

《心理科学进展》审稿意见与作者回应

题目：发展性阅读障碍儿童潜在的早期识别标志——节奏异常及其特点

作者：李运端 马小凤 胡钰

第一轮

审稿人 1 意见：

文章综述了阅读障碍的节奏异常研究进展，并阐述了其作为早期识别标志的可能性，文章结构基本完整，逻辑较为清晰。有几点修改意见：

意见 1：参考文献大部分为拼音文字阅读障碍的结果，以 Goswami 团队的研究居多。建议增加汉语阅读障碍的相关研究。如果较少，建议在展望中增加在汉语阅读障碍早期识别中的可能性。

回应：非常感谢专家对本研究价值的肯定和恳切建议。我们已重新查阅文献，补充了涉及大陆、香港粤语及台湾汉语阅读障碍儿童的节奏异常相关研究。其中。我们遵照您的建议，并结合新引用的文献研究成果，对原稿进行了补充修订，使得相关部分论点的实证依据更为充足，来自不同语言背景的研究使得文章整体更丰富、更具价值。例如，原稿对“2.1.3 预测时间间隔更长”的神经活动的论述，补充了有关汉语 DD 儿童的研究结果，呼应了外语相关研究，充分说明了这一神经活动特点在 DD 儿童中表现出的跨语言一致性。我们也对文中类似的问题进行了补充修正，部分研究成果与外语相关结果相同，且无详细陈述必要的内容，仅在文章对应之处增加了引文信息，相关文献信息也已在参考文献中标红。具体修改如下：

“2.1.3 预测时间间隔更长”部分：

Meng 等人(2005)以中国内地的汉语 DD 儿童为被试，使用被动 oddball 范式，发现 DD 儿童对新异时间间隔刺激诱发的失匹配负波 (Mismatch negativity, MMN)的平均波幅小于正常儿童(Meng et al., 2005)。失匹配负波是早期感知能力的有效指标，可精确测量大脑感知听觉信息的灵敏度(Näätänen, 1990)。

“2.1.4 上升时间感知困难 发展速度缓慢”部分：

研究发现，儿童的上升时间感知与其音节意识(Law et al., 2017)、声调意识(Tong et al., 2018; Wang et al., 2022)和词汇水平发展(Kalashnikova et al., 2019)显著相关。

“2.2.3 听觉-运动耦合差”部分：

研究发现，双侧小脑 I 区到 V 区可能与感知运动相关(Stoodley & Schmahmann, 2009; Stoodley et al., 2012)，这个区域的异常活动可能与 DD 儿童节奏异常互为因果(李何慧 et al., 2022)。

在对前人有关大脑与小脑功能分区与链接相关研究的深入分析后，李何慧等人（2022）提出“功能映射假说”，认为小脑映射了大脑功能，小脑内可以定位与大脑阅读区相似的功能区域，实现协同合作，帮助完成阅读活动(李何慧 et al., 2022)。

“4.1 深入探究音乐节奏在 DD 儿童识别和干预中的价值”部分：

但目前国内汉语 DD 儿童的干预较少使用音乐干预策略(邓鹏 & 申仁洪, 2022)。

意见 2：文章中术语较多，读起来比较困难。如，“2.1.1 中，DD 儿童对强(S)和弱(W)音节节奏交替的敏感性更差”，建议增加句子，稍加解释。

回应：非常感谢审稿专家对本研究相关术语解释不足，造成阅读困难的问题给出的诚挚建议。本综述中涉及较多专业术语，一定程度上影响了文章阅读性。我们采纳了审稿专家的宝贵建议，重新对本文进行了行文润色，并添加了相关术语的解释，使得我们有机会提升文章阅读性。正如审稿专家所列举的内容，我们在原稿论述中只对“节奏交替敏感性”做了简单论述，并且可能由于行文措辞问题，导致理解时产生歧义。在本次修改中，我们将 Holliman 等人（2010）的研究中有关 DD 儿童对重音(Stress)和轻音(Weak)音节交替的敏感性更差的特点，所涉及的内容做了更详细的阐述，使得关于“DD 儿童对强弱节奏交替的敏感性更差”的相关论述更具体、更具针对性。我们对原文中类似的问题进行了细致的修改，并重新进行了详尽论述，具体内容如下。例如：

有关“2.1.1 DD 儿童对强(S)和弱(W)音节节奏交替的敏感性更差”中的部分：

Holliman 等人(2010b)使用修订后的重音误读任务(Revised stress mispronunciations task)来研究儿童是否能从发音错误的单词中恢复正确的重音分配。任务中，儿童需要在听到重音被误读的目标词（如，‘singer’(‘s ɪ ŋ ə) 读作 ‘sn’ger’(s ə ŋ ‘ɜ:)) 后，尝试恢复正确的重音位置，然后从四张图片中找出重音位置正确的目标词。研究结果发现，与年龄匹配（约 12 岁）的 TD 儿童相比，DD 儿童对重音(Stress)和轻音(Weak)音节节奏交替的敏感性更差，表现为正确恢复重音并找到目标词的正确率显著更低。

有关预测时间间隔部分：

预测时间(Predictive timing)常被用来衡量听者感知声音信号变化本身所传达的细微差别的能力(Arvaniti, 2009)，可根据已有信息对即将发生的事件建立时间预期(Piras & Coull,

2011), 帮助听众在声音信号规律性并不完美时提取节奏模式。

有关神经振荡相位锁定与语音加工关系部分:

DD 儿童节奏处理异常可能与大脑低频神经振荡和低频带声音信号同步不一致有关。大脑神经元以不同的速率从语音流中获取信息的时间“样本”,使不同频段的神经振荡与语音信息的相似声波频率不断进行同步和相位锁定(Phase locking),即大脑神经活动和调幅(Amplitude modulation, AM)驱动的语音节奏模式的自动对齐(王润洲 & 毕鸿燕, 2021)。正常情况下,声音频带最优相位通常会与神经振荡的峰值同时出现,以便获得最多语音信号,但如果最优相位出现在携带语音信号较少的时间点(即相位同步不一致)时,语音感知将会受损(Goswami, 2019a)。

意见 3:在“2.2 DD 儿童节奏异常的神经特点”中,“2.2.1 上升时间感知困难,发展速度慢”,是否属于神经层面?目前这部分内容单一,建议增加 ERP(如 MMN)和核磁相关的研究。

回应:非常感谢审稿专家细心提出的有关上升时间感知困难是否属于神经层面的疑问以及宝贵的建设性建议。原稿中,我们在论述上升时间感知困难相关内容时主要基于上升时间是声波达到最大振幅所需的时间,它与语音包络振幅与大脑神经元振荡密切相关,常见于相关的脑神经研究中,因此,我们将其归属为神经层面节奏异常特点。然而,经过审稿人的提醒,我们重新梳理和总结更多国内外的相关文献发现,上升时间与节奏重音定位密切相关,是节奏计时的重要声学线索,其本质是声波从波谷到波峰运动所需时长,而且与该线索对应的加工方式是上升时间感知(Goswami et al., 2010; Hämäläinen et al., 2012),是个体对语音信息的获取过程,其本质是一种行为反应。因此,我们觉得将其归纳到行为层面更为適切。以此为依据,修改了原文中的相关论述,并丰富了行为层面相关研究。此次修改使得本综述对 DD 儿童异常节奏的行为特点归纳更为完整,紧凑,逻辑也更为缜密,内容已在正文中做标红处理,具体内容见正文第 2 部分“2.1.4 上升时间感知困难,发展速度缓慢”。

意见 4:仔细通读全文,保证句子流畅,杜绝错别字(“婴儿和前阅读阶段儿童的神经成像研究发现”)。

回应:非常感谢专家的细致和严谨,并给出宝贵建议。我们对本文进行了多次重读,对文章中可能存在的错别字、语法和行文等方面问题进行了反复校对与修改,使得语句更流畅,行文更规范,提高了文章质量及可读性。

.....

