

阅读困难儿童的执行功能结构分化滞后于正常发展儿童*

韩燕¹ 郭筱琳² 杨文静³ 张恒¹ 王腾飞⁴

(1. 重庆理工大学重庆知识产权学院, 重庆 400054; 2. 北京师范大学中国基础教育质量监测协同创新中心, 北京 100875; 3. 西南大学心理学部认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715; 4. 浙江大学心理与行为科学系, 杭州 310058)

摘要: 尽管已有研究发现阅读困难儿童在执行功能任务上的表现显著低于正常发展儿童, 但两组儿童在执行功能结构上是否存在差异尚不清楚。本研究首次聚焦于阅读困难儿童的执行功能结构特征。以3~6年级阅读困难儿童($n=117$)和正常发展儿童($n=117$)为研究对象, 被试完成测查工作记忆更新、抑制和转换的七个实验任务。首先, 采用方差分析考察阅读困难儿童和正常发展儿童在执行功能任务上的表现差异。其次, 在阅读困难儿童和正常发展儿童中, 采用验证性因素分析分别建构五个竞争模型来比较两组在执行功能结构上的差异。结果表明, 阅读困难儿童在工作记忆更新、抑制和转换任务上的表现均显著低于正常发展儿童。最为重要的是, 阅读困难儿童的工作记忆更新、抑制和转换仍然为不可分离的单因素结构; 但正常发展儿童的工作记忆更新已经分化为独立成分, 抑制和转换尚未分离。由此可见, 阅读困难儿童的执行功能缺陷不仅体现在任务层面, 还体现在结构层面, 即阅读困难儿童的执行功能结构分化明显滞后于正常发展儿童。

关键词: 阅读困难儿童; 执行功能结构; 工作记忆更新; 抑制; 转换

分类号: B844

1 引言

阅读是个体运用字词解码、言语理解和书写等技能来获取信息、认识世界的认知活动, 是学业发展和职业成就的基础(Peng et al., 2022)。阅读是一个复杂的过程, 往往需要多种言语和认知能力的共同参与(Swanson et al., 2013)。因此, 并不是每个个体都能很好地学会阅读。据统计, 有5% - 10%的个体会遭受阅读困难的困扰(Fletcher & Vaughn, 2009; 左彭湘等, 2010)。阅读困难(reading difficulty)是指个体在阅读或书写方面存在困难, 任务表现明显低于相应年龄儿童的正常水平, 但在一般智力和教育条件等方面与正常发展儿童不存在差异, 无明显的视听障碍(Reid, 2003; 王久菊等, 2023)。阅读困难有不同的亚型, 包括字词识别(阅读障碍, dyslexia)、阅读理解或两者都存在障碍的个体(Peng et al., 2022), 以及书写或拼写困难(Reid, 2003; 王久菊等, 2023)。

阅读困难儿童不仅在语素意识和语音意识等具有领域特殊性的言语能力上存在缺陷, 在执行功能

等具有领域一般性的认知能力上同样存在缺陷(Peng et al., 2013)。执行功能是以目标为导向对多种认知加工进行监控和管理的能力(Miller & Cohen, 2001; Miyake et al., 2000)。执行功能包含有多个加工成分, 如注意控制、认知灵活性、转换、抑制、冲动控制、有目的的行为、信息保持、工作记忆(或记忆更新)和计划等(Hughes, 1998; Smith & Jonides, 1999; Welsh et al., 1991)。其中, 工作记忆更新、抑制和转换是较为简单且基础的执行功能成分, 并且与复杂认知能力存在密切关系, 因此被广泛研究(Miyake et al., 2000)。这三个执行功能成分对阅读起着关键作用(Cirino, 2023)。具体而言, 在阅读过程中, 为了理解句子和段落的涵义, 儿童需要暂时记住读过的内容, 并在不同的内容之间建立联系从而形成对文本的理解, 这些过程需要工作记忆更新的参与。在汉语中存在较多的同音字和形似字, 阅读时儿童需要抑制与文本内容无关的语音和文字。阅读时还需要儿童将注意在字词、句子和段落之间进行灵活地转换(Chung et al., 2020)。因此, 本研究主要聚焦于工作记忆更新、抑制和转换三

* 基金项目: 国家科技部科技创新 2030 脑科学与类脑研究重大专项(2022ZD0210800); 国家社会科学基金青年项目(17CYY040)。

通讯作者: 王腾飞, E-mail: tfwang@zju.edu.cn

个执行功能成分。

目前,已有研究表明阅读困难儿童的执行功能存在缺陷(Peng et al., 2022; 张妍等, 2011)。例如, Peng等人(2022)的元分析发现,在控制了语音加工和言语理解的差异后,阅读困难儿童与正常发展儿童在执行功能上仍然存在显著差异。阅读困难儿童的执行功能缺陷在不同成分上均有所体现。具体而言,阅读障碍儿童的工作记忆任务表现显著差于正常发展儿童(Peng et al., 2018; 贾丽萍等, 2022)。阅读困难儿童在抑制无关听觉信息上存在困难(Thomas et al., 2015)。张妍等人(2011)发现汉语阅读障碍儿童在 Stroop 任务、威斯康星卡片分类任务和汉诺塔任务上的表现均差于正常发展儿童。与正常发展儿童相比,患有发展性阅读障碍的儿童在进行空间和物体转换时显著更差(Asbjørnsen & Bryden, 1998; Buchholz & Davies, 2005)。

然而,在探究阅读困难儿童的执行功能缺陷时,研究者往往只关注了阅读困难儿童在执行功能任务表现上与正常发展儿童的差异,却忽视了两者在执行功能内在结构上的差异。已有研究表明,执行功能的发展不仅体现在任务表现上,执行功能的内在结构,即不同成分之间的关系,同样会随年龄发生变化(Best & Miller, 2010; Brydges et al., 2012; Hartung et al., 2020; Karr et al., 2018; Xu et al., 2013)。Xu等人(2013)同时考察了7~9岁、10~12岁和13~15岁三个年龄组的执行功能结构差异。通过验证性因素分析发现,随着年龄的增长,抑制、转换和工作记忆更新由不可分离的单因素结构,逐渐分化为虽然相关但是相互独立的三因素结构。Hartung等人(2020)发现,从10岁开始抑制成分从工作记忆更新与转换中分离出来,成为独立的成分。Brydges等人(2012)采用纵向数据,发现执行功能在8岁时为单因素结构,但在10岁时分化为二因素结构,即工作记忆更新成为一个独立的成分,但抑制与转换尚未分离。一项元分析的结果表明,随着年龄的增长,执行功能逐渐从单一结构分化为多成分结构(Karr et al., 2018)。

