

小脑异常与发展性阅读障碍的关系研究

宋丽敏, 毛荣建*

北京联合大学, 特殊教育学院, 北京

收稿日期: 2023年6月28日; 录用日期: 2023年7月31日; 发布日期: 2023年8月14日

摘要

发展性阅读障碍是一种神经发育障碍, 患有该障碍的儿童拥有正常的智力水平, 也不乏公正的教育机会, 但在阅读上表现出困难。具体表现为识字困难、字词解码和听写能力差等。研究表明, 患有发展性阅读障碍的儿童可能存在认知、工作记忆加工、语言上的缺陷。发展性阅读障碍还与注意力、眼球运动和运动技能受损等缺陷有关。对于发展性阅读障碍的脑神经机制, 多数研究显示发展性阅读障碍者的大脑区域存在异常。而近些年的研究表明, 发展性阅读障碍也与小脑结构或功能的异常有关。本文回顾了关于小脑缺陷理论的研究, 综述了小脑异常对于发展性阅读障碍的影响研究, 最后对研究现状进行了总结与展望。本文对于研究小脑异常与发展性阅读障碍的关系, 增强对小脑参与阅读作用的理解, 提高对发展性阅读障碍的预测水平, 有一定的意义。

关键词

神经发育障碍, 小脑异常, 发展性阅读障碍, 脑神经机制

A Study of the Relationship between Aberrant Cerebellum and Developmental Dyslexia

Limin Song, Rongjian Mao*

Special Education College, Beijing Union University, Beijing

Received: Jun. 28th, 2023; accepted: Jul. 31st, 2023; published: Aug. 14th, 2023

Abstract

Developmental dyslexia is a kind of neurodevelopmental disorder. Children with developmental

*通讯作者。

文章引用: 宋丽敏, 毛荣建(2023). 小脑异常与发展性阅读障碍的关系研究. *心理学进展*, 13(8), 3209-3216.

DOI: 10.12677/ap.2023.138401

dyslexia show a normal level of intelligence and have fair educational opportunities, but have difficulty in reading. The main symptoms are having difficulty in literacy, poor word decoding and dictation skills, etc. Studies have shown that children with dyslexia may have cognitive deficits, working memory processing deficits, and language deficits. It is also associated with deficits such as impaired attention, eye movements, and motor skills. For the cerebral neural mechanisms of dyslexia, most studies have shown abnormalities in brain regions in people with dyslexia. Recent studies have shown that dyslexia is also associated with aberrant cerebellum structure or function. This paper reviews the research on the theory of cerebellar defects, the impact of aberrant cerebellum on developmental dyslexia, and finally summarizes and prospects the research status. It is of certain significance to study the relationship between aberrant cerebellum and developmental dyslexia, to improve the level of prognosis of developmental dyslexia, and to enhance the understanding of the role of cerebellum in reading.

Keywords

Neurodevelopmental Disorders, Aberrant Cerebellum, Developmental Dyslexia, The Cerebral Neural Mechanisms

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

发展性阅读障碍儿童在学校中成绩往往不佳, 对其自信心不利, 也容易被老师忽视。如果发展性阅读障碍儿童的阅读能力无法得到提升, 会引发许多情绪问题如焦虑、抑郁等, 进而影响其个人发展。因此应当对其进行针对性的干预, 如在语言学层面, 语音训练、快速命名、阅读流畅性训练等, 都能在一定程度上提高发展性阅读障碍儿童的阅读能力(王久菊等, 2023)。在认知神经机制的层面, 以往关于发展性阅读障碍的脑神经机制研究, 更多聚焦于大脑, 如在大脑结构层面, 一些研究得出了关于发展性阅读障碍与大脑的关系的结论(上官厅, 于晶, 2022)。如 Brown 等(2001)的研究表明, 与普通读者相比, 发展性阅读障碍者的丘脑体积、脑灰质密度等更小。与此同时, 一些研究也表明, 大脑异常并不是发展性阅读障碍特有的神经基础, 小脑异常也发生在发展性阅读障碍者身上(李何慧等, 2017)。如 Eckert 和 Leonard (2003)扫描了发展性阅读障碍者的脑后颞叶、额下回、小脑和全脑的数据, 发现发展性阅读障碍患者的小脑右前叶、双侧三角部和脑容量明显缩小。彭聃龄和杨静(2004)的研究发现, 发展性阅读障碍儿童也存在小脑功能异常的情况。