审稿人 2 意见:

该文拟对 DD 的早期筛查进行分析和论述, 选题具有意义, 但是, 文章存在下列一些突出问题:

意见 1: 有些概念不明确, 比如“非典型语音意识”是什么意思? “非典型节奏”又是什么意思? 等。

回应: 非常感谢审稿专家对于本文选题意义的肯定, 我们参照您悉心提出的建设性意见和建议, 对原稿进行了详细修改。原文中, “非典型语音意识”和“非典型节奏”对应的英文表达是“*Atypical phonological awareness*”和“*Atypical rhythm*”。“*Atypical rhythm*”在英文中与“*Rhythm impairment*”、“*Rhythm disorder*”同义, 被解释为节奏/节拍/节拍敏感性缺陷, 明显弱于正常节奏能力/技能水平, 可表现出动态注意不良, 节拍性失聪(Sowinski & Dalla Bella, 2013), 或计时性失音症(Peretz & Vuvan, 2017)。因此, 为了更易于理解, 本文参考以上解释, 将“*Atypical rhythm*”的重新译为“节奏异常”。与此类似, “*Atypical phonological awareness*”译为“语音意识异常”, 并在文章对应的地方添加了相关解释内容, 使得本文在相关概念的阐述上更清晰更明确。此外, 我们对文章涉及的概念进行了逐一校对, 并适当添加注解, 修改内容已在正文做标红处理。具体内容如下:

引言中部分术语解释:

相关研究将节奏/节拍/节拍敏感性明显弱于正常同龄人的平均水平的现象称之为“*Atypical rhythm*” (Ladányi et al., 2020), 即节奏异常。

第 2 部分 “节奏异常与 DD 的早期识别” 部分术语:

节奏作为音乐和语言共享的声音加工机制, 具有规律性与突出性两大特点。规律性 (Regularity), 又称周期性 (Periodicity), 指一个模式的重复和每个重复所采取的间歇性的规律, 体现了节奏的计时性, 表现为时长、间隔和顺序; 突出性 (Prominence), 又称对比性 (Contrast), 主要通过前后刺激的对比显现, 帮助感知节奏重音, 如言语活动中的重轻音交替及音乐活动中的音高起伏(Arvaniti, 2009)。

节拍 (Beat) 是节奏的基本构成元素, 是判断重音与非重音交替规律的重要线索, 也与同步运动密切相关, 如跳舞或音乐合奏(Arvaniti, 2009)。

同步或再现能力反映了节奏运动与外部节奏的协调, 包括从手指与节拍器同步敲击到音

乐合奏表演，也被称为感知运动同步（Sensorimotor synchronization, SMS）。

预测时间（Predictive timing）常被用来衡量听者感知声音信号变化本身所传达的细微差别的能力(Arvaniti, 2009)，可根据已有信息对即将发生的事件建立时间预期(Piras & Coull, 2011)，帮助听众在声音信号规律性并不完美时提取节奏模式。

上升时间（Rise time）作为最重要的声学感知线索之一，与重音定位密切相关，是声音达到最大振幅所需时间，对应的行为是上升时间感知(Goswami et al., 2010; Hänäänen et al., 2012)。

第3部分 “2.2.1 振幅调制相位层次缺陷： δ 波段神经夹带异常”

神经振荡（Neural oscillatory）是神经元产生的有规律地反复出现的抑制性和兴奋性电活动模式(György Buzsáki, 2019)，与预测加工、时间注意和跟踪外部节奏刺激密切相关。这种神经元电活动模式与外部感官信息输入（如听觉信号）在规律性上保持一致，就是神经夹带（Neural entrainment），可以帮助听者获取和加工外部语音信息(Goswami & Leong, 2013)。

DD 儿童的节奏处理异常可能与大脑低频神经振荡和低频带声音信号同步不一致有关。大脑神经元以不同的速率从语音流中获取信息的时间“样本”，使不同频段的神经振荡与语音信息的相似声波频率不断进行同步和相位锁定(Phase locking)，即大脑神经活动和调幅（Amplitude modulation, AM）驱动的语音节奏模式的自动对齐(王润洲 & 毕鸿燕, 2021)。正常情况下，声音频带最优相位通常会与神经振荡的峰值同时出现，以便获得最多语音信号，但如果最优相位出现在携带语音信号较少的时间点（即相位同步不一致）时，语音感知将会受损(Goswami, 2019a)。

听觉-运动耦合（Sensorimotor coupling），指大脑听觉和运动皮层间的连接，是节奏感知和生成的基础机制之一。

意见 2: 既然节奏本质是时间感知问题，此篇综述却避开其本质不谈，而只谈一种表现形式，意义值得考虑。

回应: 非常感谢审稿专家对于本文“节奏”这一核心概念界定提出的质疑。我们对照您所提出的问题，在本次修改中对节奏的概念界定进行了详细论述，并解释了将节奏界定为一种心理现象的原因。基于您宝贵的建议，我们在本次修改中有机会进一步思考并修正不恰当的概念界定，并修改不准确表述。在相关文献中我们发现，目前主要有两种较为普遍的节奏定义：一种是强调时间规律性的周期性节奏，第二种是强调结构关系的对比性节奏(Contrastive rhythm)。前者是音乐节奏的主要模式(White L. et al, 2014)，强调等时性，后者强调强弱元素

对比引发的抽象节奏模式，其本质是一种感知经验，属于心理现象（于文勃 等人，2019）。最近的研究也更倾向于后者定义，认为这种定义更符合个人的节奏经验，因此，有关节奏的本质，学界认为应涵盖规律性（即时间性）和突出性。而语言节奏的周期性较弱，变化较多，但是语音节奏仍然可以通过提供单词边界的线索（如强弱音）来进行节奏预测（Fiveash, 2021），而超越了对时间规律性的依赖。所以，我们认为将节奏作为一种心理现象是更符合本综述中对语言节奏的定义和阐述。

正文中节奏的重新定义已做标红处理，具体内容如下：

节奏（Rhythm）作为普遍存在于不同文化中的音乐和语言的基本元素（Fiveash et al., 2021），是一种以突出模式和分组为基础的独特现象，具有突出性和规律性，是一种主观感知的心理现象，受个人经验影响（Arvaniti, 2009; Dauer, 1983; Nolan & Jeon, 2014）。

意见 3：在谈节奏异常的神经特点部分的第一段落，却没有神经活动的论述，显然不妥。

回应：非常感谢专家给出的诚恳建议，我们考虑到文章结构和逻辑严密性，对神经活动相关内容并未做过多赘述，这导致节奏异常的神经特点在论述时不够清晰明确。在本次修改中，我们对 Flaugnacco 等人（2014）和 Fiveash 等人（2021）的综述进行了梳理，丰富了神经活动的相关论述。例如，根据 Fiveash 等人（2021）的言语和音乐节奏加工（processing rhythm in speech and music, PRISM）框架，音乐和言语/语言处理中存在共享的三个基本机制：精确的听觉处理，神经震荡与外部刺激的同步或夹带，以及感觉运动耦合。其中，神经震荡与外部刺激的同步或夹带、感觉运动耦合均是神经活动，这为论述节奏异常的神经特点提供了依据。

我们对本文论述节奏特点部分的内容进行了调整，将神经活动特点的论述集中在“2.2 DD 儿童节奏异常的神经特点”的部分，具体修改如下：

当前的脑神经研究发现，DD 儿童普遍存在的节奏感知困难，可能是由语音信号和神经元活动间相位夹带受损以及低频振幅调制与外部声音信号频率不同步造成的（Flaugnacco et al., 2014）。另外，也可能与大脑的听觉和运动区域耦合不足有关（Fiveash et al., 2021）。主要表现为 δ 波段神经夹带异常、低频振幅调制同步性低及听觉-运动耦合异常。

