

# 发展性阅读障碍的视听时间敏感性缺陷及其脑神经机制\*

阮怡君 刘翔平\*\*

(北京师范大学心理学部, 北京, 100875)

**摘要** 阅读是一个视听加工过程, 阅读障碍的产生可能是过程中视听时间敏感性缺陷的结果。视听时间敏感性指个体对视觉和听觉刺激出现时间的感知能力, 可通过同时性判断、时间顺序判断和视听整合考察。研究发现, 阅读障碍者在这一能力上表现出行为和脑层面异常。而这些研究多是拼音文字背景, 汉语文字下该领域研究相当少。未来需要丰富实验设计, 扩大对汉语背景下视听时间敏感性研究, 并以此开发干预手段, 为阅读障碍的机制和治疗提供借鉴。

**关键词** 发展性阅读障碍 视听时间敏感性 脑神经机制

## 1 引言

发展性阅读障碍 (developmental dyslexia, DD) 是词语再认正确率或流畅性有问题, 解码和拼写差于同龄人的一种特殊学习障碍, 不能被患者的智力、听视觉敏度、其他心理或神经障碍、缺乏专业的语言指导和教育所解释 (American Psychology Association, 2013)。拼音文字下, DD 患病率高达 4~9%, 严重危害患者学业和职业成功的获得 (Hasko, Groth, Bruder, Bartling, & Schulte-Körne, 2014), 对患者心理健康有重大影响 (Mugnaini, Lassi, La, & Albertini, 2009); 汉语文字下, 其发病率约为 5%~10% (黄晨, 赵婧, 2018)。

关于阅读障碍的机制, 研究结论不一。早期观点多聚焦于单通道缺陷, 以语音加工缺陷理论为多数研究者认可。其认为阅读障碍在言语信息表征、加工上有缺陷, 在阅读中不能很好知觉和驾驭语音结构, 导致单词识别困难, 阻碍更高级的阅读能力发展 (Ramus, 2003)。而阅读是视听加工整合过程, 要求学习和自动化形音的联结, 越来越多研究者认为阅读障碍是视听整合加工缺陷的反映, 不限于单通道 (Hahn, Foxe, & Molholm, 2014)。

基于视听加工缺陷提出的机制理论最典型的代表为形音捆绑缺陷理论, 其认为阅读是视、听通道信息交互影响的过程, 要求学习者将两个感觉输入统合, 产生一个感知经验, 阅读障碍则是在这一过程出现缺陷 (Talsma, Senkowski, Sotofaraco, & Woldorff, 2010)。形音捆绑缺陷作为阅读障碍的主要机制, 其潜在原因可能是更基本的视听加工过程缺陷。研究发现阅读障碍在视听加工中存在时间敏感性缺陷 (Francisco, Jesse, Groen, & McQueen, 2017)。视听时间敏感性 (audiovisual temporal sensitivity) 指个体对视、听刺激出现时间的感知能力 (Francisco, Jesse, Groen, & McQueen, 2014)。有研究者提出阅读障碍判断视听信息的时间有困难, 使其对词语的形音配对关系产生模糊性, 最终无法正常建构文本 (Wallace & Stevenson, 2014)。而相比拼音文字, 汉语有更强的视觉复杂性, 在正字法、语音和语义配对关系上更复杂 (Peng, Wang, Tao, & Sun, 2017), 是与字素或意义相映射的语标文字, 由笔画和部件组成的平面型结构, 需以整体为单位进行视觉加工, 无法从很多汉字上获得发音线索 (Li, Shu, McBride-Chang, Liu, & Xue, 2009), 视听时间敏感性跨文化差异是未来研究需验证的问题。

\* 本研究得到 2014 年度国家社会科学基金重大项目 (14ZDB157) 的资助。

\*\* 通讯作者: 刘翔平。E-mail: lxp599@163.com

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20190106

随着视听加工缺陷成为阅读障碍研究新趋势，近年以双通道角度对阅读障碍时间敏感性研究数量逐渐增多。拼音文字下，阅读障碍视听时间敏感性研究范式逐步成熟，得到许多有意义的结论；汉语文字下，该领域研究欠缺，汉字的语言学特性对双通道要求可能更高，因此，对已有该领域研究范式和现状梳理，利于未来进一步探索和创新，促进对DD机制和干预的新思考。