发展性阅读障碍是一种可遗传的神经发育障碍, 其神经差异遍及包括小脑在内广泛的脑区域网络。在西方, 主流理论认为, 语音意识缺陷是导致发展性阅读障碍的最主要原因(毛荣建, 刘翔平, 2009)。然而, 除表现出语音缺陷、读写困难等症状之外, 一部分发展性阅读障碍儿童还表现出运动协调和平衡问题等。Nicolson 和 Fawcett (2005)提出, 小脑功能的异常可以解释这些症状。Nicolson 等人就小脑与发展性阅读障碍的关系, 提出了小脑缺陷理论, 认为小脑功能障碍可能导致发展性阅读障碍(Nicolson et al., 2001)。发展性阅读障碍者小脑功能障碍的支持证据来自行为、临床和神经影像学等方面, 详细说明了小脑结构和功能差异的存在(彭聃龄, 杨静, 2004)。小脑是影响阅读的众多区域之一, 但其与发展性阅读障碍的具体关系还不清楚(李何慧等, 2017), 因此有必要深入探讨二者的关系。

2. 概念界定

2.1. 发展性阅读障碍

疾病和有关健康问题的国际统计分类第 11 次修订本(ICD-11)中阅读障碍的定义如下: 阅读障碍是一种特定的学习障碍, 患者在智力正常并获得同等教育机会的情况下, 表现出单词识别准确性低、不流畅以及拼写能力低下, 阅读水平显著低于同龄儿童水平。美国精神障碍诊断与统计手册第 5 版(DSM-5)把阅读障碍归入了特定学习障碍, 其特征是精确或流利地认读单词有困难、不良的解码和拼写能力。这些权威的定义暗示了发展性阅读障碍是一种单纯影响读写能力的障碍, 并无提到其他影响, 但是发展性阅读障碍的发生常伴随着运动、语言和感知功能的损伤(Bishop, 2002)。发展性阅读障碍是一种复杂的发育性障碍, 不仅导致患者出现阅读困难, 还体现出其他方面的问题, 如感知觉、运动或情绪方面(王久菊等, 2023)。

很多学者对发展性阅读障碍儿童的认知缺陷做了研究与干预。在认知语言学层次, 主要从语音意识、语素意识、正字法、快速命名等方面开展研究与干预, 这几个方面的结果可以预测儿童的阅读能力和水平(王艳, 朱楠, 2016)。西方学者研究表明, 语音意识缺陷是拼音文字阅读障碍的核心缺陷。而汉字是表义文字, 致使汉语发展性阅读障碍的核心缺陷是否也是语音意识缺陷还不确定(毛荣建, 刘翔平, 2009)。赵微(2004)采用了语音分割任务对被试进行测试, 结果证明语音意识障碍是汉语发展性阅读障碍的特征之一。从非语言学层次的认知缺陷来看, 研究主要聚焦在视觉加工缺陷、听觉加工缺陷、注意缺陷和记忆缺陷等方面(刘佃振等, 2022)。

随着研究领域的不断扩展, 许多研究者开始对发展性阅读障碍儿童的脑神经机制进行研究, 认为儿童脑神经机制的缺陷如大脑结构和功能异常、巨细胞缺陷、小脑缺陷等都与发展性阅读障碍有着紧密的关系。如小脑神经机制的缺陷, 将影响儿童自动化能力、运动水平等, 进而可能导致儿童的阅读能力不佳(王艳, 朱楠, 2016), 一些学者开始研究小脑神经机制的异常与发展性阅读障碍之间的关系。

2.2. 小脑缺陷理论

Stoodley 和 Stein (2011)研究了阅读时小脑的作用, 小脑参与协调运动、保持姿势平衡、视觉引导运动等。参与阅读任务的小脑激活涉及运动和非运动的区域, 具体取决于任务需求。词汇加工、亚词汇加工和语义加工均激活小脑, 但在右后外侧小脑的激活程度(类似于在语言任务中激活的小脑区域)达到最大(Alvarez & Fiez, 2018)。小脑可以被认为是整个阅读网络的重要组成部分(Stoodley & Stein, 2011)。

