, 加工速度间接影响图形推理能力。此外, 图形推理难度越大, 越需要工作记忆的参与。

关键词:童年晚期; 加工速度; 工作记忆; 图形推理

中图分类号:B842.5

文献标志码:A

文章编号:1003-5184(2025)02-0107-07

1 引言

推理能力是指人在头脑中根据已有判断, 经过分析与综合引出新判断的思维过程(朱智贤, 1989)。个体通过推理来认知事物的本质, 以及事物之间存在的实质性关系。图形推理是研究推理能力的一种重要形式, 以图形为推理材料, 可以避免知识经验和语言能力的限制, 更客观地体现个体的思维水平。图形推理与智力、学业成就关系密切, 因此受到了国内外学者的广泛关注。

在图形推理的影响因素中, 加工速度和工作记忆备受研究者的关注(Fry & Hale, 1996; 刘昌, 2004; Kail et al., 2016; 左辞波, 王恩国, 2016)。加工速度又称信息加工速度或心理速度, 用来表征在有时间限制的情景中个体完成认知操作的速度(Flanagan & McGrew, 1998)。工作记忆是对信息进行暂时性加工和存储的系统, 包含一个在任何领域均需要运用到的执行成分和两个特定领域的存储系统, 其中存储系统分别存储言语信息和视空间信息(Baddeley & Hitch, 1974)。关于加工速度、工作记忆和图形推理能力的内在机制, 研究者认为工作记忆中所能够加工信息的数量限制了图形推理的成绩, 而加工速度快的个体能够在工作记忆中加工更多的信息, 也就是说加工速度快可以促进工作记忆

能力的提高, 而工作记忆又与图形推理具有密切的关系(Fry & Hale, 1996)。

从发展的角度, 研究者探讨了加工速度和工作记忆对图形推理能力发展产生影响的内在机制, 联结模型认为, 加工速度随年龄增长而变快促进了工作记忆的发展, 进而提高了图形推理能力, 也就是说, 从发展的角度来看, 工作记忆中介了加工速度对图形推理的作用(Fry & Hale, 1996)。6~12岁(De Alwis et al., 2014)和8~14岁(Tourva et al., 2016)儿童青少年的实证研究, 验证了联结模型。

然而, 也有实证研究不支持联结模型(Kail et al., 2016; 刘昌, 2004; Frischkorn et al., 2019)。以成年人为研究对象, Frischkorn 等人(2019)的研究表明, 对图形推理产生影响的不是加工速度和工作记忆, 而是执行功能。国内学者刘昌以 10~18 岁儿童青少年为被试, 探讨了加工速度、工作记忆对图形推理的影响, 研究结果表明, 工作记忆几乎可以完全解释图形推理的发展, 因此, 工作记忆是图形推理能力发展的基础, 而非加工速度(刘昌, 2004)。Kail 等人(2016)对 6~14 岁儿童青少年进行为期两年半的追踪, 他们的研究结果表明加工速度对图形推理能力具有直接影响, 而不是通过工作记忆对图形推理能力产生作用。然而, 有些认知发展研究发现只

* 基金项目: 重庆理工大学 2023 年度本科教育教学改革研究项目: 新文科背景下课程“互动-参与-提升”的教学模式改革与实践——以“儿童青少年社会工作”为例(2023YB151), 山东师范大学社科青年项目(2023YTR013)。

通信作者: 邹丽娟, E-mail: zouljuan@sdu.edu.cn。

有工作记忆对图形推理产生影响,而不是中介了加工速度对图形推理能力的作用(Nettelbeck & Burns, 2010)。综上,加工速度与工作记忆对图形推理的作用仍存在争议。因此,该研究探讨的第一个问题是加工速度和工作记忆对图形推理的影响。

此外,研究者还发现,年龄阶段不同,加工速度和工作记忆与图形推理的关系也不同。在 8~12 岁,加工速度和工作记忆均对流体智力产生影响,但是工作记忆对流体智力的影响高于加工速度(Berg, 2008)。8~10 岁,加工速度对图形推理的回归系数不再显著,但工作记忆与图形推理关系密切。然而,在 11~13 岁,加工速度和工作记忆均对图形推理产生影响,但是加工速度对图形推理的影响高于工作记忆(Fry & Hale, 1996)。与此相似,Demetriou 等人(2014)的元分析表明,在 11~13 岁,加工速度与流体智力的关系密切,而工作记忆对流体智力的影响小。除此之外,也有研究表明,童年中期(7~9)加工速度和工作记忆对图形推理都具有直接影响,童年晚期(10~12 岁)加工速度不再对图形推理产生直接影响,而是通过工作记忆对图形推理能力产生间接影响(韩燕,徐芬,2020)。