遗憾的是,关于执行功能结构的研究主要聚焦于正常发展儿童,关注阅读困难儿童的研究较少。目前,仅有一项研究考察了阅读障碍儿童的工作记忆结构(Alt et al., 2022)。Alt等人(2022)以二年级小学生为研究对象,结果发现阅读障碍儿童与正常发展儿童的工作记忆结构相同,均包含了中央执行器、视空间模板和语音环三个成分。然而,这项研究

仅以二年级小学生为研究对象,并且只关注了阅读障碍儿童的工作记忆结构,尚未对执行功能结构做进一步的探究。因此,目前尚不清楚阅读困难儿童的执行功能结构与正常发展儿童是否存在差别。

澄清阅读困难儿童的执行功能结构具有重要的理论和实践意义。执行功能与阅读存在密切关系(Spiegel et al., 2021)。执行功能既可能作为一个整体(单因素结构)影响儿童的阅读,也可能是通过特定的成分(如工作记忆更新、抑制或转换)影响儿童的阅读,但究竟是何种机制取决于执行功能的结构。有证据表明,执行功能的不同成分(如抑制和转换)在阅读过程中各司其职,对理解和信息整合的过程产生影响(Kieffer et al., 2013)。执行功能的成熟度和分化对阅读理解有直接的促进作用,执行功能分化程度较高的儿童在理解长文本和进行复杂推理时表现更好(Sesma et al., 2009)。如果执行功能已经分化为独立的成分,儿童在阅读时只需要调用特定的执行功能成分,而非所有的执行功能成分。但如果执行功能尚未分化,儿童在完成阅读任务时,往往需要调用所有的执行功能成分,从而造成认知资源匮乏,影响儿童在阅读任务中的表现。由此可见,探究阅读困难儿童的执行功能结构能够从新的视角揭示阅读困难儿童的执行功能受损特点。探究阅读困难儿童的执行功能结构对于开发更有效地干预训练方案同样具有重要价值。具体而言,如果阅读困难儿童的执行功能尚未分化,认知训练可以围绕着不同的执行功能成分,从而更好地提升一般性的执行功能;如果阅读困难儿童的执行功能已经分化为多个相对独立的成分,干预训练则更应该聚焦于特定的受损成分。

综上所述,本研究将主要聚焦于阅读困难儿童与正常发展儿童在执行功能结构上的差异。正常发展儿童的执行功能结构研究表明,随着年龄的增长,执行功能逐渐从单一结构分化为包含了多个独立成分的结构(Best & Miller, 2010; Hartung et al., 2020; Karr et al., 2018; Xu et al., 2013)。根据 Xu等人(2013)的研究结果,执行功能结构在10~12岁逐渐出现分化。因此,本研究将以该年龄段的阅读困难儿童为研究对象,考察他们与正常发展儿童在执行功能结构上的差异。与正常发展儿童相比,阅读困难儿童在执行功能任务表现上显著落后(Peng et al., 2022; 张妍等, 2011),阅读困难儿童的执行功能发展滞后同样有可能体现在执行功能的结构分化上。因此,我们假设:(1)阅读困难儿童在工作记

忆更新、抑制和转换任务上的表现显著差于正常发展儿童；(2) 阅读困难儿童的执行功能结构分化可能落后于正常发展儿童。具体而言，正常发展儿童的三个成分可能已经开始分化出独立成分，而阅读困难儿童的工作记忆更新、抑制和转换可能仍然是不分离的单因素结构。

2 研究方法

2.1 被试

选择某所公立小学 3~6 年级 754 名学生作为阅读困难儿童的筛选对象。参照已有研究 (Chan et al., 2012), 首先由熟悉学生的语文老师采用《小学生特定学习困难行为量表》对学生进行评价。同年级中, 如果儿童的量表分高于均值 1.5 个标准差 (3 年级, $M = 58.4, SD = 15.2$; 4 年级, $M = 59.6, SD = 10.2$; 5 年级, $M = 51.3, SD = 9.8$; 6 年级, $M = 49.7, SD = 9.2$), 纳入阅读困难儿童组。其次, 将最近一次期末考试成绩转化为 Z 分数, 将数学分数处于中等及以上, 但是语文成绩的排名为后 25% 的学生, 确定为阅读困难儿童。根据以上标准本研究初步筛选出小学 3~6 年级 121 名学生作为阅读困难儿童。第三, 以上儿童完成瑞文标准智力测验之后, 剔除标准分低于 80 的 4 名儿童 (王久菊等, 2023), 剩余 117 名儿童。为进一步探讨发展差异, 将阅读困难儿童划分为低年级组 60 人 (小学 3~4 年级, 女生 31) 和高年级组 57 人 (小学 5~6 年级, 女生 26)。

按照以下标准筛选出对照组的正常发展儿童: 首先, 《小学生特定学习困难行为量表》低于均值; 其次, 智力处于正常水平, 即瑞文标准智力测验的标准分高于 80; 第三, 最近一次语文考试成绩的 Z 分数为前 75%, 数学处于中等及以上。最终确定了 117 名 3~6 年级小学生作为对照组儿童, 低年级组 60 人 (小学 3~4 年级, 女生 34), 高年级组 57 人 (小学 5~6 年级, 女生 30)。阅读困难组与对照组儿童在年龄、瑞文标准智力测验和数学成绩上无显著差异 ($p > 0.05$), 语文成绩差异显著 ($p <$

0.001) (表 1)。

通过询问儿童的疾病史, 确认阅读困难儿童与对照组儿童无视听觉障碍, 无器质性损伤, 也无注意缺陷多动障碍。所有实验与测试均得到了学校、家长以及儿童的知情同意。

2.2 阅读困难儿童筛选测验和执行功能实验任务

2.2.1 阅读困难儿童筛选测验

阅读困难儿童的筛选量表选用 Chan 等人 (2012) 的《小学生特定学习困难行为量表》, 该量表由 5 名教学年限 3 年及以上的语文老师填写。填写之前, 给 5 位语文老师进行培训, 详细讲解评分规则, 以尽量使评分者的评价标准保持一致。教师根据对学生的日常观察, 对学生语文学习的各项行为进行评价。该量表包含阅读、写字和写作三个维度, 共 22 个问题。其中, 阅读维度有 10 个问题, 比如“阅读文字后, 不能理解其内容”; 写字维度有 5 个问题, 比如“听写常常不及格, 写错字或交白卷”; 写作有 7 个问题, 比如“写作能力比口语表达差很多”。教师需要采用 5 点李克特量表评估学生在各项行为中出现的频率, 依次为“从未”“偶尔”“有时”“较常”以及“经常”, 分别计分为“1 分”“2 分”“3 分”“4 分”和“5 分”。将每题的得分相加, 得到每个儿童在该量表上的分数, 分数越高代表阅读困难表现越严重。该量表的克隆巴赫 α 系数为 0.87, 各个题目的载荷介于 0.56~0.77 间, 结构效度良好。