近年来, 学者们的一些研究发现, 发展性阅读障碍儿童具有明显的运动功能障碍, 比如平衡能力差和自动化水平低等。关于平衡能力差和自动化水平不高, 原因均可能指向小脑(彭聃龄, 杨静, 2004)。Nicolson 等人(2001)提出的小脑缺陷假说, 认为小脑异常与发展性阅读障碍之间存在联系, 小脑结构或功能的缺陷可能是发展性阅读障碍的原因。小脑的激活模式与阅读流畅性表现存在相关关系, 小脑可以通过运动相关能力(例如运动、发音、自动化处理等)影响阅读(孟红霞, 2021)。而后, 在小脑缺陷理论基础上, Nicolson 等人又提出了小脑缺陷模型, 认为小脑的异常会影响发音, 进而影响阅读(Nicolson et al., 2001)。

发展性阅读障碍者在运动尤其是与小脑相关的如平衡运动方面, 较普通儿童有明显的差别, 其认为运动是儿童阅读和语音意识发展的先决条件, 小脑异常是发展性阅读障碍的原因(郑毅, 2007)。但这一观点一经提出, 就备受争议, 因为这种单一视角不能解释现有的研究发现(彭聃龄, 杨静, 2004)。

3. 小脑异常与发展性阅读障碍的关系

发展性阅读障碍是一种神经发育障碍, 对于此类儿童的诊断多开始于小学二年级, 即在儿童有一定的阅读能力之后, 而此时可能已经错过了最佳的干预时机(Ozernov-Palchik & Gaab, 2016)。这将导致儿童在学业上表现不佳, 影响其情绪、行为以及心理健康, 在家庭和社会层面, 也带来一定的经济负担。探讨发展性阅读障碍儿童的脑神经机制, 有利于发展性阅读障碍儿童的早期鉴别、预测与干预(李秀红, 2023)。

以往对于发展性阅读障碍脑神经机制的研究多集中于大脑区域, 而近年来的许多研究证实了小脑异常与发展性阅读障碍也有关系(Ashburn et al., 2020)。多项研究表明, 小脑异常与发展性阅读障碍有直接联系(李何慧等, 2017)。如在小脑关于平衡能力、快速命名以及非词重复的测验中, 发展性阅读障碍儿童的表现明显落后于普通儿童。来自脑成像的研究表明, 与普通读者相比, 发展性阅读障碍者的小脑体积、小脑灰质密度要小一些(Brown et al., 2001)。已有的研究证明了小脑与阅读相关, 但少有研究深入探讨小脑异常与发展性阅读障碍的具体关系。明晰二者的关系, 将有利于学龄前儿童发展性阅读障碍的早期筛查和干预, 避免或减少发展性阅读障碍带给儿童的负面影响。

3.1. 小脑异常可能导致发展性阅读障碍

小脑缺陷理论认为小脑的功能或结构异常是发展性阅读障碍的直接原因。小脑通过影响与运动有关的技能进而影响儿童的阅读。Nicolson 等人(2001)认为语音缺陷源于小脑功能异常对发音系统的影响, 动作不协调是由于小脑对运动功能的调节不足, 阅读中的视觉顺序问题可能是小脑不能很好地控制眼球运动和视觉注意而导致的。

与大脑神经一样, 小脑神经也具有可塑性, 采取措施改善小脑的功能, 提高自动化水平, 可以提高发展性阅读障碍者的阅读能力(Reynolds et al., 2003)。“DDAT”(dyslexia, dyspraxia and attention-deficit treatment)疗法也叫“导儿方案”, 是一种非药物的运动治疗方法。训练运动包括使用平衡板、投掷和接沙包、双重任务实践以及一系列伸展和协调练习等(张军等, 2014)。运动强度逐渐增进, 在患者特定的小脑区域, 给予感觉刺激, 进而提升患者的阅读能力。Reynolds 等人(2003)研究了采取“DDAT”疗法的发展性阅读障碍组和对照组的小脑功能和阅读能力情况, 发现采取“DDAT”疗法的发展性阅读障碍者的小脑功能有所改善, 阅读能力也得到了提高。