导致已有研究结果分歧的原因,首先,可能是因为选取的年龄阶段不同,如果年龄跨度太大,不同年龄阶段的儿童在进行图形推理时所运用到的认知能力是有所差异的(张涤,张海燕,2013;陈德枝等,2015)。不同年龄阶段,加工速度和工作记忆对图形推理的影响也不同(Fry & Hale, 1996;韩燕,徐芬,2020;Demetriou et al., 2014)。其次,测量工具的不同也导致了研究结果的不一致。例如,Demetriou 等人(2014)的研究为元分析,综合了不同研究的不同实验任务,比如测量工作记忆的任务,既有颜色或形状回忆任务,也有主要测量中央执行的任务,很难保证不同实验任务的等价性。

以儿童青少年为研究对象的图形推理研究中,多数研究关注的是图形推理能力的发展特征(陈晓云,1999)以及图形推理策略的发展(陈德枝等,2015;沃建中等,2003;林崇德等,2003),关于加工速度、工作记忆对图形推理能力影响的实证研究并不多。此外,瑞文标准推理测验是测量图形推理能力的经典工具,该测验由 A、B、C、D、E 五组图形系列构成,从 A 到 E 难度逐渐提升(张厚璨,王晓平,1989)。每组都有一定的主题,题目的类型略有不同。A 组主要测知觉辨别力,图形比较,图形想象力等;B 组主要测类同比较,图形组合等;C 组主要测比较推理和图形组合;D 组主要测系列关系,图形套

合,比拟等;E 组主要测互换、交错等抽象推理能力。在不同难度的图形推理中,工作记忆负荷是最重要预测变量(李中权等,2011),加工速度的发展又促进了工作记忆的提高(Fry & Hale, 1996)。因此,该研究探讨的另一个问题是加工速度和工作记忆对不同难度图形推理的影响。

综上所述,该研究考察童年晚期儿童的加工速度、工作记忆与图形推理的关系。以童年晚期(10~12 岁)的儿童作为研究对象的原因如下:首先,该时期是图形推理能力、加工速度和工作记忆发展较快的关键时期,12 岁之后三种认知能力发展趋于缓慢。认知能力发展较快的时期,其可塑性也较强。其次,童年晚期还是图形推理能力从简单特征推理过渡到复杂特征推理的重要时期,也是图形推理由形象思维到抽象思维转变的关键阶段(陈晓云,1999;张涤,张海燕,2013)。此年龄段图形推理任务的脑机制也在发生变化,比如更多地激活左侧叶和顶叶皮层脑区,对左侧前额叶激活越来越少(Talor et al., 2022)。因此,探讨童年晚期加工速度、工作记忆对图形推理的影响对于未来图形推理能力干预具有重要的实践意义。

2 研究方法

2.1 被试

来自两所小学的 169 名(男生 83 人)小学生参与了本次研究,年龄在 10~12 岁,10 岁 47 人,11 岁 52 人,12 岁 70 人,平均年龄为 11.0 岁。所有被试均为汉族,右利手,视力或矫正视力正常,无身体和精神缺陷。实验得到了学生家长及其老师的同意。

2.2 实验设计

加工速度实验任务和工作记忆实验任务均采用 E-prime 2.0 编程。

2.2.1 加工速度实验 加工速度的实验共有 3 个,包括方块实验、圆点实验和三角实验,都在计算机上完成。在方块实验中,有 4 个不同颜色的方块(黄、绿、红和蓝),与之对应着电脑键盘上 4 个键,看到黄色的方块按“N”键,看到绿色方块按“M”键,看到红色方块按“Z”键,看到蓝色方块按“X”键。每个方块呈现 3500 ms,被试做出反应后,刺激立即消失,间隔 800~1200 ms 后,进入下一个试次。每种颜色的方块出现 6 次,共 24 个试次。因变量是被试作出判断的反应时。