## 2 拼音文字下阅读障碍的视听时间敏感性

### 2.1 行为研究

常用来评估视听时间敏感性的范式有三种：同时性判断任务（simultaneity judgment task, SJT），要求判断视听刺激是否同时发生；时间顺序判断任务（temporal-order judgment task, TOJ），要求判断视听刺激出现的顺序（Francisco, Jesse, Groen, & McQueen, 2017）；视听整合任务，要求报告在不同时间间隔的视听刺激下感知到的融合刺激（McGurk & Macdonald, 1976）。

第一为同时性判断任务。研究发现人能容忍视听信号的不同步达几百毫秒，仍判断它们是同步的（van Wassenhove, Grant, & Poeppel, 2007），二者的时间间隔称同时性时间窗。同时性是决定跨通道事件被感知为一个多感觉事件还是两个不同事件的重要因素之一（Stein & Meredith, 1993）。在SJT中，会呈现不同时间间隔的视听刺激（stimulus onset asynchronies, SOAs），让被试判断是否同时（Mossbridge, Zweig, Grabowecky, & Suzuki, 2017）。不少研究证实阅读障碍有更宽的同时性时间窗，即其在视听刺激时间间隔较长时，仍感知二者同时发生。Francisco等（2014）对常人和阅读障碍SJT表现进行比较，采用刺激包括言语（音节）和非言语（拍手），结果障碍组在言语条件下有更宽的同时性时间窗，而非言语下，时间窗宽度与常人无异，说明他们只在言语刺激的视听时间敏感性上有缺陷。三年后，他们扩大样本量，纳入更多阅读障碍成人，仍使用SJT在言语及非言语刺激下测试视听时间敏感性，结果与之前不同（Francisco, Jesse, Groen, & McQueen, 2017）。新结果显示无论是言语或非言语刺激，障碍组在将不同步的视听信息感知为同时时都有更宽的时间窗，表明他们不仅在言语刺激上有视听时间敏感性缺陷，在更大范围的认知领域也普遍存在。同年，Francisco, Groen, Jesse和

McQueen（2017）还探究视听时间敏感性与阅读能力的关系，同样用SJT评估另一样本的阅读障碍和正常成人视听时间敏感性，结果在控制其他认知能力效应后，视听时间敏感性仍可独立解释阅读错误率的方差，揭示这一能力在阅读中的重要作用。SJT研究重点在个体对视听刺激同步性的主观感知能力，能准确得出个体对视听刺激的主观同时性点（point of subjective simultaneity, PSS）。

第二为时间顺序判断任务。研究发现，阅读障碍在判断听触觉、视触觉和视听觉刺激的时间顺序上有更宽的时间窗，即只有两个刺激的时间间隔较长时，其才能准确感知刺激的顺序。Laasonen, Service和Virsu（2002）让DD患者和常人完成TOJ任务，他们需判断视触觉，听触觉及视听觉条件下刺激呈现的顺序，结果无论何种组合，障碍组表现均更差，存在更宽的时间窗，说明其在跨通道刺激时间感知上有缺陷。随后的一些研究也支持了这一结果。如Hairston等（Hairston, Burdette, Flowers, Wood, & Wallace, 2005）给正常和阅读障碍成人呈现简单闪光和纯音作为刺激，让他们判断视觉刺激的呈现顺序，视听刺激配对以不同时间间隔呈现，结果障碍组需更大的时间间隔才能达74%的正确率。TOJ任务研究重点在个体对视听刺激的解离能力，相比SJT，其更易受个体反应策略的影响。