Moberget 等人(2014)研究了小脑参与阅读的机制, 认为小脑可以形成运动和心理过程的内部模型, 并成功预测儿童是否患有发展性阅读障碍。该研究发现, 小脑在阅读中的作用可能更广泛地与其在内部模型的习得和使用中的作用相关, 这在儿童未来学习读写和阅读的表现中很重要。该研究证明了小脑功能对阅读发展的预测作用, 以及小脑功能异常可能导致阅读能力受损的潜在可能。小脑缺陷假说可以预测参与阅读的小脑和皮质区域之间的功能连接, 特别是在左额下回(Ashburn et al., 2020)。Ait Khelifa-Gallois 等人(2015)研究了儿童良性毛细胞星形细胞瘤切除术后的默读情况, 并将其与年龄匹配组儿童进行了比较。患者组在所有阅读测试中表现较差, 但在默读方面表现尤为糟糕, 患者组中超过 40% 的儿童无法默读任何单词, 而是依靠低语来解码文本。该研究者认为, 小脑参与了阅读的自动化, 而自动化水平与发展性阅读障碍相关的流利性缺陷相关。

关于发展性阅读障碍儿童的研究, 多开始于小学低年级, 因而可能错过最佳的干预机会。为了解决此问题, 有研究者将研究对象定为学龄前儿童, 研究学龄前儿童的脑神经机制, 选取有发展性阅读障碍家庭史和无相关家庭史的儿童, 通过对比其脑成像, 探寻小脑异常是否为发展性阅读障碍发生的原因。Raschle 等人(2012)通过观察这两类学龄前儿童的脑神经成像, 比较了这两类学龄前儿童在语音处理过程

中的脑区激活情况,发现两组的左枕颞和颞顶脑活动与阅读前技能呈正相关,有发展性阅读障碍家庭史的儿童脑区激活情况弱于普通儿童。其研究表明,发展性阅读障碍儿童语音处理的神经相关性差异不是阅读失败的结果,而是在识字开始之前就存在,因此小脑异常导致了发展性阅读障碍的发生。李何慧等人(2017)认为,如果学龄前儿童出现小脑机制的异常,则说明小脑异常会导致发展性阅读障碍。

D'Mello 等人(2020)使用功能磁共振成像(fMRI)研究了句子阅读过程中小脑对快速语义处理的影响。发现语义、语境会影响小脑的激活,从而改变阅读速度,小脑激活区域更多的人,在快速自动命名中得分也更高,说明小脑会影响阅读。Li 等人(2021)研究发现,右小脑半球特别是小叶 VI 区和 VII 区,在阅读中起着重要作用,并且这些区域也参与了阅读习得的早期阶段。

多项来自临床研究的结果表明,小脑功能异常或损伤可能会以多种方式影响阅读,从基本的眼球运动控制到语音发音问题,再到更高层次的认知和语言问题,这些障碍会对阅读技能产生连锁反应(Stoodley, 2016)。考虑到小脑的功能区域和普通读者在阅读任务中的激活模式,小脑异常或损伤的位置也可能是解释这些发现的重要考虑因素,了解小脑内部结构和功能异常的区域,以及这些区域与运动和认知的联系,对于我们理解小脑异常如何导致发展性阅读障碍至关重要。

3.2. 发展性阅读障碍可能导致小脑异常

Nicolson 等人的小脑缺陷假说受到诸多研究者的质疑,其中 Zeffiro 和 Eden (2001)认为小脑在运动学习中起重要作用,小脑异常的直接结果应该是患者身体不协调或者运动技能较差,但是更多研究表明发展性阅读障碍者的核心缺陷是语音意识缺陷,因此不能判断小脑异常是发展性阅读障碍发生的原因,小脑异常更可能是发展性阅读障碍发生的结果。

有研究对以上推论提供了一定的支持。Reynolds 和 Nicolson (2007)对于 Reynolds 等人(2003)年的研究进行了追踪,对该研究中一年后仍留在该学校的儿童进行了随访研究,在阅读障碍组进行“DDAT”疗法的 6 个月后,对照组儿童也进行“DDAT”疗法。在两组儿童治疗完成的 12 个月后,他们再次对所有儿童进行发展性阅读障碍筛查测试(The Dyslexia Screening Test, DST)。研究结论并不支持“DDAT”疗法的中心前提——即小脑异常得到改善后,阅读能力也相应得到提升。因为发展性阅读障碍儿童阅读能力的唯一提升是在首次接受 6 个月的“DDAT”疗法期间,治疗完成 12 个月后的测试结果与治疗前相比,单词阅读、拼写和无意义段落阅读等测试结果基本保持不变。