2.2.2 瑞文标准智力测验

瑞文标准智力测验中的题目全部由图形组成, 按照难易程度分为 A、B、C、D、E 五组, 共 60 题。每个题目均包含一个矩阵和若干个选项, 其中矩阵右下角的图形是缺失的。儿童需要根据矩阵中图形之间的关系进行推理, 在选项中选出最合适的图形。该测验是评价阅读困难儿童智力的经典测验。

2.2.3 执行功能实验任务

采用多个经典执行功能任务测查不同的执行功能成分。其中, 工作记忆更新 3 个任务, 抑制 2 个任务, 以及转换 2 个任务。所有执行功能任务采用 E-prime 2.0 编程。

表 1 阅读困难组与对照组儿童在年龄、瑞文标准智力测验、语文和数学上的差异

	阅读困难组 $M(SD)$	对照组 $M(SD)$	t	p	Cohen's d
年龄	10.15(1.72)	10.56(1.69)	1.82	0.07	0.24
瑞文标准智力测验	44.35(6.06)	43.09(4.44)	-1.85	0.07	0.24
数学成绩	88.00(4.75)	88.69(4.26)	1.01	0.31	0.15
语文成绩	54.33(8.29)	88.89(9.99)	26.86	<0.001	3.76

工作记忆更新采用 1-back、2-back 和活动记忆任务测量。

1-back 和 2-back(改编自 Jaeggi et al., 2008) 任务主要测量的是个体对工作记忆中的空间位置进行持续刷新的能力。在 1-back 中,每次一个紫色小方块出现在大正方形的 8 个位置之一(正方形中心的上、下、左、右、左上、右上、左下和右下),要求被试判断当前紫色方块的位置与前一个紫色方块的位置是否相同,相同按“相同”键,不同按“不同”键。每个刺激呈现时间为 3000ms,间隔 800ms,然后进入下个试次。练习部分包含 16 个试次,正式实验包含 42 个试次。2-back 任务要求被试判断当前紫色方块的位置与倒数第 2 个紫色方块的位置是否相同,其余设置与 1-back 任务相同。因变量均为位置判断的正确率。

活动记忆任务改编自 Miyake 等人(2000)的研究。在该任务中,会呈现一系列的数字,每个数字的呈现时间为 1000ms,间隔 1000ms 后出现下一个数字。为了确保被试持续更新工作记忆中的数字,要求被试出声复述最新呈现的 3 个数字。在数字系列的最后会出现三个问号(???) ,让被试回忆最后出现的三个数字,被试回答完后,进入下一个数字系列。练习包含 3 个试次,数字长度分别为 3、5、9,每种长度练习 1 次。正式实验包含 12 个试次,数字系列的长度有 4 种,分别为 3、5、7、9,每种长度有 3 个试次,不同长度的试次随机排列。主试在记录纸上记录被试的回答。因变量为数字回忆的正确率。

抑制采用 Go-Nogo 任务和颜色 Stroop 任务测量。

Go-Nogo 任务(改编自 Eigsti et al., 2006) 测查个体对优势反应的抑制。在该任务中,正方形内有垂直线的图形为 go 刺激,正方形内有斜线的图形为 nogo 刺激。当被试看到 go 刺激时按空格键,看到 nogo 刺激不按键。go 和 nogo 刺激均呈现 500ms,间隔 800~1200ms,出现下一个试次。为了形成对 go 刺激的优势反应,go 刺激所占的比例为 75%,nogo 刺激的比例为 25%。为了更好地体现 10~12 岁儿童在该任务上的发展性,设置了三种条件,即 nogo 刺激前有 2、4、6 个 go 刺激,随着 go 刺激的增多,对 go 刺激的反应优势增强,因而对 nogo 刺激的抑制就会越难。练习 10 个试次进入正式实验,正式实验共有 96 个试次,三种条件随机出现。因变量为有效抑制 nogo 刺激的正确率。

颜色 Stroop 任务是测量儿童优势反应抑制能力

的经典任务(Leon-Carrion et al., 2004)。在该任务中,刺激材料选用了红、蓝、黄、绿 4 种颜色的字或方块,要求被试判断字或方块的颜色。每个刺激呈现 3500ms,间隔 800~1200ms 后出现下一个试次。在该任务中,设置三种条件:基线(四种颜色的方块)、一致(字的颜色与字义相同,如红色的红)和不一致(字的颜色与字义不同,如绿色的红)。该任务分为两个组块,第一个组块为基线条件,包含 8 个练习试次和 24 个正式试次。第二个组块同时包含一致条件和不一致条件,其中练习部分为 8 个不一致试次和 8 个一致试次;正式实验为 24 个不一致试次和 24 个一致试次。在每个组块内,不同颜色的刺激随机呈现。因变量为不一致试次的平均反应时减去基线试次的平均反应时。

转换采用拼音-数字转换和圆点-三角转换任务测量。

在拼音-数字转换任务(改编自 Rogers & Monsell, 1995)中,拼音-数字对(如“5g”)出现在 2×2 的一个方格中。当拼音-数字对出现在上面的方格中,被试需要判断拼音是声母还是韵母(声母为 b、p、m、f,韵母为 a、e、i、ü),即拼音任务;当拼音-数字对出现在下面的方格中,被试需要判断数字为奇数还是偶数(偶数为 2、4、6、8,奇数为 3、5、7、9),即数字任务。刺激呈现 4500ms,间隔 1000ms 后进入下一个试次。该任务包含三个组块:第一个组块为拼音任务,第二个组块为数字任务,均包含 10 个练习试次和 30 个正式试次;第三个组块为混合试次,拼音-数字对会按照顺时针方向依次出现在 2×2 的四个方格中,被试需要在数字任务和拼音任务之间进行灵活地切换。因变量为第三组块中转换试次的平均反应时减去重复试次的平均反应时。

圆点-三角转换任务是 Huizinga 等人(2006)对数字-字母任务进行改编,并应用于儿童研究的转换任务。在每个试次中,红色圆点或绿色三角分布在 4×4 的方格中(方格的横中线或竖中线将其划分为上下两半或左右两半,每半方格中分布有 3~8 个三角或圆点)。当红色圆点呈现时,被试需要判断左边的圆点多还是右边的圆点多。当绿色三角出现时,被试需要判断上边的三角多还是下边的三角多。刺激呈现 3500ms,间隔 500ms 后进入下个试次。该任务包含三个组块:第一个组块为圆点任务,第二个组块为三角任务,均包含 10 个练习试次和 30 个正式试次;第三个组块为混合试次,4 个圆点试次和 4 个三角试次交替出现,被试需要在圆点任务