在圆点实验中,红色圆点分布在 4×4 方格中(方格的一半有 3~8 个圆点),让被试判断左边的圆点多还是右边的圆点多,如果左边的圆点多按“1”,右边的圆点多按“9”键。每张圆点图形呈现

3500 ms,被试做出反应后,刺激立即消失,间隔 800 ~ 1200 ms 后,进入下一个试次。10 个练习试次,30 个正式试次。因变量为被试作出判断的反应时。

在三角实验中,绿色三角分布在 4×4 方格中(方格的一半有 3 ~ 8 个圆点),让被试判断上边的三角多还是下边的三角多,如果上边的三角多按“1”,下边的三角多按“9”键。每张三角图形呈现 3500 ms,被试做出反应后,刺激立即消失,间隔 800 ~ 1200 ms 后,进入下一个试次。10 个练习试次,30 个正式试次。因变量为被试作出判断的反应时。加工速度实验单试次流程见图 1。

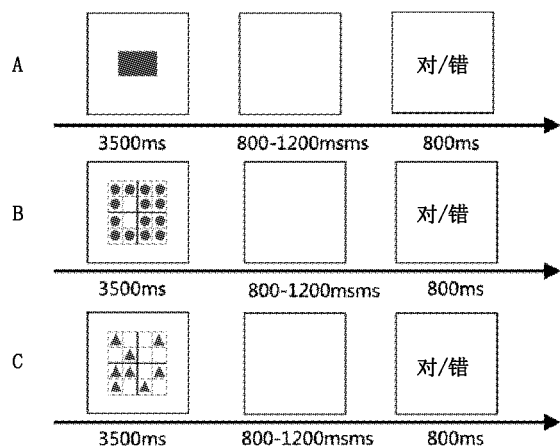


图1 加工速度实验单试次流程图

注:A 为方块实验;B 为圆点实验;C 为三角实验

2.2.2 工作记忆实验 工作记忆实验包括活动记忆(Miyake et al., 2000)、1back 和 2back (Jaeggi et al., 2008)。活动记忆实验,采用的刺激材料为数字。在该任务中,会呈现一系列的数字,只要求回忆最后 3 个数字。为了确保记忆持续更新,要求被试出声复述最后 3 个数字,这样被试必须记住最近呈现的 3 个数字,扔掉倒数第 4 个数字。数字的长度有 4 种,分别为 3、5、7、9,每种长度有 3 个系列。练习 3 个系列,数字长度分别为 3、5、9,每种长度练习 1 次。正式实验为 12 个数字系列,每种长度有 3 个数字系列,总共需要读 72 个数字组(包括 1 个数字、2 个数字和 3 个数字的数字组)。主试在记录纸上记录被试的回答。因变量为数字组回忆的正确率。

在 1back 任务中,依次出现英文大写字母,要求被试判断当前的英文字母与倒数第 1 个英文字母是否相同,相同按“A”键,不同按“L”键。每个刺激呈现时间为 3000 ms,间隔 800 ms,然后进入下个试次。练习 16 个试次,正式实验 42 个试次。2back 实验任务要求被试判断当前的英文字母与倒数第 2 个英文字母是否相同,除此之外,其他与 1back 相同。