从发育的角度来看,小脑结构的差异何时出现还不清楚,Raschle 等人(2011)发现有患阅读障碍风险的学龄前儿童并没有表现出小脑的差异,因此小脑异常是阅读不佳的结果,而不是原因,可能是参与补偿的区域网络的一部分。Clark 等人(2014)对发展性阅读障碍儿童和对照组在学龄前、三年级及六年级三个时间段进行脑成像对比。结果发现,六年级时两组儿童的脑成像有较大差异,而在一年级时,两组无较大差异,说明可能是发展性阅读障碍导致了脑区的异常。Feng 等人(2017)研究发现在正字法和语音任务的测验中,与普通儿童相比,发展性阅读障碍儿童的双侧小脑 VI 区会显示出更高的激活程度。Greeley 等人(2020)研究发现,与普通读者相比,发展性阅读障碍者小脑区域活动与大脑的连接强度要更高。Ashburn 等人(2020)研究发现发展性阅读障碍者右侧小脑 Crus I 区较为活跃,与普通读者相比,该区域和阅读网络的功能连接强度更高。Ligges & Lehmann (2022)对德国发展性阅读障碍儿童的多个案例进行研究,并采用综合行为测试评估小脑表现,发现发展性阅读障碍儿童在语音和听觉处理方面表现最差,并伴有小脑性能的个体处理缺陷。

小脑异常与发展性阅读障碍的相关性已经得到了诸多研究的证实,通过对有阅读障碍家庭史的学龄前儿童的研究发现,小脑功能异常是阅读障碍的结果。在进行阅读相关的任务时,与普通儿童相比,发展性阅读障碍儿童小脑区域呈现出更高的激活程度,这种差异可能是对发展性阅读障碍的补偿。

4. 研究现状总结与展望

4.1. 研究现状分析

近些年来,有关小脑与发展性阅读障碍的研究越来越多,但关于二者的关系并未得出一致的结论。专门针对改善小脑运动功能的补救方案,如“DDAT”疗法并没有提供有力的证据证明发展性阅读障碍儿童在治疗中受益,其特异性和有效性存在争议。小脑缺陷理论认为小脑功能的异常导致了发展性阅读障碍的发生,且小脑通过自动化水平和发音等对阅读产生影响。但之后的其他研究者对此理论表示了怀疑,如Feng在研究语音任务时,发现发展性阅读障碍者的小脑激活程度较高(Feng et al., 2017),小脑通过与负责持续阅读任务的特定大脑区域的连接来补偿发展性阅读障碍。这种异常现象可能是阅读能力差引发的补偿,也就是说发展性阅读障碍会导致小脑异常。

不同的研究对小脑异常与发展性阅读障碍的关系做了探讨,可能是由于研究者选取的研究对象和研究方法不同,导致结论不一。而且脑是动态变化的,儿童在学龄前的小脑结构或功能异常可能会影响阅读水平,而学龄儿童在阅读上的困难也可能会不断调节小脑的神经活动。已有的研究充分证实了小脑在阅读中的重要作用,小脑异常与发展性阅读障碍是直接相关的,而二者的具体关系可能会呈现出多样性。小脑异常既可能是发展性阅读障碍发生的原因,也可能是发展性阅读障碍的结果,还需要更多的相关研究来支持有关二者关系的结论。

4.2. 未来研究趋势

小脑可能参与阅读的各个方面,包括眼球运动、语言和空间处理、工作记忆、技能习得和自动化等。通过了解小脑的各区域功能以及对信息的实际作用,对于研究发展性阅读障碍者的表现及问题至关重要。如果右小脑后外侧发生异常现象,可能无法预测运动缺陷,因为该区域在语言任务中被激活,而不是运动任务(Stoodley & Schmahmann, 2009)。Gatti等人(2020)研究表明右小脑专门参与语义相关刺激的处理,小脑参与语义记忆和预测认知,因此可以预测儿童的认知能力,这也为小脑参与非运动过程提供了证据。未来随着小脑功能区域的进一步明确,小脑在发展性阅读障碍中的参与及作用也会更加明晰。