意见 4：综述第 1、2 部分仅谈 DD 节奏异常，对于文章没有意义。

回应：非常感谢审稿专家给出的建设性意见，我们采纳了您的建议，为使本综述在对应部分的论述更紧凑，意义更突出更明确。在原稿的第 1、2 部分我们着重论述 DD 节奏异常旨在

说明节奏作为阅读重要影响因素之一，能够在早期有效识别 DD 儿童。然而，原文相关论述可能由于行文不规范，表述不准确等原因导致内容存在歧义，弱化了 DD 节奏异常在本文中的作用和意义。在本次修改中，我们在第 1 部分新增了有关节奏与阅读关系研究的相关内容，重点论述了婴幼儿早期节奏能力对后来语言及阅读发展的重要影响。其中有部分研究还证明了节奏子技能可以作为阅读发展的重要预测因子。综述第 2 部分在总结梳理 DD 节奏特点在行为和神经活动方面表现的同时，新增了部分有关具体异常特点对 DD 儿童阅读障碍症状表现影响的论述，意在突出节奏异常作为 DD 早期潜在识别标志的可操作性。此外，结合文章中行为和神经层面 DD 节奏异常特点，能够在日常生活和教学中降低识别具有潜在风险的 DD 儿童的成本，提高了早期识别的效率。这为接下来梳理总结 DD 节奏异常的行为和神经特点可作为早期识别潜在标志提供了背景支持。我们还对该部分的行文表述也重新做了校对和修改，使得该部分内容更紧凑更具体，突出了节奏异常在本文中的作用和意义。

以上具体修改内容已在正文中标红，具体内容如下：

第 1 部分：

正常发展(Typical development, TD)的新生儿在出生后不久就能仅依靠节奏线索区分母语和非母语(Mehler et al., 1988; Ramus et al., 2000)。生活在不同语言环境中的正常婴儿，都能在出生后第一年生成有节奏的音节（如，da-da-da）(Ravignani et al., 2019)。

节奏还对学龄儿童的阅读理解(Goswami, Huss, et al., 2013)、形态句法能力(Morphosyntax ability)、字母发音知识(Letter-sound knowledge)(Ozernov-Palchik et al., 2018)、单词阅读能力(Tierney & Kraus, 2013)、语音意识(Phonological awareness)(Flaugnacco et al., 2014; Huss et al., 2011; Sun et al., 2022)和书写能力(Paglierini et al., 2015)等有重要影响，并表现出跨语言一致性(Bekius et al., 2016)。

相关研究将节奏/节拍/节拍敏感性明显弱于正常同龄人的平均水平的现象称之为“*Atypical rhythm*” (Ladányi et al., 2020)，即节奏异常，有关节奏异常可能是 DD 风险因素的探讨已成为近年学者们关注的热点。Ladányi 等人(2020)提出节奏异常风险假说(*Atypical Rhythm Risk Hypothesis*)，指出节奏异常可能是发育期言语和语言障碍的风险因素(Ladányi et al., 2020)。Gibbon 等人(2021)认为 DD 儿童对节奏的异常反应可以通过神经标记来识别，并尝试使用 EEG 对 2 个月的婴儿节奏神经反应进行追踪，以便发现可靠的神经标记物(Gibbon et al., 2021)。有关节奏干预研究也发现，DD 儿童的节奏与阅读能力之间存在因果联系(Bégel et al., 2018; Cancer et al., 2020; Thomson et al., 2013)。目前，可供 DD 早期识别使用的工具可靠工具较少，节奏的行为和神经异常也许可以为此提供一个解决方案。

第 2 部分:

节拍 (Beat) 是节奏的基本构成元素, 是判断重音与非重音交替规律的重要线索, 也与同步运动密切相关, 如跳舞或音乐合奏(Arvaniti, 2009)。人类节拍感知能力是与生俱来的(Winkler et al., 2009), 并与儿童的元语言能力 (Metalinguistic ability) 密切相关, 如快速自动命名 (Rapid automatized naming)(Bekius et al., 2016)、语音意识(Goswami, Huss, et al., 2013), 是阅读发展的重要预测因子(Flaunacco et al., 2014; Huss et al., 2011; Sun et al., 2022)。

回溯研究发现, 与无 DD 患病史的同龄人相比, DD 青少年的重音敏感性明显更低(Kitzen, 2001), 不能很好辨识模糊音素(Holliman et al., 2010)。

预测时间 (Predictive timing) 常被用来衡量听者感知声音信号变化本身所传达的细微差别的能力(Arvaniti, 2009), 可根据已有信息对即将发生的事件建立时间预期(Piras & Coull, 2011), 帮助听众在声音信号规律性并不完美时提取节奏模式。Bégel (2022) 等人对 8-12 岁的儿童进行研究, 与节奏密切相关的预测时间可以独立于一般运动和认知功能, 部分解释核心语音缺陷, 使得预测时间成为 DD 早期诊断和补救的宝贵工具(Bégel et al., 2022; Lampis et al., 2021)。

研究发现, 儿童的上升时间感知与其音节意识(Law et al., 2017)、声调意识(Tong et al., 2018; Wang et al., 2022)和词汇水平发展(Kalashnikova et al., 2019)显著相关。研究发现, DD 儿童可以区分非常快速的上升时间(例如, 15ms), 但不能区分较慢的上升时间(如 300ms)(Richardson et al., 2004; Stefanics et al., 2011), 这就会使得较慢上升时间所携带的语音信息流失, 造成语流切割困难(Goswami et al., 2011)。

意见 5: 缺少预测研究, 因果关系的研究, 少有的一个研究还不是节奏现象的, 而是有关时间范畴的, 所以, 很难把节奏作为阅读预测的基础。

回应: 非常感谢审稿专家对于综述引用研究成果的中肯建议。基于您的建议, 我们重新梳理和总结了有关节奏现象的研究, 结合本文对节奏的定义, 节奏具有时间性和突出性两大特点, 因此在重新梳理文献和修改论述时, 我们同时采纳了有关时间性和突出性的研究, 并丰富了预测研究和因果关系相关研究的引用。

其中预测研究方面, 我们通过对 Winkler 等人 (2009)、Bekius 等人 (2016)、Goswami 等人 (2013)、Flaunacco 等人 (2014)、Huss 等人 (2011)、Sun 等人 (2022) 的研究进行了梳理, 发现节奏这一与生俱来的能力与儿童多种元语言能力 (Metalinguistic ability), 如语音意识 (Phonological awareness)、快速自动命名 (rapid automatized naming)、音调意识

(Tonal awareness) 密切相关, 对节奏能力可预测儿童阅读发展进行了论述。

因果关系研究方面, 由于学龄前儿童未能接受正式的阅读教育, 因此, 节奏与阅读的因果关系通常借助干预研究和追踪研究来揭示。我们梳理了以往有关节奏的追踪研究和干预研究, 对节奏与阅读能力之间的因果关系进行了论述。Goswami 等人 (2013、2019) 的追踪研究发现 DD 儿童的音乐序列感知能力发展速度慢于年龄匹配的 TD 儿童, Kalashnikova 等人 (2019) 的追踪研究证实了节奏的声学线索可以预测语言发展。另外, 对 Musacchia 等人 (2007), Chern 等人 (2018), Ladányi 等人 (2021), Politimou 等人 (2019), Canette 等人 (2020), Przybylski 等人 (2013), Schön & Tillmann (2015) 的干预研究梳理总结发现, 长期的音乐节奏训练和短期的节奏刺激都可能是改善语言技能的有用方法。而 Bégel 等人 (2018)、Cancer 等人 (2020)、Thomson 等人 (2013) 的干预研究, 则直接对 DD 儿童的节奏与阅读能力之间存在因果联系进行了论述。这使得节奏在本综述中与阅读之间的关系更明确, 为节奏预测阅读的论述提供了实证依据。所修改的内容已在正文中标红, 具体修改如下:

有关追踪研究部分:

“2.1.1 简单节拍和节奏序列识别能力差”中:

追踪研究发现, 8~14 岁 DD 儿童音乐序列感知能力发展速度显著慢于年龄匹配的 TD 儿童(Goswami, Huss, et al., 2013)。

“2.1.4 上升时间感知困难, 发展速度缓慢”中:

一项为期四年的追踪研究中, 研究者使用相同的实验范式, 在第一次测量时发现 9 岁 DD 儿童在“DeeDee”任务中的表现明显比阅读水平匹配的 7 岁 TD 儿童及年龄匹配的 TD 儿童都差, 而在 13 岁时仍比年龄匹配的 TD 儿童表现更差(Goswami, 2019b)。另一项较早的追踪研究发现, DD 儿童的听觉上升时间敏感性发展速度也明显低于阅读水平匹配的低龄 TD 儿童(Goswami, Huss, et al., 2013)。

“3.2 节奏能力产生早于语言习得”中:

追踪研究也证实了节奏的声学线索可以预测语言发展。Kalashnikova 等人 (2019) 的追踪研究发现, 控制非言语智商后, 婴儿的振幅包络上升时间敏感性对 3 岁时的词汇量有显著预测作用, 这表明早期上升时间分辨能力对婴儿语音处理有影响(Kalashnikova et al., 2019)。

有关干预研究部分:

“引言”中:

有关节奏干预研究也发现, DD 儿童的节奏与阅读能力之间存在因果联系(Bégel et al.,

2018; Cancer et al., 2020; Thomson et al., 2013)。

“4.1 深入探究音乐节奏在 DD 儿童识别和干预中的价值”中：

不仅长期节奏干预有利于促进阅读相关能力发展(Musacchia et al., 2007)，即使短暂的节奏诱发也有助于语言能力发展(Chern et al., 2018; Ladányi et al., 2021; Politimou et al., 2019)。Przybylski 等人（2013）和 Canette 等人（2020）分别在 DD 儿童和成人中进行的研究发现，即使短暂地呈现有节奏的音乐诱发刺激，也能改善被试随后的句子语法处理表现(Canette et al., 2020; Przybylski et al., 2013)。因此，长期的音乐节奏训练和短期的节奏刺激都可能是改善语言技能的有用方法(Schön & Tillmann, 2015)。

“4.3 加强非专业诊断人员在 DD 早期识别中的合作”中：

尽管 DD 诊断和治疗方式各异，但众多研究一致表明，早期识别可以发现 DD 患病风险，适当干预可以帮助风险儿童克服风险迹象(Alonzo et al., 2020; Helland et al., 2021)。

意见 6:总之，全文对于 DD 早期识别的研究文献回顾太过缺乏，无法论证节奏作为早期识别的指标的可行性。

回应:非常感谢审稿专家对于本文提出的建设性建议。我们根据您的建议，重新对节奏相关文献和节奏与 DD 早期识别相关的文献进行了梳理，并且丰富了本综述相关内容论述。本文旨在论证通过节奏行为和神经异常特点来对 DD 儿童进行早期识别的可能性。然而，由于行文不规范、表述不恰当等因素，导致本文在阅读时容易对所论述的重点产生歧义。原文关于 DD 早期识别的内容是为了说明目前的 DD 儿童面临着确诊时间较晚，错过最佳干预时机，且目前并无 DD 治疗特效药等困境，这是我们探讨节奏作为 DD 早期识别潜在标志可能性的背景，因此我们并未花过多笔墨进行论述。我们采纳了审稿人的宝贵意见，重新修改了该部分的表述，使其表达更准确。我们查阅了有关 DD 早期识别研究相关文献，发现目前还没有可靠的 DD 早期识别工具，而且儿童接受正式阅读教学以前进行阅读技能测量又是无效的。有研究者就提出应该寻找更广泛的阅读相关技能和 DD 风险因素作为 DD 早期识别标志 (Pennington et al., 2012)。风险因素虽然不能决定儿童是否会患 DD，但是它可以影响他们的患病几率(Catts, 2021)。目前 DD 儿童存在听觉感知缺陷已得到学界一致认可，节奏作为儿童早期语言习得的一个关键指标(Bégel et al., 2022; Kalashnikova et al., 2021)，与儿童语言和阅读能力密切相关，并可预测后续的阅读能力发展。因此，从节奏角度出发，我们认为可以通过节奏行为和神经异常特点尽早识别 DD 风险儿童。具体修改和新增内容已在正文标红，具体内容如下：

因此，研究者们就必须考虑更广泛的阅读相关技能和 DD 风险因素以便尽早识别 DD 风险儿童(Colenbrander et al., 2018)。

节奏(Rhythm)是普遍存在于不同文化中的音乐和语言的基本元素 (Fiveash et al., 2021), 是一种以突出模式和分组为基础的独特现象, 具有突出性和规律性, 是一种主观感知的心理现象, 受个人经验影响(Arvaniti, 2009; Dauer, 1983; Nolan & Jeon, 2014)。

正常发展(Typical development, TD)的新生儿在出生后不久就能仅依靠节奏线索区分母语和非母语(Mehler et al., 1988; Ramus et al., 2000)。生活在不同语言环境中的正常婴儿, 都能在出生后第一年生成有节奏的音节(如, da-da-da) (Ravignani et al., 2019)。

节奏还对学龄儿童的阅读理解(Goswami, Huss, et al., 2013)、形态句法能力(Morphosyntax ability)、字母发音知识(Letter-sound knowledge)(Ozernov-Palchik et al., 2018)、单词阅读能力(Tierney & Kraus, 2013)、语音意识(Phonological awareness)(Flaugnacco et al., 2014; Huss et al., 2011; Sun et al., 2022)和书写能力(Pagliarini et al., 2015)等有重要影响, 并表现出跨语言一致性(Bekius et al., 2016)。

相关研究将节奏/节拍/节拍敏感性明显弱于正常同龄人的平均水平的现象称之为“*Atypical rhythm*”(Ladányi et al., 2020), 即节奏异常, 有关节奏异常可能是 DD 风险因素的探讨已成为近年学者们关注的热点。Ladányi 等人(2020)提出节奏异常风险假说(*Atypical Rhythm Risk Hypothesis*), 指出节奏异常可能是发育期言语和语言障碍的风险因素(Ladányi et al., 2020)。Gibbon 等人(2021)认为 DD 儿童对节奏的异常反应可以通过神经标记来识别, 并尝试使用 EEG 对 2 个月的婴儿节奏神经反应进行追踪, 以便发现可靠的神经标记物(Gibbon et al., 2021)。有关节奏干预研究也发现, DD 儿童的节奏与阅读能力之间存在因果联系(Bégl et al., 2018; Cancer et al., 2020; Thomson et al., 2013)。目前, 可供 DD 早期识别使用的工具可靠工具较少, 节奏的行为和神经异常也许可以为此提供一个解决方案。

第二轮

审稿人 1 意见:

根据上次意见进行修改后, 更加完整了。但是①读起来还是晦涩, 建议找写作功底深的老师润色一下, 让大同行或者外行看懂。②把节奏异常作为阅读障碍的早期识别标志, 目前的证据不足以说明这一点。建议稍微修改一下题目。

修改意见:

意见 1: 读起来还是晦涩，建议找写作功底深的老师润色一下，让大同行或者外行看懂。

回应: 非常感谢审稿专家细心的建议和建设性的意见，我们采纳了您的宝贵建议和意见，对全文的行文、措辞、语句通顺和标点符号规范等方面进行了细致的校对和修改，并经过多次复盘，使得我们有机会将本文的行文修改的更规范，可读性更高。具体修改已在文中标为紫色。