第三为视听整合任务。视听整合能力指个体将同时或一定时间差内的视听信息整合成单一感知的能力（Francisco, Jesse, Groen & McQueen, 2017），能被整合成单一感知的视听信息的时间间隔称整合时间窗（Dean et al., 2017），该时间窗在不同个体之间不同（Noel & Wallace, 2016）。一种常用来评估视听整合能力的方法为McGurk效应检测范式（McGurk & Macdonald, 1976）。其本质是通过与听觉不一致的视觉线索，使听觉感知改变，产生融合错觉，如当视觉呈现软腭音/aka/，听觉呈现双唇音/apa/，通常有正常听力的被试会报告听到齿槽音/ata/。Stevenson, Zemtsov, 和Wallace（2012）用这一范式进行研究发现整合时间窗和顺序时间窗之间有关联。他们探索了常人解离视听线索的能力与整合时间窗的关系，发现那些有更窄时间窗的个体在解离不同时声音一闪光上表现更好，说明整合时间窗大小会影响对视听刺激顺序的感知。根据这一结果，结合阅读障碍在时间顺序感知上的缺陷，可推测他们可能有更宽的整合时间窗。视听整合任务研究重点在个体整合

视听刺激的准确性能力,与前两者比,其更关注个体对不同时刺激的感知结果,非过程。

上述认知研究发现时间窗是时间敏感性的重要指标,一些针对常人的时间敏感性研究发现时间窗有可塑性,训练可缩小其宽度。Powers, Hillock 和 Wallace (2009) 用有反馈的 SJT 对常人进行训练,过程中需判断不同时的闪光和音调是否同步,电脑会给出正确与否的反馈,训练前后评估被试同时性时间窗宽度,结果训练显著缩小时间窗宽度,约缩小 40%,说明视听时间敏感性有高度灵活性,研究者认为这一结果对阅读障碍临床干预有重要启示,因为他们的多感觉时间功能受损。Dean 等 (2017) 用 TOJ 任务,让常人判断不同时闪光和打击声的顺序,被试需在判断过程中对快速额外呈现的视听刺激序列的目标刺激反应,以探讨增加注意力这一认知负载是否会影响 TOJ 任务的表现,结果认知负载提高时,TOJ 任务表现更差,表明注意力和视听时间敏感性相互影响;由于 DD 与视听时间加工及注意功能的改变相关,因此研究者提出该结果对 DD 的干预有重要借鉴,结合时间敏感性和注意力控制训练对其有更好的效果。

常人的训练研究为从视听时间敏感性角度对阅读障碍进行干预提供重要借鉴,然而,直接对阅读障碍进行视听时间敏感性干预的研究还很鲜有。一些针对听觉时间敏感性的干预研究发现,训练后障碍者时间敏感性改善,阅读相关任务表现提高。如 Fostick 等 (Fostick, Eshcoly, Shtibelman, Nehemia, & Levi, 2014) 用听觉 TOJ 训练对成人阅读障碍进行干预,比较干预前后语音意识任务的表现,发现接受训练的被试时间窗阈值显著降低,语音意识任务分数显著增高,说明时间敏感性干预的有效性及其与语音意识的关系;Habib 等 (2002) 也用了听觉 TOJ 任务对阅读障碍儿童进行干预,也发现训练后,他们的语音意识任务表现改善。Murphy 和 Schochat (2010) 设计程序对阅读障碍儿童时间顺序感知技能进行训练,结果提高了他们对不同时的听觉刺激顺序的判断,说明时间敏感性通过训练能很好提高。鉴于证据支持阅读障碍有视听时间敏感性缺陷,对其进行相关训练,缩小时间窗宽度,对于症状改善可能有重大潜能,待研究证实。

## 2.2 脑神经生理研究

随着功能磁共振成像 (functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)、脑电图 (Electroencephalogram,

EEG) 和事件相关电位 (Event-Related Potential, ERP) 等技术的兴起,探索视听时间敏感性的脑机能定位成为可能。以往研究发现,视听时间加工主要由后颞上沟 (posterior Superior Temporal Sulcus, pSTS) 及周围皮层负责,pSTS 位于枕叶 (负责视觉加工) 和颞叶皮层 (负责听觉加工) 连接处,接收视听皮层区域的刺激输入并整合 (Wallace & Stevenson, 2014)。研究证实阅读障碍在视听加工中,颞上沟 (STS) 激活异常。如 Rüsseler 等 (Rüsseler, Zheng, Gerth, Szycik, & Münte, 2018) 用 fMRI 考察阅读障碍和一般人视听言语感知脑差异,实验呈现给被试一致或不一致的视听刺激对,结果障碍组在视听言语感知中一些脑区激活模式与常人不同,包括 STS 等;Blau 等 (2010) 的研究也给被试呈现视听刺激对,同时进行 fMRI 扫描,探索阅读障碍视听整合学习和自动化相关脑区,结果也发现他们的 STS 有激活异常。