和三角任务之间进行灵活地切换,该组块包含 16 个练习试次和 72 个正式试次。因变量为圆点 - 三角任务中转换试次的平均反应时减去重复试次的平均反应时。

2.3 实验程序

所有测试在学校内安静的教室进行。瑞文标准智力测验为团体施测,《小学生特定学习困难行为量表》由儿童的语文教师进行评定。所有执行功能任务为个体测试。执行功能实验任务分两次进行,每次大约需要 30 ~ 40 分钟。第一部分实验任务顺序为:颜色 Stroop、圆点 - 三角转换、1 - back、2 - back;第二部分实验任务的顺序为:Go - Nogo、拼音 - 数字转换、活动记忆。第一部分和第二部分的实验顺序在被试间进行平衡,两部分执行功能任务施测间隔一周左右。

2.4 数据分析

对于每个执行功能任务,在年级内超过 3 个标准差的标记为缺失。以反应时为指标的任务中,我们采取了两个标准来删除异常值(Miyake et al., 2000)。首先,删除不正确试次对应的反应时和小于等于 150ms 的反应时(反应时短于 150ms,被认为反应太快而没有意义)。另外,在转换任务中,错误试次后的试次也会被删除。其次,在转换任务(转换条件和不转换条件)和测量抑制的颜色 Stroop 任务(基线条件和不一致条件)中,只要其中有一种条件的正确率小于 55%,那么与其对应的因变量就会记为缺失。经过这两个删除步骤,3 年级和 4 年级缺失数据点均为 13%,5 年级为 7%,6 年级为 6%。

采用方差分析(ANOVA)来评估各个执行功能任务表现上的年级和组别差异。采用皮尔逊相关分

析来考察各个任务之间的相关程度。采用验证性因素分析(CFA)来检验执行功能的结构。根据已有研究,我们主要依据 χ^2/df 、RMSEA、TLI 评估模型是否拟合良好,如果 $\chi^2/df < 2$, TLI > 0.95 , RMSEA < 0.06 , 表示模型拟合良好(Hu & Bentler, 1998);如果 $\chi^2/df < 3$, TLI > 0.90 , RMSEA < 0.10 表示模型拟合可接受(Sugawara & MacCallum, 1993)。在验证性因素分析中,可以通过设置残差相关或删除不显著的因子载荷来修正模型(Alt et al., 2022)。

3 实验结果

3.1 阅读困难儿童与正常发展儿童在执行功能任务表现上的差异

表 2 呈现了儿童在执行功能各任务上的表现及相应的方差分析结果。采用 2(组别) \times 2(年级) 方差分析考察高、低年级的阅读困难儿童和正常发展儿童在各个执行功能任务上的差异。首先,除了 Stroop 和拼音 - 数字转换任务,其他执行功能任务阅读困难组儿童和对照组儿童都有显著的差异 [$F(1, 189) = 5.92 \sim 64.45$]。该结果表明阅读困难儿童在执行功能任务上的表现显著差于正常发展儿童。

其次,除了圆点 - 三角转换任务,其他执行功能任务均存在显著的年级差异 [$F(1, 189) = 11.84 \sim 42.29$]。该结果表明高年级儿童在执行功能任务上的表现要好于低年级儿童。

最后,在拼音 - 数字和圆点 - 三角两个任务上,组别与年级的交互作用显著 [$F(1, 230) = 11.84 \sim 42.29$]。进一步简单效应分析表明,对于低年级儿童,在拼音 - 数字 [$F(1, 189) = 5.81, p < 0.05$] 和圆点 - 三角 [$F(1, 189) = 22.67, p < 0.01$] 两个转

表 2 阅读困难组和对照组在执行功能任务上的描述性统计及差异检验

实验任务	低年级(3~4 年级)		高年级(5~6 年级)		F 组别	η^2	F 年级	η^2	F 交互 作用	η^2
	阅读困难组 M(SD)	对照组 M(SD)	阅读困难组 M(SD)	对照组 M(SD)						
Go-Nogo	0.48(0.14)	0.56(0.13)	0.64(0.14)	0.66(0.15)	5.92*	0.02	42.29**	0.15	2.48	0.01
Stroop	409.55(200.53)	364.70(184.06)	287.05(135.25)	276.76(183.77)	1.32	0.00	19.22**	0.08	0.52	0.00
1-back	0.78(0.14)	0.84(0.11)	0.84(0.09)	0.89(0.10)	15.40**	0.07	14.32**	0.05	0.05	0.00
2-back	0.55(0.14)	0.71(0.13)	0.64(0.14)	0.75(0.12)	64.45**	0.23	11.84**	0.05	1.82	0.00
活动记忆	0.59(0.15)	0.75(0.13)	0.73(0.11)	0.83(0.11)	53.08**	0.18	40.91**	0.15	2.02	0.00
拼音-数字	539.59(283.65)	442.17(364.63)	325.60(253.43)	405.28(313.02)	0.61	0.01	13.59**	0.05	6.79*	0.02
圆点-三角	573.57(386.56)	275.16(288.10)	479.82(205.92)	457.08(224.00)	17.16**	0.07	1.29	0.00	12.64**	0.06

注:Go - Nogo、1 - back、2 - back 和活动记忆的因变量为正确率;Stroop、拼音 - 数字和圆点 - 三角任务的因变量为反应时,单位为 ms; * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$,下同。

换任务中,阅读困难儿童的转换损耗高于正常发展儿童。对于高年级儿童,在拼音-数字[$F(1,189) = 0.47, p > 0.05$]和圆点-三角[$F(1,189) = 0.09, p > 0.05$]两个转换任务中,阅读困难儿童与正常发展儿童的差异不显著(表2)。

3.2 阅读困难儿童和正常发展儿童在执行功能任务上的相关分析

在阅读困难组和对照组中分别对执行功能各任务之间的相关进行分析。如表3所示,在对照组儿童中,测查抑制的Go-Nogo任务与Stroop任务相关显著,并且Go-Nogo任务和2-back任务具有显著的相关;Stroop任务与2-back和活动记忆相关显著。测量转换的拼音-数字转换任务与测查工作记忆更新的三个任务相关均显著;圆点-三角转换只与活动记忆相关显著。测查工作记忆更新的三个任务两两之间存在显著相关。此外,大部分执行功能任务与语文、数学成绩之间存在显著相关。

在阅读困难组中,测查抑制的Go-Nogo任务与Stroop任务相关显著,而且Go-Nogo任务与拼音-数字任务和三个工作记忆更新任务,Stroop任务和活动记忆任务之间的相关均显著;测查转换的两个任务相关显著,而且拼音-数字任务和活动记忆任务,圆点-三角任务与2-back任务相关均显著;测查工作记忆更新的三个任务两两之间相关显著。此外,大部分执行功能任务与语文、数学成绩之间存在显著相关。