工作记忆实验单试次流程见图 2。

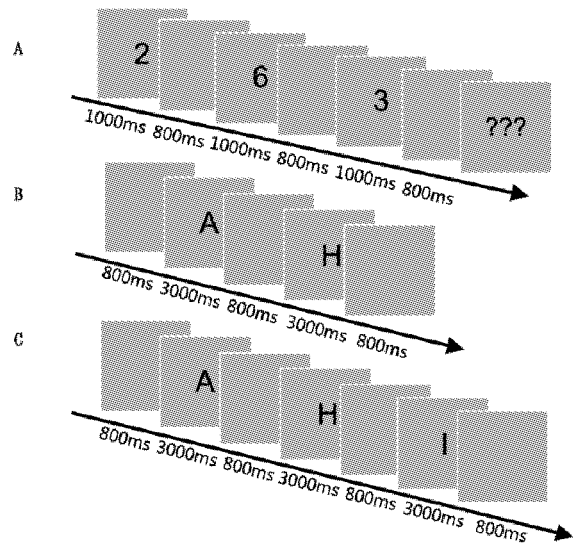


图2 工作记忆实验单试次流程图

注:A 为活动记忆实验任务;B 为 1 back 任务;C 为 2 back 任务

2.2.3 图形推理测验 采用瑞文标准推理测验来考察个体的推理能力,瑞文标准推理测验适用于 5.5 岁以上的儿童青少年以及成人。瑞文标准推理测验按逐步增加难度的顺序分成 A、B、C、D、E 五组,每个题目均由抽象图形构成,其中一部分图形缺失,要求被试从 6 ~ 8 个选项中选择缺失的图形。题目的难度从前向后逐渐增加(张厚璨,王晓平,1989)。瑞文标准推理测验为纸笔测试。答对 1 题得 1 分,答错得 0 分,因变量为 A、B、C、D、E 五组分测验的原始总分。

2.3 实验程序与统计方法

全部实验在学校内安静的教室进行,瑞文标准推理测验为团体施测,大约需要 40 分钟可以完成。加工速度实验和工作记忆实验两人 1 组进行,大约需要 20 分钟完成。所有被试先进行瑞文标准推理测验,然后进行加工速度实验和工作记忆实验。实验数据采用统计软件 SPSS 17.0 进行描述性统计,相关分析以及回归分析。采用 AMOS 17.0 进行结构方程模型检验。根据现有研究,在结构方程模型中,采用最大似然法对数据进行估计,如果拟合指标满足以下要求: χ^2/df 值小于等于 5, RMSEA(近似误差平方根) < 0.08 , IFI > 0.90 , CFI > 0.90 , NFI > 0.90 , 表示模型与数据相适配 (Byrne, 1989)。

3 结果

3.1 儿童青少年在加工速度、工作记忆和图形推理上的描述性统计与差异检验

表 1 列出了 10 岁、11 岁和 12 岁在加工速度、

工作记忆任务和瑞文测验上的平均分和标准差。除了 1back、2back 任务和瑞文 A 外,其他任务上的得分均随年龄增长而提高。单因素方差分析显示,除

了 1back、2back 任务和瑞文 A 外,其他任务上的年龄主效应都显著(详见表 1)。

表 1 三个年龄组在加工速度、工作记忆和图形推理上的均值(标准差)及年龄差异检验

年龄(岁)	10 岁	11 岁	12 岁	<i>F</i>	η^2
方块(ms)	987.50(162.57)	920.75(171.45)	816.10(152.24)	16.60**	0.17
圆点(ms)	762.89(118.46)	728.11(159.65)	669.45(136.66)	6.71**	0.08
三角(ms)	884.46(165.12)	827.56(166.23)	791.25(168.97)	4.37*	0.06
活动记忆(%)	77.10(11.76)	82.40(0.09)	82.23(9.14)	4.62**	0.06
1back(%)	90.02(6.6)	92.17(6.13)	90.89(6.14)	1.48	0.02
2back(%)	62.64(11.92)	68.69(12.73)	66.45(15.45)	2.46	0.03
瑞文 A	10.74(1.21)	11.06(0.80)	11.07(0.98)	1.75	0.03
瑞文 B	9.49(2.13)	10.29(1.82)	10.37(1.97)	3.16*	0.04
瑞文 C	8.13(1.64)	9.02(1.21)	9.27(1.82)	7.47**	0.09
瑞文 D	7.81(2.10)	8.67(1.89)	8.83(1.76)	4.38*	0.06
瑞文 E	4.72(2.58)	5.62(2.58)	6.80(2.44)	9.89**	0.11
瑞文推理(总分)	40.89(7.19)	44.65(5.71)	46.34(6.34)	10.28**	0.12

注:*表示在 0.05 水平上显著,**表示在 0.01 水平上显著

3.2 儿童青少年时期加工速度、工作记忆与图形推理的相关分析

相关分析的结果表明,测量加工速度的 3 个任务方块、圆点和三角之间存在着较高的相关($r = 0.32 \sim 0.75$)。测量工作记忆的活动记忆、1back 和 2back 之间存在中等程度的相关,且相关显著($r =$

0.15 ~ 0.30)。除了瑞文 D 与圆点任务相关不显著外,瑞文 B、C、D、E 和瑞文总分与各个任务存在中等程度的相关,并且处于显著水平($r = 0.23 \sim 0.35$)。瑞文 A 只与 1back、2back 存在显著相关(详见表 2)。