基于常人的 fMRI 研究支持 STS 在视听时间敏感性的作用。一研究让常人感知不同时视听刺激并进行 fMRI 扫描,发现在感知不同时刺激时,STS 皮层出现激活 (Stevenson, Altieri, Kim, Pisoni, & James, 2010); Powers, Hevey 和 Wallace (2012) 让被试完成视听 SJT 训练,训练前后进行 fMRI 扫描,发现训练缩小同时性时间窗,且 pSTS 在静息态下激活增加。综上,阅读障碍 STS 有激活异常,而 STS 对视听时间敏感性有重要作用,可能视听时间敏感性缺陷深层生理机制为 STS 激活异常。

脑电研究发现阅读障碍视听时间敏感性缺陷有对应的脑电诱发异常。一项对拼音文字下视听整合研究的综述提出,阅读障碍在视听整合中,失匹配负波 (mismatch negativity, MMN) 和晚期识别负波 (late discriminatory negativity, LDN) 存在诱发异常,导致视听整合能力缺陷 (杨滢晖, 毕鸿燕, 2016)。Froyen, Willems 和 Blomert (2011) 用 ERP 探索阅读障碍儿童视听加工中的脑电,研究含三种条件:呈现发音、同时呈现发音和字母、发音和字母间隔呈现。结果常人在呈现视听刺激时会诱发 MMN 和 LDN,而障碍者在同时或不同时下均未诱发这两种波,说明其字母-发音自动化整合缺失,可能与其时间感知能力缺陷相关。Mossbridge 等 (2017) 用 EEG 对常人在 SJT 中脑电诱发情况及与阅读的关系进行探索,发现左前额听觉稳定状态所反映的脑电成分 (auditory steady-state response, ASSR) 与同时性时



间加工及阅读有重要关系。研究显示当 ASSR 敏感性越强, 视听时间敏感性也越强, 且阅读理解的表现也更好, 说明视听时间敏感性对阅读的重要作用及可能的脑电机制。Mossbridge 等认为, 阅读理解包含多个感知和认知过程, 如词语解码、语义通达、工作记忆和语义整合, 而视听同步加工可能主要作用于词语解码中, 因为需同步语音和字素代表物。此外, 视听时间敏感性也会通过对视听同步线索的解码对语义通达和工作记忆起作用, 因为这些线索可用于语义提取且可能增强工作记忆机制的活动。

当前对视听时间敏感性脑神经机制研究主要用 SJT 或同时性感知任务, 可能因为比另两种范式, SJT 更易完成, 复杂性低, 适于脑研究。未来可结合另两种范式和脑技术进行实验, 也许可在视听时间敏感性的脑神经机制上取得新突破。

### 3 汉语文字下阅读障碍的视听时间敏感性

汉语是以字为基本单元的语言, 阅读过程较特殊, 与拼音文字有区别 (Li et al., 2009)。虽然许多汉字是由声旁和形旁构成的合成字, 但数据显示低于 50% 的汉字读音与其声旁一致 (Peng et al., 2017), 汉语中有许多同音异形异义字, 无法根据语音准确判断语义 (Chou, Chen, Fan, Chen, & Booth, 2009)。汉字属典型的意音文字, 拼音文字属表音文字, 二者在知觉加工中存在较多差异。语义和语音是文字加工的两项重要环节, 张积家, 王娟和刘鸣 (2011) 提出符号的外形特征决定其通达语义的难易: 若外形具体形象, 由形达义的程度就强, 分类就快; 若外形概况抽象, 如英文, 由形达义的程度就弱, 分类就慢。而符号记录语言的方式决定其可读性: 若语音和字形直接对应, 如英文, 直读性就强, 命名就快; 若符号不直接记录语言的读音, 直读性就弱, 命名就慢。此外, 汉字的形音配对存在强制和随意性, 对学习者的视听整合能力要求更高 (戴莉, 刘翔平, 2017), 可能需具备更敏锐的视听时间敏感性。