3.3 阅读困难儿童与正常发展儿童在执行功能结构上的比较

为了探讨阅读困难儿童与正常发展儿童在执行功能结构上的差异,根据已有研究(Miyake et al., 2000),分别构建三因素结构、单因素结构以及二因素结构,来分别验证两组儿童中的最优模型。在三

因素模型(即模型1)中,工作记忆更新、抑制和转换是三个独立的成分,但两两之间存在相关(Lehto et al., 2003; Wu et al., 2011)。在单因素模型(即模型2)中,工作记忆更新、抑制和转换三成分不可分离,负荷在同一潜变量上(Hughes et al., 2010; Wiebe et al., 2011)。模型3~5均为二因素结构,模型3为抑制和转换成分不可分离,负荷在同一潜变量上(Chevalier et al., 2012; Koch et al., 2010),但是工作记忆更新是一个独立的成分;模型4为抑制与工作记忆更新不可分离,负荷在同一潜变量上(Roberts & Pennington, 1996),而转换成分是独立的;模型5为工作记忆更新与转换不可分离,负荷在同一潜变量上(Chevalier et al., 2012; Huizinga et al., 2006; St Clair - Thompson & Gathercole, 2006),而抑制能力是一个独立的成分。

阅读困难组的验证性因素分析结果表明,只有单因素模型的拟合指标可以接受($\chi^2 = 16.44, df = 12, \chi^2/df = 1.37, TLI = 0.95, RMSEA = 0.05$)(表4),二因素和三因素模型的拟合指数均不可接受。该结果表明,阅读困难儿童的工作记忆更新、抑制和转换是不可分离的单因素结构,尚未出现执行功能结构分化(图1)。

对照组的验证性因素分析结果表明,只有二因素模型(模型3),即工作记忆更新是独立的成分,而抑制与转换无法分离,与数据的拟合可接受($\chi^2 = 12.87, df = 11, \chi^2/df = 1.17, TLI = 0.93, RMSEA = 0.04$)(表5),而其他的二因素模型、单因素模型和三因素模型均不可接受。这表明,在正常发展儿童中,工作记忆更新成分可以分离,但是抑制和转换无法分离;同时,工作记忆更新成分与抑制/转换成分存在显著的正相关(图2)。

表3 阅读困难组与对照组在执行功能任务上的相关系数

执行功能任务	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Go-Nogo	—	-0.38**	-0.42**	-0.18	0.23*	0.25**	0.32**	0.15	0.48**
2. Stroop	-0.23*	—	0.23*	0.10	-0.04	-0.08	-0.20*	0.17	-0.25**
3. 拼音-数字	-0.12	0.15	—	0.24*	-0.03	-0.17	-0.21*	-0.22*	-0.32**
4. 圆点-三角	-0.14	-0.01	-0.05	—	0.13	-0.31**	0.02	-0.10	-0.22**
5. 1-back	0.08	-0.06	-0.27**	0.08	—	0.21*	0.42**	0.30**	0.24**
6. 2-back	0.22*	-0.28**	-0.20*	0.09	0.37**	—	0.18*	0.31**	0.39**
7. 活动记忆	0.13	-0.26**	-0.21*	0.26**	0.55**	0.20*	—	0.23*	0.49**
8. 数学成绩	0.17	-0.21*	-0.14	-0.23*	0.42**	0.30**	0.29**	—	0.54**
9. 语文成绩	0.35**	-0.33*	-0.07	-0.11	0.33**	0.33**	0.43**	0.47**	—

注:下方正三角区域为对照组的相关系数,上方倒三角区域为阅读困难组的相关系数。

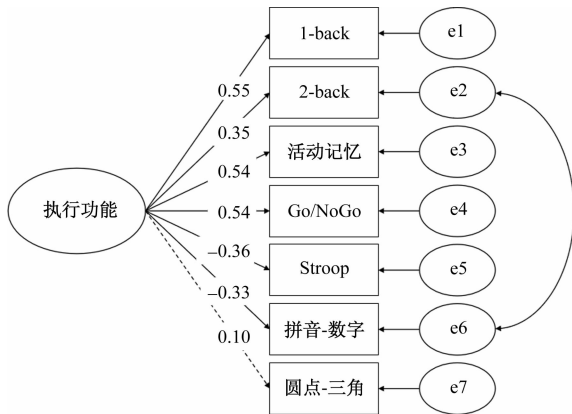


图 1 阅读困难组儿童执行功能结构

(图中的数字为标准化路径系数, e_i 表示每个观测指标对应的残差项, 实线表示路径系数显著, 虚线表示路径系数不显著)

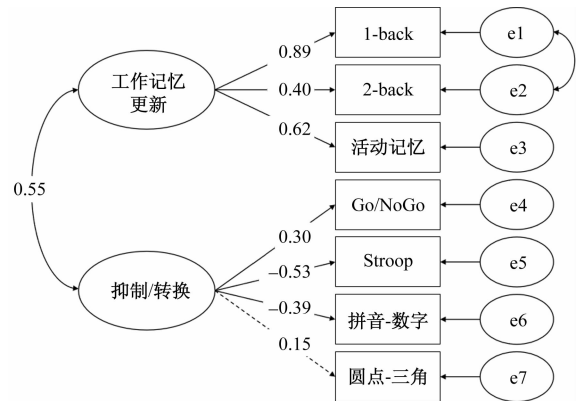


图 2 对照组儿童执行功能结构

(图中的数字为标准化路径系数, e_i 表示每个观测指标对应的残差项, 实线表示路径系数显著, 虚线表示路径系数不显著)

表 4 阅读困难儿童的执行功能结构模型拟合指标

模型	χ^2	df	p	χ^2/df	RMSEA	TLI
1. 三因素模型	15.28	9	0.08	1.70	0.08	0.83
2. 单因素模型	16.44	12	0.20	1.37	0.05	0.95
3. 工作记忆更新 + 抑制/转换	25.62	11	<0.01	2.33	0.11	0.70
4. 抑制 + 工作记忆更新/转换	26.22	11	0.01	2.38	0.11	0.66
5. 转换 + 工作记忆更新/抑制	19.70	11	0.05	1.79	0.08	0.80

表 5 对照组儿童的执行功能结构模型拟合指数

模型	χ^2	df	p	χ^2/df	RMSEA	TLI
1. 三因素模型	20.23	9	0.02	2.25	0.10	0.71
2. 单因素模型	21.52	12	0.04	1.79	0.08	0.82
3. 工作记忆更新 + 抑制/转换	12.87	11	<0.01	1.17	0.04	0.93
4. 抑制 + 工作记忆更新/转换	24.85	11	0.01	2.26	0.10	0.71
5. 转换 + 工作记忆更新/抑制	30.61	11	<0.01	2.78	0.12	0.57