意见 2: 把节奏异常作为阅读障碍的早期识别标志，目前的证据不足以说明这一点。建议稍微修改一下题目。

回应: 非常感谢审稿专家对本研究在论证依据方面提出的宝贵建议。我们重新梳理了已有文献，并结合您的意见进行了深入的探讨，使得我们有机会将节奏异常作为 DD 早期识别标志的可能性论述得更具体和充分。在原稿中，我们仅从相关性入手，并未着重强调节奏异常与 DD 之间的因果关系，本次修改中，我们在原有文献的基础上重新查阅并整理了节奏与 DD 之间关系相关的研究文献，对“节奏异常是否可以作为 DD 儿童潜在的早期识别标志”这一研究问题重新进行了论证。我们发现有多位研究者从对风险儿童的节奏研究或干预研究出发，论证了节奏异常可能是学龄前儿童文字阅读困难风险的早期识别标志这一观点（Reifinger,2019），Bégel 等人（2022）通过对 DD 儿童的计时障碍以及其他运动和认知功能障碍进行分离测量后，指出节奏异常可以作为 DD 的一个独立预测因素。Kalashnikova 等人（2019）的研究则认为上升时间感知困难可能是 DD 儿童的核心缺陷之一，可将其用于 DD 书面语损伤的重要发展性标志进行早期观察和识别。Andrade 等人（2023）还以音乐节奏序列为材料，开发了音乐序列转录任务(MSTT)作为一种语言独立的、时间和成本效益高的工具用于早期识别有 DD 风险的儿童，并通过为期四年的追踪研究证明该方法具有较高的识别能力。有关最新的脑神经研究也发现婴儿对简单声音更小、更短的神经反应可能是高危婴儿出现 DD 风险的早期标志（Mittag et al.,2021）。最近的机器分类模型也在加入节奏参数以后取得更高的 DD 识别率，证明了节奏夹带异常相关的临床生物标志物用于 DD 早期识别的可能性（Gibbon et al.,2021）。但值得注意的是，DD 的早期识别或筛查不同于正式识别或诊断，也就是说在筛查工具中评估的风险因素并不能确定儿童是否会随后发展为 DD。相反，早期识别工具可以评估前阅读期儿童患上 DD 的概率(Catts & Petscher, 2022)，增加了在正式阅读教育前发现并干预的可能性。因此，基于以上研究结果我们认为，节奏异常作为引发 DD 的原因具有相对充分的研究依据。考虑到标题对全文主旨的概括性，我们并未对标题进行修改，而是在原基础上，修改和补充了正文中关于节奏异常与 DD 早期识别之

间因果关系的相关论述。所修改内容已在文中标为紫色。

.....

审稿人 3 意见：

早期筛查对提高发展性阅读障碍儿童的干预效果至关重要。该综述以发展性阅读障碍儿童的节奏异常为切入点，论证节奏异常可以作为发展性阅读障碍早期识别标志这一观点。选题具有重要的理论意义和实践意义，分析问题的角度具有较高创新性。但是，作者在论证过程中，把重点放在节奏感知与语言和言语加工的关系及发展性阅读障碍儿童节奏异常的行为和神经表现，后者主要是说明节奏异常与发展性阅读障碍有关，而较难推论因果关系，所以较难支持作者所提出的“节奏异常作为发展性阅读障碍早期识别标志”这一假设。因此，建议作者重点和更充分地论证节奏异常是发展性阅读障碍儿童学习阅读困难的原因，为提出上述假设提供更直接的论据。围绕这一问题，建议对作者对以下几方面进行思考和修改：

意见 1：“摘要”，作者需要直接论证节奏感知与文字阅读发展及阅读障碍的因果关系，进而得出“节奏异常作为发展性阅读障碍早期识别标志”这一假设。

回应：首先，十分感谢审稿专家对本综述在选题和创新性方面的认可，并细心给出专业的修改建议和建设性的意见。正如您所强调的，原文的摘要部分并未充分体现出节奏感知与 DD 之间的因果关系，导致“节奏异常作为发展性阅读障碍早期识别标志”这一假设意义不够突出。我们在对 DD 与节奏异常相关研究文献进行进一步检索和梳理后，就文章要解决的核心问题进行了再次论证，并对摘要做出了更有针对性和突出因果关系的修改。修改之处已在正文中标为紫色。具体修改如下：

摘要：发展性阅读障碍（DD）儿童的早期识别及干预对个人和社会发展都至关重要。语音意识缺陷是 DD 的核心缺陷，本质上由更基础的听觉加工缺陷所引起。节奏作为听觉加工的主要影响因素之一发生于个体生命早期，也是儿童语言习得的关键指标之一。梳理以往研究发现，DD 儿童表现出节奏异常的行为和神经特点，这些特点导致个体解码效率更低，阅读理解更吃力，书写质量也更差。DD 儿童节奏感知能力异常会预测其在阅读的加工机制层面的缺陷。因此，可考虑将节奏异常特点作为 DD 儿童正式入学前的潜在识别标志。未来研究可将节奏异常作为切入点，深入探究 DD 儿童节奏异常的个体差异，积极探究汉语 DD 儿童节奏异常的特点及作用机制，为开发更具生态效度的节奏测量工具和提高 DD 的识别及干预效率提供实证及理论依据。

意见 2: 异常节奏风险假说讨论的主要是语言障碍，还是阅读障碍，抑或两者兼有，作者需要把重点放到异常节奏对阅读障碍的解释。

回应: 非常感谢审稿专家就本研究所引用理论的严谨性给出专业的宝贵建议。我们分析了您的建议，并重新对本综述所引用的相关理论进行修正，使得我们有机会将该部分内容论述得更严谨，逻辑更清晰。我们再次对该假说的相关文献进行了检索和仔细阅读，发现该假说在阐述异常节奏可能是 DD 的重要影响因素之一，同时也可能与语言障碍、口吃、DCD、ADHD 相关的症状有关。在 Ladányi 等人 (2020) 提出这一假说的综述文章《Is atypical rhythm a risk factor for developmental speech and language disorders?》中，作者基于音乐节奏与言语/语言处理之间的关联证据，提出了异常节奏风险假说，该假说认为具有异常节奏的个体患发展性言语/语言障碍（如 DD）的风险更高。节奏异常风险假说是本综述核心问题的重要理论基础之一，在此基础上将研究的对象聚焦在 DD 儿童群体，梳理了相关的理论和实证研究成果，提出了“节奏异常是否可作为 DD 儿童潜在早期识别标志”的核心问题，可以说我们的综述是对该假说在 DD 领域的进一步延伸。因此，我们在经过仔细讨论后，为了突出了异常节奏对 DD 的解释，我们在引用该假说的基础上，重新列举了节奏早于 DD 症状出现这一时间先后顺序的依据，同时结合一些 DD 节奏干预研究的证据，更充分的阐明了节奏异常与 DD 之间存在因果关系，用以支撑我们的核心问题。修改部分已在文中标为紫色。

意见 3: 作者在正文中有提到节奏与阅读能力的因果关系相关内容，比如“DD 儿童节奏与阅读能力之间存在因果联系 (Bégl et al., 2018; Cancer et al., 2020; Thomson et al., 2013)”，但过于简略和单薄，需要充实。

回应: 非常感谢审稿专家关于本综述在论述节奏异常与 DD 因果关系部分提出宝贵的专业建议。原稿中，我们考虑到语言和节奏的高度相关性，将论述的重点也放在相关性维度上，这的确使得我们的论述不够充分且存在漏洞。我们采纳了您的宝贵建议，对论证节奏与阅读能力因果关系的文章进行了重新检索和梳理总结，我们发现目前已有较多研究成果证明了 DD 与节奏异常之间存在因果关系。除了有关 DD 风险儿童节奏异常与阅读能力相关的行为研究证据以外，还有来自家族基因及婴幼儿早期脑神经研究的成果，以及纵向追踪研究的证据。这些结果能够很好的支撑我们在该部分的核心论述，因此，经过商讨在对原有因果关系部分文献进行扩充以外，我们还在此版本稿件中着重丰富了节奏异常与 DD 因果关系的研究，使得该部分内容在逻辑上更严谨，全文推导依据更充分。在此，我们仅附上“DD 儿童节奏

与阅读能力之间存在因果联系 (Bégel et al., 2018; Cancer et al., 2020; Thomson et al., 2013)”
部分的具体修改内容，其他修改论据已在文中标为紫色，所附修改部分具体如下：