近来一研究证实汉语阅读障碍也有视听时间敏感性缺陷。该研究由 Chen 等进行, 对象为汉语阅读障碍和正常儿童, 用 TOJ 任务, 让被试在听觉刺激加入后判断视觉图形的顺序, 包含三种条件: 匹配和不匹配的视听刺激组合、仅视觉刺激, 结果障碍组在视听刺激组合下, 任务表现更差 (Chen, Zhang, Ai, Xie, & Meng, 2016), 支持汉语阅读障碍存在视听时间敏感性缺陷。一些研究考察汉语阅读障碍单通

道时间敏感性。Chung 等 (2008) 对汉语 DD 儿童实施单通道视听觉 TOJ 任务, 发现障碍组在两个任务表现均更差, 说明其单通道时间敏感性差于常人。Wang 和 Yang (2016) 在一大样本研究中揭示了时间敏感性和汉字阅读有关。他们纳入 1~6 年级儿童, 其中一半为汉语阅读障碍, 用视听觉单通道 TOJ 任务考察时间敏感性, 结果 1~2 年级障碍组在两项任务表现均更差, 3~4 年级障碍组在视觉任务表现更差, 5~6 年级两组在两个任务不存在差异, 说明时间敏感性缺陷与阅读障碍相关, 但受年龄调节。当前还没研究对单、双通道时间敏感性在阅读障碍上的作用进行比较, 二者的关系需研究进一步探索。

形音捆绑缺陷是汉语阅读障碍的一个重要原因 (蔡妍, 刘翔平, 谭雅倩, 2017), 如一研究让汉语阅读障碍儿童进行配对联想学习任务测试, 发现障碍组在形 - 音配对上表现显著差于正常组 (Li et al., 2009); 刘翔平等 (刘翔平, 候典牧, 杨双, 杜雯翀, 2004) 对汉语阅读障碍儿童形 - 音和形 - 义通道联结能力特点进行探讨, 结果障碍组在两种联结的长时记忆上都有不同程度的落后。已有研究提出阅读障碍在判断视听信息的时间上有困难, 使语音和字素的配对关系产生模糊性, 最终无法正常建构文本 (Wallace & Stevenson, 2014); 形音的充分捆绑需在一个很窄的视听时间窗发生, 加宽的时间窗会使捆绑无法建立 (Froyen, van Atteveldt, Bonte, & Blomert, 2008)。因此, 可推测汉语阅读障碍的产生与视听时间敏感性可能有更主要的关系, 跨通道研究是今后一个重要方向。

对比两种语言研究发现, 阅读障碍都表现出视听时间敏感性缺陷。当前汉语阅读障碍该领域研究极少, 需更多实验明确其视听时间敏感性的特殊性。从两种文字的差异看, 汉字具有形音强制捆绑记忆等特性, 形音正确捆绑需在一个很小的时间窗, 因而汉语对视听整合要求可能更高, 可能需更强的视听时间敏感性。这提示着汉语阅读障碍视听时间缺陷可能更明显, 对阅读能力习得的负面影响可能更大。

### 4 分析与展望

综上, 研究表明, DD 存在视听时间敏感性缺陷, 且与阅读能力落后相关。良好阅读能力获得需识字阶段对形音有正确的捆绑, 而阅读障碍的更基础的视听时间敏感性缺陷可能使这一捆绑无法建立。对阅读障碍的筛选多基于个体字词识别的表现, 如

汉语阅读障碍筛选常用的识字量测试等(王孝玲, 1996), 说明字词识别对阅读的重要作用。已有研究者提出正由于阅读障碍判断视听时间信息有困难, 使对形音配对关系产生模糊性, 无法正常建构文本(Wallace & Stevenson, 2014)。此外, 阅读障碍视听时间窗较常人宽, 加宽的时间窗会使形音捆绑无法建立, 出现阅读困难(Froyen et al., 2008)。Mossbridge 等(2017)也提出词语解码作为阅读的一项重要认知过程, 是视听时间敏感性作用的主要阶段。因此, 视听时间敏感性缺陷可能作用于识字阶段的形音捆绑, 使视听信息无法正确整合, 导致后期阅读障碍的形成。