小脑是参与发展性阅读障碍的分布式神经网络的一部分,小脑对发展性阅读障碍的具体作用并未完全确定,但小脑结构和功能的异常在发展性阅读障碍中的影响是明显的。通过研究两者的关系,可以提高对发展性阅读障碍的预测水平,也能够对普通儿童在语言和读写能力方面有更深入的了解。提高了人们对阅读障碍患者的行为差异类型的预测——这种差异可能并不总是与明显的运动有关,而是小脑支持的非运动功能的更细微的差异,包括语言、工作记忆和执行功能等。小脑是程序学习系统的一部分,而发展性阅读障碍者具有获得复杂技能的缺陷。未来的研究可以集中在小脑程序性学习机制的潜力上,以支持读写技能的习得和补救。研究发现小脑脑区在进行阅读和阅读相关任务时,有明显的激活,且小脑阅读相关区域与具有相同功能特异性的大脑区域选择性连接。但目前尚不清楚小脑如何促进阅读,以及大脑与小脑中阅读相关区域的关系。未来可以探讨大脑与小脑中关于阅读位置的关系,以及二者之间的功能联结。

参考文献

- 李何慧,陶伍海,彭聃龄,丁国盛(2017). 发展性阅读障碍与脑异常的因果关系:研究范式及发现. *心理发展与教育*, 33(5), 631-640.
- 李秀红(2023). 重视汉语发育性阅读障碍的早期识别. *中国儿童保健杂志*, 31(6), 586-589+600.
- 刘佃振,马冬梅,宿淑华(2022). 国外近十年学习障碍研究热点述评——基于 VOSviewer 的可视化分析. *教育观察*, 11(15), 18-21+34.

- 毛荣建, 刘翔平(2009). 汉语发展性阅读障碍儿童语音意识研究综述. *中国特殊教育*, (11), 48-55+60.
- 孟红霞(2021). 发展性阅读障碍的小脑缺陷理论. *佳木斯职业学院学报*, 37(10), 49-50.
- 彭聘龄, 杨静(2004). 小脑与发展性阅读障碍. *心理与行为研究*, (1), 368-372.
- 上官厅, 于晶(2022). 体育运动干预阅读障碍的研究现状. *当代体育科技*, 12(25), 157-160.
- 王久菊, 等(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.
- 王艳, 朱楠(2016). 发展性阅读障碍研究综述. *现代特殊教育*, (24), 10-17.
- 张军, 等(2014). 小脑运动训练对注意缺陷多动障碍患儿疗效的研究. *中华儿科杂志*, 52(4), 287-291.
- 赵微(2004). *汉语阅读困难学生语音意识与视觉空间认知的实验研究*. 博士学位论文, 上海: 华东师范大学.
- 郑毅(2007). 发展性阅读障碍理论及研究范式简介. *中国特殊教育*, (9), 55.
- Ait Khelifa-Gallois, N., Puget, S., Longaud, A., Laroussinie, F., Soria, C., Sainte-Rose, C., & Dellatolas, G. (2015). Clinical Evidence of the Role of the Cerebellum in the Suppression of Overt Articulatory Movements during Reading. A Study of Reading in Children and Adolescents Treated for Cerebellar Pilocytic Astrocytoma. *The Cerebellum*, 14, 97-105. <https://doi.org/10.1007/s12311-014-0612-1>
- Alvarez, T. A., & Fiez, J. A. (2018). Current Perspectives on the Cerebellum and Reading Development. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 92, 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.05.006>
- Ashburn, S. M., Flowers, D. L., Napoliello, E. M., & Eden, G. F. (2020). Cerebellar Function in Children with and without Dyslexia during Single Word Processing. *Human Brain Mapping*, 41, 120-138. <https://doi.org/10.1002/hbm.24792>
- Bishop, D. V. M. (2002). Cerebellar Abnormalities in Developmental Dyslexia: Cause, Correlate or Consequence? *Cortex*, 38, 491-498. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70018-2](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70018-2)
- Brown, W. E., Eliez, S., Menon, V. et al. (2001). Preliminary Evidence of Widespread Morphological Variations of the Brain in Dyslexia. *Neurology*, 56, 781-783. <https://doi.org/10.1212/WNL.56.6.781>
- Clark, K. A., Helland, T., Specht, K., Narr, K. L., Manis, F. R. et al. (2014). Neuroanatomical Precursors of Dyslexia Identified from Pre-Reading through to Age 11. *Brain*, 137, 3136-3141. <https://doi.org/10.1093/brain/awu229>
- D'Mello, A. M., Centanni, T. M., Gabrieli, J. D., & Christodoulou, J. A. (2020). Cerebellar Contributions to Rapid Semantic Processing in Reading. *Brain and Language*, 208, Article ID: 104828. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2020.104828>
- Eckert, M. A., & Leonard, C. M. (2003). Anatomical Correlates of Dyslexia: Frontal and Cerebellar Findings. *Brain*, 126, 482-494. <https://doi.org/10.1093/brain/awg026>
- Feng, X. et al. (2017). Dyslexic Children Show a Typical Cerebellar Activation and Cerebro-Cerebellar Functional Connectivity in Orthographic and Phonological Processing. *Cerebellum*, 16, 496-507. <https://doi.org/10.1007/s12311-016-0829-2>
- Gatti, D., van Vugt, F., & Vecchi, T. (2020). A Causal Role for the Cerebellum in Semantic Integration: A Transcranial Magnetic Stimulation Study. *Scientific Reports*, 10, Article No. 18139. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75287-z>
- Greeley, B., Weber, R. C., Denyer, R., Ferris, J. K., Rubino, C., White, K., & Boyd, L. A. (2020). Aberrant Cerebellar Resting-State Functional Connectivity Related to Reading Performance in Struggling Readers. *Developmental Science*, 24, e13022. <https://doi.org/10.1111/desc.13022>
- Li, H., Kepinska, O., Caballero, J. N., Zekelman, L., Marks, R. A., Uchikoshi, Y., & Hoeft, F. (2021). Decoding the Role of the Cerebellum in the Early Stages of Reading Acquisition. *Cortex*, 141, 262-279. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.02.033>
- Ligges, C., & Lehmann, T. (2022). Multiple Case Studies in German Children with Dyslexia: Characterization of Phonological, Auditory, Visual, and Cerebellar Processing on the Group and Individual Levels. *Brain Sciences*, 12, 1292. <https://doi.org/10.3390/brainsci12101292>
- Moberget, T., Gullsen, E. H., Andersson, S., Ivry, R. B., & Endestad, T. (2014). Generalized Role for the Cerebellum in Encoding Internal Models: Evidence from Semantic Processing. *Journal of Neuroscience*, 34, 2871-2878. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2264-13.2014>
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (2005). Developmental Dyslexia, Learning and the Cerebellum. *Journal of Neural Transmission Supplement*, No. 69, 19-36. https://doi.org/10.1007/s-211-31222-6_2
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Dyslexia, Development and the Cerebellum. *Trends in Neurosciences*, 24, 515-516. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(00\)01923-8](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(00)01923-8)
- Ozernov-Palchik, O., & Gaab, N. (2016). Tackling the "Dyslexia Paradox": Reading Brain and Behavior for Early Markers of Developmental Dyslexia. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 7, 156-176. <https://doi.org/10.1002/wcs.1383>
- Raschle, N. M., Chang, M., & Gaab, N. (2011). Structural Brain Alterations Associated with Dyslexia Predate Reading On-