“1 引言”部分：

有关节奏干预研究也发现，DD 儿童的节奏与阅读能力之间存在因果联系。例如，Bégel 等人 (2018) 和 Cancer 等人 (2020) 借用计算机技术通过节奏训练的方式分别对 DD 成人和 DD 儿童进行了干预，结果都证实了节奏训练有助于促进语音意识发展。为了更好地确定节奏训练和语音训练对 DD 听觉加工干预的效果，Thomson 等人 (2013) 进行了两种干预方式的对比研究，结果发现在语音意识方面节奏训练可以获得和语音训练相当的积极效果。

意见 4：“2.节奏异常与 DD 的早期识别”这部分内容主要写的是“节奏异常”，而较少涉及这些指标与 DD 早期识别的关系，建议作者对此做补充。

回应：非常感谢审稿专家针对节奏异常与 DD 早期识别的关系阐述提出专业的修改意见和建议。我们采纳了您的宝贵意见，并对照您所给出的建议对两者关系的相关文献进行了重新检索和梳理，在原稿的基础上增补了论证节奏异常特点与早期识别关系的论据，使得文章在因果论证及结构完整性上更能够突出研究主旨。我们主要围绕介绍有关节奏的行为和神经核心概念，出现时间先后顺序，以及在 DD 儿童中可观察到的类似节奏特点等三个方面，突出了节奏异常与 DD 症状间的因果联系，以便论证节奏异常可作为 DD 潜在的早期识别标志。具体修改如下：

“2. DD 儿童节奏异常的表现”部分：

个体节拍感知能力出生即有(Winkler et al., 2009)，新生儿和婴儿已能够在音乐刺激中处理节奏(Fiveash, Falk, et al., 2021; Hannon & Trehub, 2005; Ladányi et al., 2020)。Mittag 等人 (2021)利用脑磁图(MEG)研究发现，12 个月的 DD 风险婴儿对非言语声音刺激(白噪声)的神经反应比 6 个月时更大、更长，年龄匹配的 TD 儿童的反应模式恰好相反。这表明，在母语音素学习的敏感期，DD 风险婴儿的听觉加工效率更低，对简单声音反应更迟钝。后续的研究发现，DD 风险婴儿的听觉加工缺陷持续预测 18 至 30 个月的句法处理和 18 至 21 个月的词汇生成。因此，婴儿早期对简单声音的反应也许能作为识别 DD 的早期风险因素，如听觉加工缺陷引发的节奏异常的行为表现和神经反应。

“2.1.2 节奏生成困难”部分：

已有研究表明，DD 风险婴儿 19 个月时会出现音节生成障碍 (Ozernov-Palchik & Gaab, 2016)，这远早于 DD 儿童语言和阅读障碍的出现时间。

“2.1.3 预测时间间隔更长”部分：

新生儿可以从听觉输入的节奏规律中提取时间预测（Winkler et al., 2009）。研究发现，在正式阅读教育开始前，DD 风险儿童的预测技能可能就已经受损（Pagliarini et al., 2015）。

“2.1.4 上升时间感知困难”部分：

Attaheri 等人（2022）使用皮层跟踪技术，对婴儿在自然语音（童谣）聆听过程中进行直接神经测量，发现 4 个月前的婴儿并未表现出分类语音编码能力，婴儿从 7 个月开始出现语音编码，并随时间逐渐增强，而声学编码并不随年龄增长。由此推测，婴儿是否能辨别“pa”和“ba”等音节的行为可能揭示的是婴儿的声学编码能力，而非语音编码能力（Attaheri et al., 2022）。由此分析，有关 DD 风险或确诊儿童的类似研究中（Kalashnikova et al., 2018; Keshavarzi et al., 2022; Power et al., 2013），他们不能区分两个声音的差异，源于早年的声学编码缺陷，而非随时间发展不足的语音缺陷。

“2.2 DD 儿童节奏异常的神经特点”部分：

Sanfilippo 等人（2020）从遗传和神经成像研究出发，认为 DD 具有的可遗传性，可能代表着 DD 风险婴儿大脑异常在正式学习阅读之前就已存在。因此，节奏异常神经成像技术与关键行为相结合，可以提高识别学龄前儿童阅读障碍风险的准确性（Ozernov-Palchik & Gaab, 2016），尤其是节奏生成能力较弱的新生儿与学步儿。

“2.2.1 振幅调制相位层次缺陷： δ 波段神经夹带异常”部分：

研究发现 DD 患者的大脑可能无法建立 δ 频段（~ 2Hz）节拍的可靠内部声学表征（Huss et al., 2011），而这是产生节奏的主要频段（Telkemeyer et al., 2011）。

不仅如此，DD 成人的右半球 2Hz 频率活动区域的神经夹带明显减少，且右半球整体神经夹带显著降低（Hämäläinen et al., 2012）。这可能意味着早年的 δ 波段神经夹带异常并不会随着年龄和学习经验的增加而自然消失，相反尽早识别 δ 波段神经夹带异常，可能是有助于更早识别 DD 风险儿童的标志之一（Gibbon et al., 2021）。

“2.2.2 大脑低频带振幅调制同步性低”部分：

相关研究发现，新生儿就已具备大脑低频振幅调制同步的能力，且皮层追踪发现在出生后第一年 δ 频带的神经活动最强，这可以预测语言发展的个体差异（Attaheri et al., 2022）

“2.2.3 听觉-运动耦合差”部分：

有关婴儿和前阅读阶段儿童的神经成像研究发现，大部分阅读相关的脑区很可能在产前或在接受阅读教学和确诊为 DD 前就已经发生异常（Im et al., 2016; Ozernov-Palchik & Gaab, 2016）。如 DD 风险儿童的大脑感觉区域皮质显著更薄，听觉加工相关的脑皮层沟回形态

(Sulcal patterns,指初级皮层褶皱的排列、数量和大小)异常,且DD儿童相应的脑区功能及动态连接也表现出异常(Im et al., 2016)。

意见 5:“3.节奏异常作为 DD 儿童潜在早期识别标志的可能性”这部分的重点应该是论证节奏异常与 DD 儿童文字阅读困难的因果关系。

回应:十分感谢审稿专家就“节奏异常作为 DD 儿童潜在早期识别标志的可能性”给出的宝贵意见和建议。我们仔细分析了您的建议,对原稿中相关内容进行了更契合研究问题的修改。原稿在该部分论述时,仅强调了节奏异常在早期能够被观察到,认为节奏异常在时间上先于 DD,但并未考虑到节奏异常如何影响文字阅读,这的确无法充分地说明节奏异常与 DD 之间存在因果关系。参考了您的建议和意见后,我们首先对 DD 文字阅读困难的具体症状进行了文献查阅和仔细阅读,发现在不同文字系统和正字法深度的语言中,DD 都在解码、阅读理解和书写方面表现出不同程度的困难。而且目前已有较多研究对节奏异常可能与解码、阅读理解和书写困难之间的关系进行了探讨,比如 Smith 等人(2008)就发现有节奏加工能力缺陷的 2 至 3 岁 DD 风险儿童在个体早期就已表现出每秒音节产生数明显更少(3 岁时 DD 儿童 4.8 个,TD 儿童 7.1 个),发音间隔时间也 longer。与此类似,DD 儿童的阅读理解和书写也受到更基础节奏异常影响,使得他们出现相应的文字加工困难。这些结果都能够充分论证节奏异常导致 DD 患者的文字阅读困难。因此,我们对该部分内容进行了重新架构和论证,以期构建更严谨的因果关系,充分论证本研究的核心问题,使得全文更严谨,更流畅。修改内容已在文中标为紫色,具体修改如下:

“3.节奏异常作为 DD 儿童潜在早期识别标志的可能性”部分:

综合已有研究结果发现,节奏异常通过不同的方式从不同层面对 DD 儿童的文字阅读困难产生影响。考虑到节奏是语言与阅读发展的影响因素之一,节奏异常和 DD 的因果关系不容忽视。分析节奏异常对 DD 文字阅读困难的具体影响过程,将有利于进一步厘清两者关系,增加通过节奏异常特点尽早识别 DD 的可能性。

3.1 节奏异常阻碍早期单词解码

学龄初期儿童的阅读发展主要集中在对词汇的识别和解码方面(Adams, 1994)。解码是将字母映射到声音进而阅读单词的过程,有助于正字法词汇的形成(Lallier et al., 2018),也是单词识别和随后阅读的基础(Ozernov - Palchik & Gaab, 2016)。在自然语言中,重读音节比非重读音节持续时间 longer,声音更大,音调也更高(Lallier et al., 2018),这些特征使得重音成为识别单词边界的重要条件,阅读时读者需要利用这些线索将单词分割成音节帮助解码(Goswami, 2019b; Lundetræ & Thomson, 2018)。重音识别能力常通过节拍同步来测量。Carr

等人(2014)的研究发现,与节拍同步能力较差的同龄人相比,能够更好地与外部节拍同步的儿童具有明显更好的语音加工能力,这与他们更好的重音定位能力密切相关。因此,要想更好地识别和干预 DD,必须厘清 DD 儿童节奏异常和解码能力之间的关系。与 TD 儿童相反,DD 儿童多数的阅读和拼写(听写)失败都源于节奏感知缺陷带来的解码失败(Calet et al., 2019)。研究发现,有节奏加工能力缺陷的 2 至 3 岁 DD 风险儿童在个体早期就已表现出每秒音节产生数明显更少(3 岁时 DD 儿童 4.8 个,TD 儿童 7.1 个),发音间隔时间也更长(Smith et al., 2008),这会导致他们解码时不能准确捕捉重音线索,导致解码失败。对重音感知敏感性的回溯研究发现,与无 DD 患病史的同龄人相比,DD 青少年的重音敏感性明显更低(Kitzen, 2001),致使他们不能很好辨识模糊音素(Holliman et al., 2010a)。这些结果都说明了节奏产生异常时,解码能力也会受到影响(Calet et al., 2019; Snowling et al., 2019)。

3.2 节奏异常影响 DD 儿童的阅读理解

随着年级的增加,对儿童阅读理解的要求变得更高。简单阅读观(the simple view of reading,简称 SVR)认为解码是阅读理解的基础之一(Edele & Stanat, 2016),阅读时读者需要在字素(印刷的单词)和音素(声音)之间建立联系(Pagliarini et al., 2020)。因此,节奏技能缺陷可以通过降低解码效率而造成阅读理解困难(Goswami et al., 2013; Reifinger Jr, 2019)。另外,一个高效、快速的读者在阅读当前单词时,就必须预测接下来的单词信息,为连续的阅读做准备(Laubrock & Kliegl, 2015)。因此,预测也是保持阅读理解准确和流畅的重要条件。但如上文所述,DD 儿童存在的预测时间缺陷,使他们不善于为未来的阅读事件做准备(Pagliarini et al., 2015; Taha et al., 2022),导致阅读理解困难。例如, Pagliarini 等人(2020)使用“warning imperative paradigm”范式首次对 DD 儿童和成人的结构预测进行研究,结果发现 DD 儿童和成人的预测反应时低于 TD 同龄人,且每秒阅读的音节也更少,降低了阅读效率。进一步研究发现,即使接受正式的阅读教学后,DD 儿童的预测缺陷还会使得他们不能有效利用形态句法信息(Morphological information)预测即将出现的单词及复杂的语言结构,难以保证阅读的流畅性和准确性(Persici et al., 2019)。这些结果表明,DD 儿童的阅读理解困难与其节奏感知异常密切相关。

3.3 节奏异常影响 DD 儿童的书写效率

越来越多研究发现,在字母、词汇到语篇等多个阅读水平上,不同文字系统中的 DD 患者都表现出书写困难的特征,具体表现为书写速度明显较慢,平均字符大小和大小变化更大,写作的准确性明显较低,汉字书写中还出现笔画缺失和连笔等现象(Lam et al., 2011; 卫垆圻 et al., 2020)。有研究者认为,书写过程中频繁的不恰当停顿可能是 DD 儿童书写困难的关键

(Sumner et al., 2014; 卫垆圻 et al., 2020)。书写是一项具有节律性的活动,从儿童最初的书写开始,节奏结构似乎就已存在于儿童的心智模型中(Pagliarini et al., 2017),受到等时性和同质性两个节律性原则影响(Llinás, 1993)。等时性是指个体书写时可自发调节每个字母(笔画)的书写时间,以保证形状大小不同的同一单词(汉字)的书写时间近似恒定。同质性是指每个单词(汉字)的组成字母(笔画)的书写相对持续时间不变。与同龄 TD 儿童相比, DD 儿童在书写单词的单个字母所花费的时间明显更长(Pagliarini et al., 2015),他们不能根据要求调整单个字母的书写时间和整体书写速度,进而难以在有限的时间内准确流畅地完成一系列与书写内容相关的节奏事件(Cheng-Lai et al., 2013)。此外, DD 儿童在与节奏能力密切相关的语音和正字法技能方面也存在缺陷,使得他们需要花更多时间思考音素--字素映射,从而导致更频繁地停顿,书写速度自然就会减慢,准确性和流畅性也相应降低(Sumner et al., 2013; 卫垆圻 et al., 2020)。可见, DD 儿童的书写质量与其节奏感知能力密切相关。

基于上述分析,节奏感知能力在解码、阅读理解和书写效率方面均有着重要作用。节奏感知异常的个体,解码效率更低,阅读理解更吃力,书写质量也更差,可见, DD 儿童节奏感知能力异常会预测其在阅读的加工机制层面的缺陷,这也充分说明了节奏异常可能是 DD 更早期更深层次的风险因素,对 DD 的早期识别与干预有着重要价值。

意见 6:“4. 研究展望”,目前写得比较分散,建议作者围绕“节奏异常作为 DD 早期识别标志”这一假设提出以往研究存在的问题及未来需要开展哪些研究。

回应:非常感谢专家就“研究展望”部分给出的宝贵建议,使得我们有机会将本文的核心价值贡献,问题探讨的创新性及对未来领域内的研究展望阐述得更突出和集中。在此次修改中,我们从“节奏异常作为 DD 早期识别标志”这一假设出发,对文献进行了重新整理和归纳,并调整了展望的角度,对该领域未来研究做出了更有价值和更集中的展望。修改内容已在文中标为紫色,具体修改内容如下:

“4.研究展望”部分:

综上所述,节奏异常是个体阅读发育异常的重要指标,对早期节奏的深入理解使得 DD 的早期发现和识别成为可能(Ladányi et al., 2020)。但有关 DD 节奏异常的研究尚不成熟,尤其需要对节奏异常和 DD 的关系进行深入探讨,以丰富当前 DD 相关的研究结论。还需要注意,由于 DD 患者群体存在多质性特征,需要通过更广泛的研究进一步确认节奏异常在多大程度上能够解释 DD 患者的个体差异。此外,相关的测量研究也还停留在实验室阶段,尤其是对早期婴幼儿的研究多采用脑神经技术,这在可行性和成本方面存在较大限制。因此,未来研究应考虑到以下四个方面。