表 2 加工速度、工作记忆与图形推理能力之间的相关分析

	圆点	三角	RM	1back	2back	瑞文 A	瑞文 B	瑞文 C	瑞文 D	瑞文 E	瑞文总分
方块	0.46**	0.32**	0.36**	0.22**	0.20*	0.09	0.19*	0.24**	0.19*	0.27**	0.25**
圆点	—	0.75**	0.24**	0.04	0.14	0.13	0.17*	0.18*	0.06	0.25**	0.22**
三角		—	0.29**	0.05	0.15*	0.11	0.26**	0.29**	0.24**	0.30**	0.32**
RM			—	0.15*	0.26**	0.13	0.34**	0.31**	0.30**	0.28**	0.35**
1back				—	0.30**	0.20**	0.21**	0.20**	0.18*	0.20*	0.26**
2back					—	0.25**	0.24**	0.20**	0.25**	0.36**	0.36**

注:*表示在 0.05 水平上显著,**表示在 0.01 水平上显著, RM 为活动记忆任务。

3.3 在不同难度的图形推理中工作记忆的中介效应

采用结构方程模型考察工作记忆在加工速度与图形推理之间的中介作用。在所有模型中,年龄对工作记忆和图形推理系列的直接路径系数均不显著,因此后续的分析不再考虑这些路径。模型 1 是在瑞文 A 图形推理系列中,工作记忆在加工速度与图形推理的中介作用。结果显示,模型拟合指标达标(详见表 3),年龄对加工速度的路径系数显著($\beta = 0.42, p < 0.001$),解释率为 17.6%;加工速度对工作记忆的路径系数显著($\beta = 0.58, p < 0.001$),解

释率为 33.6%;工作记忆对瑞文 A 的路径系数显著($\beta = 0.50, p < 0.001$),解释率为 25.0%。加工速度对瑞文 A 的直接路径系数不显著($\beta = 0.18, p > 0.05$)。在瑞文 A 图形推理中,工作记忆中介了加工速度对图形推理的作用。

模型 2 是在瑞文 B 图形推理系列中,工作记忆中介加工速度对图形推理的影响。结果显示,模型拟合指标达标(详见表 3),年龄对加工速度的路径系数显著($\beta = 0.43, p < 0.001$),解释率为 18.5%;加工速度对工作记忆的路径系数显著($\beta = 0.64, p < 0.001$),解释率为 41.0%;工作记忆对瑞文 B 的

路径系数显著 ($\beta = 0.63, p < 0.001$), 解释率为 39.7%。加工速度对瑞文 B 的直接路径系数不显著 ($\beta = 0.12, p > 0.05$)。在瑞文 B 图形推理中, 工作记忆中介了加工速度对图形推理的作用。

模型 3 是在瑞文 C 图形推理系列中, 工作记忆中介加工速度对图形推理的影响。结果显示, 模型拟合指标达标 (详见表 3), 年龄对加工速度的路径系数显著 ($\beta = 0.42, p < 0.001$), 解释率为 17.6%; 加工速度对工作记忆的路径系数显著 ($\beta = 0.61, p < 0.001$), 解释率为 37.2%; 工作记忆对瑞文 C 的路径系数显著 ($\beta = 0.48, p < 0.001$), 解释率为 23.0%。加工速度对瑞文 C 的直接路径系数不显著 ($\beta = 0.05, p > 0.05$)。在瑞文 C 图形推理中, 工作记忆中介了加工速度对图形推理的作用。

模型 4 是检验在瑞文 D 图形推理系列中, 工作记忆中介加工速度对图形推理的影响。结果显示, 模型拟合指标达标 (详见表 3), 年龄对加工速度的路径系数显著 ($\beta = 0.40, p < 0.001$), 解释率为 16.0%; 加工速度对工作记忆的路径系数显著 ($\beta = 0.60, p < 0.001$), 解释率为 36.0%; 工作记忆对瑞文 D 的路径系数显著 ($\beta = 0.52, p < 0.001$), 解释率为 27.0%。加工速度对瑞文 D 的直接路径系数不显著 ($\beta = 0.02, p > 0.05$)。在瑞文 D 图形推理中, 工作记忆中介了加工速度对图形推理的作用。