当前研究仍有待完善之处, 如: 研究范式测量内容单一、相关实验性研究不足等, 未来可从以下几点出发, 进行系统研究。

第一, 加强汉语阅读障碍视听时间敏感性研究, 明确其与形音捆绑的关系。目前, 该领域研究多在拼音文字下进行, 汉语研究较薄弱, 汉语具有强制捆绑并自动化形音配对关系的特征, 要求将单通道的形音整合成统一体(戴莉, 刘翔平, 2017), 可推测汉语对视听时间敏感性要求可能更高。未来加强该领域本土化研究有必要。

第二, 开展结合视听时间敏感性范式的脑机制研究, 明确该能力差异在生理层面的体现。研究发现, 汉语比拼音文字加工涉及更多脑区, 包括右枕中回、枕下回和梭状回(Cao, Tao, Liu, Perfetti, & Booth, 2013)。未来可结合脑技术探索阅读障碍视听时间敏感性的生理机制, 明确起作用的脑区或脑区间的联结网络, 比较两种语言差异。

第三, 控制实验材料, 区分难易度, 探索不同难度材料的影响。研究指出, 在 McGurk 效应检测范式中, 视觉刺激难易不同, 得出的反应结果不同, 当刺激容易识别时, 障碍者在 McGurk 效应上的表现与常人无异(Leybaert et al., 2014)。未来可针对刺激特性设计实验探讨其对视听时间敏感性的作用。

第四, 设计对比实验探究单双通道时间敏感性的关系及对阅读的作用。研究发现, 阅读障碍在视听通道的时间敏感性任务中表现差于常人(Chung et al., 2008), 还未有研究对比单、双通道时间敏感性, 二者关系及在阅读障碍中所起作用尚不明确。未来可对此探讨, 明确时间敏感性缺陷的通道本质。

第五, 针对阅读障碍视听时间敏感性开发干预手段, 探讨效果。对视听时间加工的综述指出, 视

听时间窗有可塑性, 训练可缩小其宽度, 提高其它认知能力(Hahn et al., 2014)。未来可根据视听时间敏感性缺陷的特点, 结合跨语言特性, 设计有针对性的干预, 考察效果, 为阅读障碍治疗提供借鉴。

## 参考文献

- 蔡妍, 刘翔平, 谭雅倩. (2017). 汉语发展性阅读障碍儿童的形—音捆绑能力: 研究背景与现状. *中国特殊教育*, 9, 50–55.
- 戴莉, 刘翔平. (2017). 阅读障碍儿童的形音捆绑缺陷及其脑神经机制. *心理科学*, 40(1), 124–128.
- 黄晨, 赵婧. (2018). 发展性阅读障碍的视觉空间注意加工能力. *心理科学进展*, 26(1), 72–80.
- 刘翔平, 侯典牧, 杨双, 杜雯琳. (2004). 阅读障碍儿童汉字认知特点研究. *心理发展与教育*, 20(2), 7–11.
- 王孝玲. (1996). *小学生识字量测试题库及评价量表*. 上海: 上海教育出版社.
- 杨滢晖, 毕鸿燕. (2016). 中文发展性阅读障碍的视听整合能力研究. *当代语言学*, 18(4), 581–591.
- 张积家, 王娟, 刘鸣. (2011). 英文词、汉字词、早期文字和图画的认知加工比较. *心理学报*, 43(4), 347–363.
- American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders, 5th Edition: DSM-5*. Arlington VA: American Psychiatric Association.
- Blau, V., Reithler, J., van Atteveldt, N., Seitz, J., Gerretsen, P., Goebel, R., & Blomert, L. (2010). Deviant processing of letters and speech sounds as proximate cause of reading failure: A functional magnetic resonance imaging study of dyslexic children. *Brain*, 133(3), 868–879.
- Cao, F., Tao, R., Liu, L., Perfetti, C. A., & Booth, J. R. (2013). High proficiency in a second language is characterized by greater involvement of the first language network: Evidence from Chinese learners of English. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 25(10), 1649–1663.
- Chen, L. H., Zhang, M. L., Ai, F., Xie, W. Y., & Meng, X. Z. (2016). Crossmodal synesthetic congruency improves visual timing in dyslexic children. *Research Developmental Disabilities*, 55, 14–26.
- Chou, T. L., Chen, C. W., Fan, L. Y., Chen, S. Y., & Booth, J. R. (2009). Testing for a cultural influence on reading for meaning in the developing brain: The neural basis of semantic processing in Chinese Children. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 27.
- Chung, K. K. H., McBride-Chang, C., Wong, S. W. L., Cheung, H., Penney, T. B., & Ho, S. H. (2008). The role of visual and auditory temporal processing for Chinese children with developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 58(1), 15–35.
- Dean, C. L., Eggleston, B. A., Gibney, K. D., Aligbe, E., Blackwell, M., & Kwakye, L. D. (2017). Auditory and visual distractors disrupt multisensory temporal acuity in the crossmodal temporal order judgment task. *PLoS ONE*, 12(7), e0179564.
- Stein, B. E., & Meredith, M. A. (1993). *The merging of the senses*. Cambridge MA: MIT Press.
- Fostick, L., Eshcoly, R., Shtibelman, H., Nehemia, R., & Levi, H. (2014). Efficacy of temporal processing training to improve phonological awareness among dyslexic and normal reading students. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 40(5), 1799–1807.
- Francisco, A. A., Groen, M. A., Jesse, A., & McQueen, J. M. (2017). Beyond the