4.1 探究汉语 DD 儿童的节奏异常特点及作用机制

目前已有较多研究都证实了节奏异常可能是 DD 儿童的早期风险因素,并对其内在的作用机制进行了部分探讨,但是这些研究结果大多来自字母语言文字系统,而有关非字母语言文字系统的研究较少,尤其是汉语 DD 节奏异常的研究则更少。汉语 DD 儿童也表现出解码、阅读和书写障碍,尤其是书写障碍已被列入汉语 DD 的诊断标准(Cheng-Lai et al., 2013)。与字母语言强调书写形式的流畅性和连续性不同,汉语书写对笔画准确性要求更高(Alamargot et al., 2020; Lam et al., 2011)。比如汉字包含笔画的急转弯,需要频繁提笔(Tseng, 1998),而且连续汉字之间并没有像英语单词一样用于区分的空白,这些汉语独特差异是否会和字母语言一样通过节奏异常对 DD 儿童的文字阅读困难产生影响,及其作用机制如何都亟需深入探讨。因此,未来应该深入拓展对非字母语言文字系统中 DD 儿童的节奏异常特点对文字阅读困难影响的研究,也可考虑纳入婴幼儿早期绘画运动节奏测量,对个体早期书写活动中的节奏特点进行探索,进一步揭示两者因果关系,为更早地通过节奏异常识别 DD 风险儿童提供更广泛的实践和理论依据。

4.2 纵向追踪探究 DD 儿童节奏异常的个体差异

DD 多因素理论(Pennington, 2006)认为,DD 患者是一个异质性的群体,具有较强的个体差异,存在各种潜在的损伤模式(McArthur et al., 2013; Pennington et al., 2012),而且不同风险因素起作用的时机和大小也因人而异(Goswami et al., 2021),但目前有关 DD 儿童个体差异的研究还处于起步阶段。此外,尽管 DD 诊断和治疗方式各异,但众多研究一致表明,早期识别可以发现 DD 患病风险,适当干预可以帮助风险儿童克服风险迹象(Alonzo et al., 2020; Helland et al., 2021; Ladányi et al., 2020)。有关个体早期节奏能力发展的研究发现,婴儿期的节奏训练可以增强大脑听觉-运动耦合,这种耦合反过来又促进节奏能力发展(Cirelli et al., 2016)。根据 Goswami 等人(2003, 2021)的观点,从个体早期开始的纵向研究是找到导致 DD 风险因素的最佳方法。因此,有必要采用长期的追踪研究方式,深入探究节奏异常与 DD 儿童阅读困难之间的相互关系,发掘节奏影响人类语言与阅读发展的更深层机制,为设计更具针对性的早期识别和干预方案提供更充分的理论支持。

4.3 探索将节奏异常纳入基于最具预测性声学参数集的机器学习分类模型

正如前文所述,节奏常用分析指标为声音信号与神经振荡夹带的相位一致性程度。近期也有研究采用 EEG 记录的图像信息,使用复杂网络分析方法对 DD 儿童进行分类预测(Gallego-Molina et al., 2022; Martinez-Murcia et al., 2020; Ortiz et al., 2020; Rezvani et al., 2019)。交叉验证显示,在区分 DD 和 TD 儿童时相位-振幅耦合(Phase-Amplitude coupling,PAC)

显示出良好的分类准确性(Martinez-Murcia et al., 2020; Rezvani et al., 2019)。Smoller 等人(2019)认为,通过音乐节奏处理测量的计时技能受损,与其他已知和尚待确定的风险因素结合在一起,可以作为预测语言/言语障碍的风险因素集。例如,对儿童进行了一系列脑电图(EEG)实验,让他们听带有慢节奏韵律(0.5~1Hz)、音节(4~8Hz)或音素(12~40Hz)频率的调幅噪声,检测与 DD 相关的振荡采样感知差异。结果发现该方法有效识别 DD 的准确率为 80%(Martinez-Murcia et al., 2020)。Rezvani 等人(2019)使用 29 名 DD 儿童和 15 名 TD 儿童的脑电静息状态数据,利用相位滞后指数(Phase Lag Index, PLI)计算了多个频带的加权连通性矩阵,依据来自不同频段的局部网络特征,对儿童分类准确率达到 95%。目前,研究者们探究了不同状态和频段的语音声学参数对 DD 的预测准确性,但是涉及早于语言出现的节奏中最具预测性的声学参数尚不明晰,可考虑进一步细化节奏相关声学参数,用以印证行为特点,帮助非专业诊断人员识别 DD。另外,DD 研究还发现了男童和女童在发病率和发病时间上存在显著的性别差异(Berninger et al., 2008; Brandlistuen et al., 2021; Helland et al., 2021)。未来研究可探索节奏能力是否存在性别差异,如果有,可尝试将其纳入机器学习算法帮助 DD 自动识别建模。

4.4 注重早期节奏测量的适用性,提高生态效度

当前 DD 儿童节奏研究中使用的研究材料多是为突出节奏信息而专门设计的声音材料,信息组合和呈现方式都局限于实验室环境,不宜大范围推广。未来研究可以从节奏声音材料入手,选取更接近自然环境的真实声音作为实验刺激,如适合婴幼儿使用的童谣、儿歌中的节奏序列片段(Attaheri et al., 2022; Suppanen et al., 2019),提高研究结论和测量方式的生态效度。鉴于音乐和语言有着共享的神经加工机制,因此异常节奏感知也可以使用音乐节奏感知任务来测量,比如使用音乐节选测试节奏异同识别能力(Gordon, 2002)。一项最新研究中,Edalati 等人(2023)使用音乐序列转录任务(MSTT, musical sequence transcription task)在课堂环境中纵向评估了儿童二、三、五年级的节奏序列加工能力,在吸引和激励儿童积极参与实验的同时,还大大提高了研究方法和结果的可推广性。另外,MSTT 与文化无关,无论语言背景和识字能力如何,都可以进行测量。当然,节奏任务可以首先应用于学龄前儿童和学龄儿童的临床筛查。当有更多可靠的婴儿节律测试可用时,再扩展到婴儿筛查,以帮助非专业诊断人员,如家长、教师、社会工作人员等进行大范围初筛,然后再将具有节奏异常特点的儿童纳入专业测试和诊断,提高 DD 儿童识别率和诊断率,减少漏诊和误诊。

审稿人 1 意见： 建议发表

回应： 非常感谢审稿专家对文章的认可，并在之前两轮稿件审核中给出建设性的意见和建议，正是在这些修改意见的指导下，我们有机会查阅和补充更多相关文献，通过认真思考、梳理和讨论，不断修正和补充原稿中存在的逻辑漏洞和书写不足，使文章质量不断提高。

审稿人 3 意见：

感谢作者对我所提出问题和建议的仔细思考与认真修改，在结构和内容方面，我没有进一步建议。但是，请作者仔细通读全文，对文字表达进行润色，提高文章的可读性。

回应： 非常感谢审稿专家一直以来对文章的细心审核，并给出非常具有建设性的意见与建议。在持续地修稿过程中，结合审稿专家的意见和建议，我们不断地思考研究问题，厘清研究思路，对文章的核心问题进行不断讨论与深度分析，从观点论证到行文逻辑持续地完善和修改，使得文章质量大为提高。结合您对文章可读性方面的意见，我们已反复对文章进行阅读和校对，从行文措辞、标点符号、句式语法方面进行了仔细的校对和修改，以期更好地表达稿件内容，提高文章可读性。具体修改内容已在文中标为绿色。

编委 1 意见： 同意刊发

编委 2 意见： 建议发表

这篇稿子选题还是比较新颖，但写作上有一些需要改进。

回应： 非常感谢审稿专家对本综述选题的肯定，以及给予的建设性修改建议。根据您的建议，我们在引言部分新增了有关节奏与阅读关系相关的文献支持和论述，以突出综述想要探讨的“节奏异常的行为和神经特点是否可以作为 DD 儿童潜在早期识别标志”这一问题，引言中还对当前有关节奏异常可能是 DD 风险因素进行了论述，为下文梳理 DD 儿童节奏异常特点，论述其作为 DD 早期识别标志的可能性提供背景支持。

另外，根据另外两位审稿专家的意见，我们还对部分内容进行了调整和文献补充，使得文章整体更完整，逻辑更清晰。同时对文中涉及的专业术语进行了解释和说明，提高了文章的行文规范性和易读性。具体修改内容已在正文标红。

主编意见： 稿件经多位专家的审稿，作者的修改，已经达到了发表水平，同意发表。