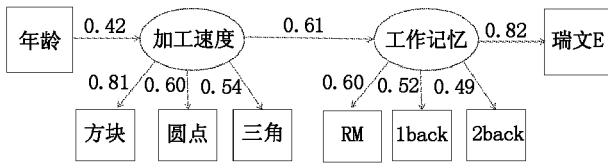


图3 加工速度、工作记忆对瑞文 E 系列的作用

注:该模型中的数据为绝对值, RM 表示活动记忆任务

模型 5 是检验在瑞文 E 图形推理系列中, 工作记忆中介加工速度对图形推理的影响。结果显示, 模型拟合指标达标 (详见表 3)。年龄对加工速度的路径系数显著 ($\beta = 0.42, p < 0.001$), 解释率为 17.6%; 加工速度对工作记忆的路径系数显著 ($\beta = 0.61, p < 0.001$), 解释率为 37.2%; 工作记忆对瑞文 E 的路径系数显著 ($\beta = 0.82, p < 0.001$), 解释率为 67.2%。加工速度对瑞文 E 的直接路径系数不显著 ($\beta = 0.19, p > 0.05$) (详见图 3)。在瑞文 E 图形推理中, 工作记忆中介了加工速度对图形推理的作用。在瑞文 A、B、C、D 图形系列中, 工作记忆的解释率在 23.0% ~ 39.7% 之间, 但是工作记忆对瑞文 E 的解释率增大到了 67.2%。表明图形推理的

难度越大, 工作记忆对其的影响越大。

表3 加工速度、工作记忆与图形推理关系的
结构方程拟合指数

	χ^2/df	NFI	IFI	CFI	RMSEA
模型 1	1.55	0.92	0.97	0.97	0.057
模型 2	1.27	0.94	0.97	0.99	0.040
模型 3	1.60	0.92	0.97	0.97	0.060
模型 4	1.73	0.92	0.96	0.96	0.066
模型 5	2.00	0.91	0.95	0.95	0.0780

4 讨论

以 10 ~ 12 岁童年晚期的儿童为研究对象, 此研究探讨工作记忆在加工速度与图形推理之间的中介效应。研究结果发现, 加工速度、图形推理在童年晚期 (10 ~ 12 岁) 仍然有显著的年龄差异, 这与已有研究结果相一致 (Anderson, 2017; Kail & Ferrer, 2007)。在测量工作记忆的 1back 和 2back 任务中均无年龄差异, 1back 任务每个年龄上的正确率均在 90% 以上, 然而 2back 任务的正确率却在 62% 到 68% 之间。这也说明, 对于难度低的工作记忆任务, 童年晚期的儿童青少年均能较好地完成。难度较大的 2back 任务 10、11 和 12 岁的正确率有较大幅度的下降。工作记忆是对信息进行暂时性加工和存储的系统。在 1back 任务中, 要求个体在记忆中存储 2 个英文字母, 且对这两个英文字母进行相同与否的操作。对工作记忆中的存储与操作的要求低。在 2back 任务中, 个体需要把 3 个英文字母存储记忆中, 并且要求当前看到的字母与倒数第 2 个字母进行相同与否的操作, 这对于童年晚期的儿童青少年的认知负荷的要求增大。

相关分析表明, 测量加工速度的任务之间相关显著, 测量工作记忆的任务相关也显著, 以及加工速度、工作记忆与图形推理之间的相关也显著。相关分析的结果表示, 童年晚期, 加工速度、工作记忆和图形推理之间关系是密切的, 这与已有研究相一致 (韩燕, 徐芬, 2020)。

在不同难度图形推理中, 研究结果发现, 工作记忆始终中介了加工速度对图形推理的影响, 这与已有研究结果相一致 (Fry & Hale, 1996; Kail, 2007; 韩燕, 徐芬, 2020), 该结果为联结模型进一步提供了实证的支持, 从而证实了工作记忆是图形推理的直接影响因素, 加工速度通过工作记忆对图形推理具有间接影响。加工速度通过工作记忆影响推理能力的机制为: 在时间有限的前提下, 加工速度快的个体可以较好地完成任务, 并且在信息遗忘之