- usual cognitive suspects: The importance of speechreading and audiovisual temporal sensitivity in reading ability. *Learning and Individual Differences*, 54, 60–72.
- Francisco, A. A., Jesse, A., Groen, M. A., & McQueen, J. M. (2017). A general audiovisual temporal processing deficit in adult readers with dyslexia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(1), 144–158.
- Froyen, D., van Atteveldt, N., Bonte, M., & Blomert, L. (2008). Cross-modal enhancement of the MMN to speech-sounds indicates early and automatic integration of letters and speech-sounds. *Neuroscience Letters*, 430(1), 23–28.
- Froyen, D., Willems, G., & Blomert, L. (2011). Evidence for a specific cross-modal association deficit in dyslexia: An electrophysiological study of letter-speech sound processing. *Developmental Science*, 14(4), 635–648.
- Habib, M., Rey, V., Daffaure, V., Camps, R., Espesser, R., & Joly-Pottuz, B., & Démonet, J. F. (2002). Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: A three-step pilot investigation. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 37(3), 289–308.
- Hahn, N., Foxe, J. J., & Molholm, S. (2014). Impairments of multisensory integration and cross-sensory learning as pathways to dyslexia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 47, 384–392.
- Hairston, W. D., Burdette, J. H., Flowers, D. L., Wood, F. B., & Wallace, M. T. (2005). Altered temporal profile of visual-auditory multisensory interactions in dyslexia. *Experimental Brain Research*, 166(3–4), 474–480.
- Hasko, S., Groth, K., Bruder, J., Bartling, J., & Schulte-Körne, G. (2014). What does the brain of children with developmental dyslexia tell us about reading improvement? ERP evidence from an intervention study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 441.
- Laasonen, M., Service, E., & Virsu, V. (2002). Crossmodal temporal order and processing acuity in developmentally dyslexic young adults. *Brain and Language*, 80(3), 340–354.
- Leybaert, J., Macchi, L., Huyse, A., Champoux, F., Bayard, C., Colin, C., & Berthommier, F. (2014). Atypical audio-visual speech perception and McGurk effects in children with specific language impairment. *Frontiers in Psychology*, 5, 422.
- Li, H., Shu, H., McBride-Chang, C., Liu, H. Y., & Xue, J. (2009). Paired associate learning in Chinese children with dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103(2), 135–151.
- McGurk, H., & Macdonald, J. (1976). Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264(5588), 746–748.
- Mossbridge, J., Zweig, J., Grabowecy, M., & Suzuki, S. (2017). An association between auditory-visual synchrony processing and reading comprehension: Behavioral and electrophysiological evidence. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(3), 435–447.
- Mugnaini, D., Lassi, S., La, M. G., & Albertini, G. (2009). Internalizing correlates of dyslexia. *World Journal of Pediatrics*, 5(4), 255–264.
- Murphy, C. F., & Schochat, E. (2010). Generalization of temporal order detection skill learning: Two experimental studies of children with dyslexia. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 43(4), 359–366.
- Noel, J. P., & Wallace, M. (2016). Relative contributions of visual and auditory spatial representations to tactile localization. *Neuropsychologia*, 82, 84–90.
- Peng, P., Wang, C. C., Tao, S., & Sun, C. Y. (2017). The deficit profiles of Chinese children with reading difficulties: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 29(3), 513–564.
- Powers, A. R., Hevey, M. A., & Wallace, M. T. (2012). Neural correlates of multisensory perceptual learning. *Journal of Neuroscience*, 32(18), 6263–6274.
- Powers, A. R., Hillock, A. R., & Wallace, M. T. (2009). Perceptual training narrows the temporal window of multisensory binding. *Journal of Neuroscience*, 29(39), 12265–12274.
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 212–218.
- Rüsseler, J., Zheng, Y., Gerth, I., Szycik, G. R., & Münte, T. F. (2018). Audio-visual speech perception in adult readers with dyslexia: An fMRI study. *Brain Imaging and Behavior*, 12(2), 357–368.
- Shu, H. (2003). Chinese writing system and learning to read. *International Journal of Psychology*, 38(5), 274–285.
- Stevenson, R. A., Altieri, N. A., Kim, S., Pisoni, D. B., & James, T. W. (2010). Neural processing of asynchronous audiovisual speech perception. *NeuroImage*, 49(4), 3308–3318.
- Stevenson, R. A., Zemtsov, R. K., & Wallace, M. T. (2012). Individual differences in the multisensory temporal binding window predict susceptibility to audiovisual illusions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(6), 1517–1529.
- Talsma, D., Senkowski, D., Soto-Faraco, S., & Woldorff, M. G. (2010). The multifaceted interplay between attention and multisensory integration. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(9), 400–410.
- van Wassenhove, V., Grant, K. W., & Poeppel, D. (2007). Temporal window of integration in auditory-visual speech perception. *Neuropsychologia*, 45(3), 598–607.
- Wallace, M. T., & Stevenson, R. A. (2014). The construct of the multisensory temporal binding window and its dysregulation in developmental disabilities. *Neuropsychologia*, 64, 105–123.
- Wang, L. C., & Yang, H. M. (2016). Temporal processing development in Chinese primary school-aged children with dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 51(3), 302–312.