- set. *Neuroimage*, 57, 742-749. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.09.055>
- Raschle, N. M., Zuk, J., & Gaab, N. (2012). Functional Characteristics of Developmental Dyslexia in Left-Hemispheric Posterior Brain Regions Predate Reading Onset. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 2156-2161. <https://doi.org/10.1073/pnas.1107721109>
- Reynolds, D., & Nicolson, R. I. (2007). Follow-Up of an Exercise-Based Treatment for Children with Reading Difficulties. *Dyslexia*, 13, 78-96. <https://doi.org/10.1002/dys.331>
- Reynolds, D., Nicolson, R. I., & Hambly, H. (2003). Evaluation of an Exercise-Based Treatment for Children with Reading Difficulties. *Dyslexia: An International Journal of Research and Practice*, 9, 48-71. <https://doi.org/10.1002/dys.235>
- Stoodley, C. J. (2016). Chapter 9. The Role of the Cerebellum in Developmental Dyslexia. In P. Mariën, & M. Manto (Eds.), *The Linguistic Cerebellum* (pp. 199-221). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801608-4.00009-8>
- Stoodley, C. J., & Schmahmann, J. D. (2009). Functional Topography in the Human Cerebellum: A Meta-Analysis of Neuroimaging Studies. *NeuroImage*, 44, 489-501. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.08.039>
- Stoodley, C. J., & Stein, J. F. (2011). The Cerebellum and Dyslexia. *Cortex*, 47, 101-116. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.10.005>
- Zeffiro, T., & Eden, G. (2001). The Cerebellum and Dyslexia: Perpetrator or Innocent Bystander? *Trends in Neurosciences*, 24, 512-513. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(00\)01898-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(00)01898-1)