前能更好地完成对信息的操作,同时也能实现双任务或多种任务的认知操作(韩燕,徐芬,2020)。

在童年晚期,工作记忆对图形推理具有非常重要的影响,这与 De Alwis 等人(2014)研究结果相一致,他们认为工作记忆中的执行成分和存储成分均对推理能力产生影响。实验任务中测量工作记忆的 1back、2back 和活动记忆任务更加侧重的是执行成分,在这三个任务中,被试需要在较短的时间内(约 10 秒)对存储的信息进行对比、确认与重新组合等一系列操作,而这些认知加工对图形推理起着非常重要的作用。因此,该研究表明,工作记忆中的执行和整合过程能预测图形推理的变化。也就是说,工作记忆和图形推理的主要核心建构是执行程序,儿童在进行工作记忆和图形推理时,都需要在记忆中存储 2~3 个信息模块,儿童可以交替使用这些模块,并优先使用可以成功解决问题的信息模块。此外认知神经研究也表明,个体在进行工作记忆加工和图形推理的加工过程中,激活了共同的脑区——前额叶背外侧(dorsolateral areas of prefrontal cortex)脑区(Kane & Engle,2002)。这也为工作记忆与图形推理之间的密切关系提供了神经机制上的支持。

最后,此研究首次发现,在最难的瑞文 E 图形系列中,工作记忆对图形推理的解释量最大,这说明工作记忆是图形推理项目难度的最佳预测指标(李中权等,2011)。图形推理任务难度越大,工作记忆对其的影响就越大。这是因为在完成难度高的图形推理任务过程中,个体需要思考几种不同的解决方案,并将这些解决方案同时存储在工作记忆中,不断核实是否符合矩阵的规则,直到选出正确答案。因此,相对于简单的图形推理任务,难度大的推理任务对工作记忆的要求较高(O'Brien et al.,2023)。图形推理任务难度增加后,会增加工作记忆的负担,降低其加工信息的能力,也会降低工作记忆的存储能力。推理任务难度增加后,更快的信息加工速度对于工作记忆中保持信息的活跃是非常重要的。

5 结论

根据此研究结果,可以得到以下结论:首先,关于加工速度、工作记忆、图形推理的发展,研究结果表明,童年晚期加工速度和图形推理仍存在年龄差异。其次,童年晚期(10-12岁),工作记忆完全中介了加工速度对图形推理的影响。最后,图形推理的难度越大,工作记忆对其的影响越大。

参考文献

- 陈德枝,戴海琦,朱蓓凌.(2015).基于认知诊断的动态评估——以儿童图形推理能力为例.《心理科学》,38(5),1248-1255.
- 陈晓云.(1999).10-14岁儿童几何图形推理能力的研究.《心理科学》,22,267-268.
- 韩燕,徐芬.(2020).儿童青少年时期加工速度和执行功能在流体智力发展中的作用.《心理发展与教育》,36(4),394-405.
- 李中权,王力,张厚璨,周仁来.(2011).不同认知成分在图形推理测验项目难度预测中的作用.《心理学报》,43(9),1087-1094.
- 林崇德,沃建中,陈浩莺.(2003).小学生图形推理策略发展特点研究.《心理科学》,26(1),2-8.
- 刘昌.(2004).加工速度,工作记忆与液态智力发展的关系.《心理学报》,36(4),464-475.
- 沃建中,林崇德,陈浩莺,曹凌雁.(2003).小学生图形推理策略个体差异.《心理发展与教育》,2,1-8.
- 张涤,张海燕.(2013).不同阶段学生图形推理能力的研究现状.《东北师大学报(哲学社会科学版)》,2,232-234.
- 朱智贤.(1989).《心理学大词典》.北京:北京师范大学出版社.
- 左辞波,王恩国.(2016).加工速度对青少年推理能力和学习成绩的影响.《心理研究》,9(4),82-87.
- 张厚璨,王晓平.(1989).瑞文标准推理测验在中国的修订.《心理学报》,2,113-121.
- Anderson, M. (2017). Binet's error: Developmental change and individual differences in intelligence are related to different mechanisms. *Journal of Intelligence*, 5(2), 24-40.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working Memory. *Psychology of Learning and motivation*, 8, 47-89.
- Berg, D. H. (2008). Working memory and arithmetic calculation in children: The contributory roles of processing speed, short-term memory, and reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 99, 288-308.
- Byrne, B. M. (1989). *A primer of LISREL: Basic applications and programming for confirmatory factor analytic models*. Springer-Verlag Publishing.
- De Alwis, D., Hale, S., & Myerson, J. (2014). Extended cascade models of age and individual differences in children's fluid intelligence. *Intelligence*, 46, 84-93.
- Demetriou, A., Spanoudis, G., Shayer, M., van der Ven, S., Brydges, C. R., Kroesbergen, E., Podjarny, G., & Swanson, H. L. (2014). Relation between speed, working memory, and intelligence from preschool to adulthood: Structural equation modeling of 14 studies. *Intelligence*, 46, 107-121.
- Flanagan, D. P., & McGrew, K. S. (1998). Interpreting Intelligence Tests from Contemporary Gf-Gc Theory: Joint Con-