4 讨论

虽然执行功能缺陷在阅读困难儿童中得到了较多的关注 (Peng et al., 2022), 但是已有研究只停留在对比正常发展儿童与阅读困难儿童在执行功能任务上的表现差异, 并没有深入探讨执行功能结构在不同群体中的差异。在潜变量层面上探讨阅读困难儿童的执行功能结构, 既能够澄清阅读困难儿童执行功能缺陷的具体内涵, 又对执行功能的干预训练具有重要指导作用。因此, 本研究主要从潜变量层面上比较了阅读困难儿童与正常发展儿童在执行功能结构上的差异。结果发现, 与正常发展儿童相比, 阅读困难儿童不仅在工作记忆更新、抑制和转换任务上表现较差, 而且在执行功能结构分化上明显滞后。

4.1 阅读困难儿童在执行功能任务上表现更差

与正常发展儿童相比, 阅读困难儿童在工作记忆更新任务上表现更差, 这与已有研究结果一致 (Peng et al., 2022; 贾丽萍等, 2021)。贾丽萍等人 (2021) 发现汉语发展性阅读障碍的症状表现越严重, 工作记忆的表现越差; 并且工作记忆中的语音环、视空间模板和中央执行器均与阅读障碍有紧密的关系。阅读障碍儿童对语言中的音韵不敏感, 在汉语中主要表现为声调、声旁和韵母等不敏感, 很难在工作记忆中存储语音信息, 从而引起了阅读困难。本研究进一步证实了阅读困难儿童在工作记忆中将旧信息替换为新信息的更新能力同样存在缺陷。

与正常发展儿童相比, 阅读困难儿童只在 Go - Nogo 任务上表现更差, 当出现 nogo 刺激时, 阅读困难儿童难以抑制对 go 刺激的优势反应, 这一结果与

以往研究一致(Peng et al., 2013;王久菊等, 2023)。由于汉语中存在大量的同音字、形似字以及不规则形声字(阅读不规则形声字时,需要抑制利用声旁读字的常用原则),在阅读这些字时,阅读困难儿童难以抑制与目标无关的字音、字形或常用的读字规则,因此其阅读能力落后于正常发展儿童。然而,两组在 Stroop 任务上无显著差异。虽然 Go - Nogo 和 Stroop 任务均测量了抑制优势反应的能力,但结果不一致。这可能与刺激呈现时间有关。在 Stroop 任务中,刺激呈现时间较长(3500ms),阅读困难儿童仍然有充分的时间对干扰语义进行抑制。Go - Nogo 任务则要求被试在极短的时间(500ms)内做出反应。在有时间限制的条件下,阅读困难儿童更难以抑制优势反应。

与正常发展儿童相比,阅读困难儿童在圆点 - 三角任务上的转换损耗更大,这与已有研究结果相一致(Buchholz & Davies, 2005; 闫嵘, 俞国良, 2006)。闫嵘和俞国良(2006)的研究发现阅读困难儿童的认知灵活性(即转换)要显著低于正常发展儿童。在汉语阅读中,转换能力主要体现在语音和词义的转换中。汉字存在较多的同音字,也存在大量的多音字,以及形似字。阅读过程中,儿童需要根据语境来提取与语境相符合的语音、字形以及语义,这就需要在不同的读音、词形和语义中进行转换。阅读困难儿童在转换能力上存在缺陷,因此其阅读能力落后于正常发展儿童。

4.2 阅读困难儿童的执行功能尚未分化出独立成分

在 3~6 年级正常发展儿童中,工作记忆更新已经分化为独立的成分,抑制与转换尚未分离,与已有研究相一致(Brydges et al., 2012)。根据 Miyake 等人(2000)基于大学生的研究,执行功能包括工作记忆更新、抑制和转换三个相对独立、但彼此相关的成分。与大学生的执行功能结构不同,儿童的执行功能结构从单一成分逐步分化为多个成分。Brydges 等人(2012)基于儿童的研究发现,工作记忆更新在 10 岁之前尚未从单一的执行功能结构中分离出来,但在 10 岁左右时逐渐分离并成为独立的成分。本研究选取的正常发展儿童年龄与 Brydges 等人的研究相一致,在执行功能结构上得到了一致的结果,进一步证实了执行功能结构分化的年龄特点(Xu et al., 2013)。

与正常发展儿童的执行功能结构不同,3~6 年级阅读困难儿童的工作记忆更新、抑制和转换仍然

为单因素结构。这可能是由于执行功能存在缺陷或发育迟缓影响了工作记忆更新、抑制和转换三个执行功能成分的分化(Karr et al., 2018)。根据交互特异化理论(Interactive Specialization Framework)(Johnson, 2000, 2011),大脑皮层区域在早期发育阶段通常表现为功能非特异性,即这些区域并不专门负责某种特定功能,而是可以支持多种认知过程。随着儿童的成长和大脑的发育,经过不断的激活、区域间的交互及外界经验的影响,这些皮层区域逐渐细化其功能,最终形成专门负责某种认知功能的特定区域。Bardikoff 和 Sabbagh(2017)从脑发育的角度阐述了执行功能结构分化的可能原因。在儿童发展早期,三个执行功能成分主要依赖腹侧前额皮质(VLPFC),但随着年龄增长,顶叶越来越多地参与到执行过程中,形成了较强的额叶 - 顶叶功能连接。这些脑发育变化可能是工作记忆更新逐渐分化为一个独立成分的内在原因。已有研究表明,与正常发展儿童相比,阅读困难儿童在前额叶 - 顶叶等功能连接上发展较为迟缓(Pugh et al., 2000; Turker et al., 2023)。阅读困难儿童在左侧枕颞叶皮层、左侧颞顶叶皮层以及额叶下皮层的激活强度上存在差异,同时这些区域的结构也存在差异,包括灰质的减少和白质连接的减少(D' Mello & Gabrieli, 2018)。这些皮层区域和功能连接的发育迟缓,可能会妨碍这些区域逐渐细化其功能从而进一步形成负责不同执行功能成分的特定脑区。