- firmatory Factor Analysis of the WJ – R and KAIT in a Non – White Sample. *Journal of School Psychology*, 36(2), 151 – 182.
- Frischkorn, G. T., Schubert, A. L., & Hagemann, D. (2019). Processing speed, working memory, and executive functions: Independent or inter – related predictors of general intelligence. *Intelligence*, 75, 95 – 110.
- Fry, A. F., & Hale, S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence: Evidence for a developmental cascade. *Psychological Science*, 7(4), 237 – 241.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonide, S. J., & Perring, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(19), 6829 – 6833.
- Kail, R. V. (2007). Longitudinal evidence that increases in processing speed and working memory enhance children's reasoning. *Psychological Science*, 18(4), 312 – 313.
- Kail, R. V., & Ferrer, E. (2007). Processing speed in childhood and adolescence: Longitudinal models for examining developmental change. *Child Development*, 78(6), 1760 – 1770.
- Kail, R. V., Ferrer, E., & Hulme, C. (2016). Longitudinal evidence linking processing speed to the development of reasoning. *Developmental Science*, 19(6), 1 – 8.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2006). The role of prefrontal cortex in working – memory capacity, executive attention, and general fluid intelligence: An individual – differences perspective. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 637 – 671.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49 – 100.
- Nettelbeck, T., & Burn, N. R. (2010). Processing speed, working memory and reasoning ability from childhood to old age. *Personality and Individual Differences*, 48(4), 379 – 384.
- O'Brien, S., Mitchell, D. J., Duncan, J., & Holmes, J. (2023). Cognitive segmentation and fluid reasoning in childhood. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 76(6), 1431 – 1444.
- Talor, B. K., Heinrichs – Graham, E., Eastman, A. J., Frenzel, M. R., Wang, Y. P., Calhoun, V. D., Stephen, M. J., & Wilson, W. T. (2022). Longitudinal changes in the neural oscillatory dynamics underlying abstract reasoning in children and adolescents. *NeuroImage*, 253, 119094.
- Tourva, A., & Spanoudis, G. (2016). Demetriou A. Cognitive correlates of developing intelligence: The contribution of working memory, processing speed and attention. *Intelligence*, 54, 136 – 146.

The Influence of Processing Speed on Figural Reasoning Ability in Late Childhood: The Mediating Role of Working Memory

Han Yan¹, Zhang Heng¹, Jia Lina², Liu Ying³, Zhang Yuxuan³, Zou Lijuan³

(1. Chongqing Intellectual Property School, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054;

2. School of Humanities, Jiangnan University, Wuxi 214122;

3. School of Psychology, Shandong Normal University, Jinan 250014)

Abstract: This study investigated the effects of processing speed and working memory on figural reasoning ability during late childhood. A sample of 169 children, aged 10 – 12 years, completed assessments of processing speed tasks, working memory tasks, and Raven's Standard Progressive Matrices. The findings revealed the following: (1) The analysis of variance revealed significant age – related differences in both processing speed and figural reasoning. (2) Structural equation modeling showed that working memory mediated the relationship between processing speed and figural reasoning ability, regardless of task difficulty. (3) The greater the difficulty of the figural reasoning tasks, the stronger the impact of working memory. Conclusion: These results suggest that processing speed in late childhood affects figural reasoning ability through the mediation role of working memory. Working memory directly influences figural reasoning ability, while processing speed exerts an indirect influence through this cognitive mechanism. Furthermore, increased task complexity in figural reasoning requires greater involvement of working memory.

Key words: late childhood; processing speed; working memory; figural reasoning