本研究首次揭示了阅读困难儿童在执行功能结构上与正常发展儿童存在差异。这一发现具有重要的理论和实践意义。在理论上,该研究丰富并拓宽了对阅读困难儿童的执行功能缺陷的理解,进一步揭示了阅读困难的内在认知机制。在实践上,该问题的讨论能够为阅读困难儿童的教育诊断和干预提供指导,提示教师需要根据儿童的执行功能结构特点采纳不同的干预思路。学龄阶段阅读困难儿童的执行功能为单一结构,这意味着不同的执行功能成分受统一的注意资源影响,执行功能作为一个整体对其阅读表现产生影响。因此,针对这一阶段的阅读困难儿童,执行功能干预训练可以围绕多种成分展开,从而更好地提升一般性的执行功能。对于年龄更大的阅读困难儿童,执行功能结构可能逐渐出现分化。由于不同成分之间相对独立,在进行执行功能干预时应当首先澄清受损的特定成分,然后再针对这些成分进行有针对性的干预。由此可见,探明阅读困难儿童的执行功能结构对于理解其执行功

能受损机制,以及针对阅读困难儿童设计个性化的干预方案均具有重要价值。

4.3 研究不足与展望

本研究仍然存在一些不足之处。首先,已有研究表明,执行功能结构随着年龄的增长会发生变化。本研究仅选取了 3~6 年级学龄儿童,发现阅读困难儿童的执行功能结构尚未分化。但阅读困难儿童的执行功能结构究竟何时分化,尚不清楚。由于本研究中每个年级的样本量较小(其中,阅读困难低年级 60 人,高年级 57 人),无法在不同年级探讨执行功能结构的差异。在未来研究中,可以扩大年龄范围,并且在每个年龄段内采集足够多的样本数据,以进一步探究阅读困难儿童执行功能结构分化的年龄特点。其次,无论是正常发展儿童还是阅读困难儿童,圆点-三角任务在执行功能成分上的因子载荷均不显著,可能是由于该任务与其他执行功能任务的相关较低。未来研究可以考虑选取其他的转换任务进一步验证阅读困难儿童的执行功能结构。再次,本研究首次揭示了阅读困难儿童的执行功能结构滞后于正常发展儿童,但其背后的原因和机制尚不清楚。未来研究可以从神经机制和学校教育等视角(Karr et al., 2018),进一步探究影响阅读困难儿童执行功能结构分化的内在因素。

5 研究结论

本研究发现,阅读困难儿童与正常发展儿童不仅在执行功能任务的表现上存在差异,在执行功能结构上同样存在差异。在任务层面,阅读困难儿童在工作记忆更新任务、Go-Nogo 任务和圆点-三角任务上均表现更差。在结构层面,阅读困难儿童的执行功能是尚未分化的单因素结构,而正常发展儿童的执行功能是已分化的二因素结构,其中工作记忆更新独立于抑制和转换。该研究提示在考察阅读困难儿童的执行功能缺陷时,需要关注执行功能的结构及其分化特点。

参考文献:

- Alt, M., Fox, A., Levy, R., Hogan, T. P., Cowan, N., & Gray, S. (2022). Phonological working memory and central executive function differ in children with typical development and dyslexia. *Dyslexia*, 28(1), 20-39.
- Asbjørnsen, A. E., & Bryden, M. P. (1998). Auditory attentional shifts in reading-disabled students: Quantification of attentional effectiveness by the Attentional Shift Index. *Neuropsychologia*, 36(2), 143-148.
- Bardikoff, N., & Sabbagh, M. (2017). The differentiation of executive functioning across development: Insights from developmental cognitive neuroscience. In N. Budwig, E. Turiel, & P. Zelazo (Eds.), *New perspectives on human development* (pp. 27-46). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81(6), 1641-1660.
- Brydges, C. R., Reid, C. L., Fox, A. M., & Anderson, M. (2012). A unitary executive function predicts intelligence in children. *Intelligence*, 40(5), 458-469.
- Buchholz, J., & Davies, A. A. (2005). Adults with dyslexia demonstrate space-based and object-based covert attention deficits: Shifting attention to the periphery and shifting attention between objects in the left visual field. *Brain and Cognition*, 57(1), 30-34.
- Chan, D. W., Ho, C. S. H., Chung, K. K. H., Tsang, S. M., & Lee, S. H. (2012). The Hong Kong behavior checklist for primary students: Developing a brief dyslexia screening measure. *International Journal of Disability Development and Education*, 59(2), 173-196.
- Chevalier, N., Sheffield, T. D., Nelson, J. M., Clark, C. A. C., Wiebe, S. A., & Espy, K. A. (2012). Underpinnings of the costs of flexibility in preschool children: The roles of inhibition and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 37(2), 99-118.
- Chung, K. K. L., Lam, C. B., & Leung, C. O. Y. (2020). Contributions of executive functioning to Chinese and English reading comprehension in Chinese adolescent readers with dyslexia. *Reading and Writing*, 33(7), 1721-1743.
- Cirino, P. T. (2023). Framing executive function as a construct and its relation to academic achievement. *Mind, Brain, and Education*, 17(4), 226-237.
- D'Mello, A. M., & Gabrieli, J. D. E. (2018). Cognitive neuroscience of dyslexia. *Language, Speech & Hearing Services in Schools*, 49(4), 798-809.
- Eigsti, I. M., Zayas, V., Mischel, W., Shoda, Y., Ayduk, O., Dadlani, M. B., ... Casey, B. J. (2006). Predicting cognitive control from preschool to late adolescence and young adulthood. *Psychological Science*, 17(6), 478-484.
- Fletcher, J. M., & Vaughn, S. (2009). Response to intervention: Preventing and remediating academic difficulties. *Child Development Perspectives*, 3(1), 30-37.
- Hartung, J., Engelhardt, L. E., Thibodeaux, M. L., Harden, K. P., & Elliot, M. T. D. (2020). Developmental transformations in the structure of executive functions. *Journal of Experimental Child Psychology*, 189, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104681>
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16(2), 233-253.
- Hughes, C., Ensor, R., Wilson, A., & Graham, A. (2010). Tracking executive function across the transition to school: A latent variable approach. *Developmental Neuropsychology*, 35(1), 20-36.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a la-

- tent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44(11), 2017–2036.
- Hu, L., T. & Bentler, P. M. (1998). Fit indices in covariance structure modeling: Sensitivity to underparameterized model misspecification. *Psychological Methods*, 3(4), 424–453.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(19), 6829–6833.
- Johnson, M. H. (2000). Functional brain development in infants: Elements of an interactive specialization framework. *Child Development*, 71(1), 75–81.
- Johnson, M. H. (2011). Interactive specialization: A domain–general framework for human functional brain development? *Developmental Cognitive Neuroscience*, 1(1), 7–21.
- Karr, J. E., Areshenkoff, C. N., Rast, P., Hofer, S. M., Iverson, G. L., & Garcia–Barrera, M. (2018). The unity and diversity of executive functions: A systematic review and re–analysis of latent variable studies. *Psychological Bulletin*, 144(11), 1147–1185.
- Kieffer, M. J., Vukovic, R. K., & Berry, D. (2013). Roles of attention shifting and inhibitory control in fourth–grade reading comprehension. *Reading Research Quarterly*, 48(4), 333–348.
- Koch, I., Gade, M., Schuch, S., & Philipp, A. M. (2010). The role of inhibition in task switching: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(1), 1–14.
- Lehto, J. E., Juujärvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: Evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21(1), 59–80.
- Leon–Carrion, J., García–Orza, J., & Pérez–Santamaría, M. (2004). Development of the inhibitory component of the executive functions in children and adolescents. *International Journal of Neuroscience*, 114(10), 1291–1311.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167–202.
- 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.
- Peng, P., Barnes, M., Wang, C., Wang, W., Li, S., Swanson, H., ... Tao, S. A. (2018). A meta–analysis on the relation between reading and working memory. *Psychological Bulletin*, 144(1), 48–76.
- Peng, P., Sha, T., & Li, B. (2013). The deficit profile of working memory, inhibition, and updating in Chinese children with reading difficulties. *Learning and Individual Differences*, 25, 111–117.
- Peng, P., Zhang, Z., Wang, W., Lee, K., Wang, T. F., Wang, C. C., ... Lin, J. Z. (2022). A meta–analytic review of cognition and reading difficulties: Individual differences, moderation, and language mediation mechanisms. *Psychological Bulletin*, 148(3–4), 227–272.
- Pugh, K. R., Einar, M. W., Jenner, A. R., & Katz, L. A. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 207–213.
- Reid, G. (2003). *Dyslexia: A practitioner’s handbook* (3rd ed.). Wiley.
- Roberts, R. & Pennington, B. F. (1996). An interactive framework for examining prefrontal cognitive process. *Developmental Neuropsychology*, 12(1), 105–126.
- Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207–231.
- Sesma, H. W., Mahone, E. M., Levine, T., Eason, S. H., & Cutting, L. E. (2009). The contribution of executive skills to reading comprehension. *Child Neuropsychology*, 15(3), 232–246.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283(5408), 1657–1661.
- Spiegel, J. A., Goodrich, J. M., Morris, B. M., Osborne, C. M., & Lonigan, C. J. (2021). Relations between executive functions and academic outcomes in elementary school children: A meta–analysis. *Psychological Bulletin*, 147(4), 329–351.
- St Clair–Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2006). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(4), 745–759.
- Sugawara, H. M., & MacCallum, R. C. (1993). Effect of estimation method on incremental fit indexes for covariance structure models. *Applied Psychological Measurement*, 17(4), 365–377.
- Swanson, H. L., Harris, K. R., & Graham, S. (2013). Overview of foundations, causes, instruction, and methodology in the field of learning disabilities. In H. L. Swanson, K. R. Harris, & S. Graham (Eds.), *Handbook of learning disabilities* (2nd ed., pp. 3–14). Guilford Press.
- Thomas, R. M., Kaipa, R., & Ganesh, A. C. (2015). Auditory interference control in children with learning disability: An exploratory study. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*, 79(12), 2079–2085.
- Turker, S., Kuhnke, P., Jiang, Z., & Hartwigsen, G. (2023). Disrupted network interactions serve as a neural marker of dyslexia. *Communications Biology*, 6(1), 1114. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05499-2>
- Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). A normative–developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7(2), 131–149.
- Wiebe, S. A., Sheffield, T., Nelson, J. M., Clark, A. C., Chevalier, N., & Espy, K. A. (2011). The structure of executive function in 3–year–old. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108(3), 436–452.
- Wu, K. K., Chan S. K., Leung, P. W. L., Liu, W. S., Leung, F. L. T., & Ng, R. (2011). Components and developmental differences of executive functioning for school–aged children. *Developmental Neuropsychology*, 36(3), 319–337.

- Xu, F., Han, Y., Sabbagh, M. A., Wang, T., Ren, X., & Li, C. (2013). Developmental differences in the structure of executive function in middle childhood and adolescence. *PLoS ONE*, 8(10), Article e77770. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0077770>
- 贾丽萍, 刑龙雪, 张现代, 李雅蕾, 李晓, 赵梦. (2022). 汉语发展性阅读障碍与工作记忆关系的元分析. *中国健康心理学杂志*, 30(3), 406-412.
- 王久菊, 孟祥芝, 李虹, 崔新, 洪恬, 杨斌让, …王玉凤. (2023). 汉语发展性阅读障碍诊断与干预的专家意见. *中国心理卫生杂志*, 37(3), 185-191.
- 闫嵘, 俞国良. (2006). 阅读困难儿童认知灵活性发展特点研究. *中国临床心理学杂志*, 14(1), 33-35.
- 张妍, 刘爱书, 张修竹, 于增艳. (2011). 不同亚型学习障碍儿童的执行功能特点. *中国临床心理学杂志*, 19(6), 769-772.
- 左彭湘, 李增春, 吴汉荣. (2010). 汉语儿童发展性阅读障碍特征研究. *现代预防医学*, 37(16), 3044-3046.

Structural Differentiation of Executive Function in Children with Reading Difficulties Lags behind that of Typically Developing Children

HAN Yan¹ GUO Xiaolin² YANG Wenjing³ ZHANG Heng¹ WANG Tengfei⁴

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

2. Collaborative Innovation Center of Assessment toward Basic Education Quality,

Beijing Normal University, Beijing 100875; 3. Key Laboratory of Cognition and Personality of Ministry of Education, Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715;

4. Department of Psychology and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058)

Abstract: Although there have been studies indicating that children with reading difficulties perform worse on executive function tasks than typically developing children, it remains unclear whether there is a distinction in the structure of executive function between the two groups of children. The present study, for the first time, explored the structure of executive function in children with reading difficulties. To this end, children with reading difficulties in grades 3 ~ 6 ($n = 117$) and typically developing children ($n = 117$) were asked to complete seven experimental tasks tapping working memory updating, inhibition and shifting. First, the analysis of variance was conducted to test the differences in the performance on executive function tasks between children with reading difficulties and typically developing children. Second, confirmatory factor analysis was conducted to verify five competing models among children with reading difficulties and typically developing children, respectively. The results showed that children with reading difficulties performed significantly worse than their typically developing counterparts on working memory updating, inhibition and shifting tasks. More importantly, the working memory updating, inhibition and shifting components were characterized as an undistinguished single-factor structure in children with reading difficulties. However, in the control group, working memory updating had differentiated into an independent component, while inhibition and shifting remained undissociated. In summary, the executive function deficits of children with reading difficulties are reflected not only at the task-performance level, but also at the structural level. Specifically, the structural differentiation of executive function in children with reading difficulties lags behind that of typically developing children.

Key words: children with reading difficulty; structure of executive function; working memory updating; inhibition; shifting