# Audiovisual Temporal Sensitivity Deficits and its Brain Mechanism in Developmental Dyslexia

*Ruan Yijun, Liu Xiangping*

(Faculty of Psychology, Beijing Normal University, Beijing, 100875)

**Abstract** Developmental dyslexia refers to a pattern of specific learning difficulty characterized by problems with accurate or fluent word recognition, and it cannot be explained by the patients' intelligence and inadequate education. As for the cognitive mechanism of dyslexia, there is still no clear conclusion in current studies. Among them, phonological deficit theory is most accepted by researchers. It puts forward that dyslexia is the result of impaired auditory modality. However, reading is a process that not only needs auditory modality, but also visual modality. It requires learning the binding of graphemes and phonemes automatically. Nowadays, more and more researchers found that reading impairment is the reflection of audiovisual integration deficit. The most typical theory based on cross-modality processing deficit is the graphemes-phonemes binding theory. It raises that dyslexia readers cannot integrate visual and auditory inputs into units, which results in reading difficulties. Graphemes-phonemes binding deficit is one of the most important performance of dyslexia. Its potential mechanism is perhaps due to deficit in more basic audiovisual cognitive process. A series of research find that dyslexia readers have audiovisual temporal sensitivity deficit during audiovisual processing. Audiovisual temporal sensitivity means the sensing capability one perceives the onset time between visual stimulus and auditory stimulus. Some researchers put forward that because dyslexia readers have difficulty in judging timing about audiovisual information, so that they have ambiguities in pairing the relationship between graphemes and phonemes and therefore are unable to construct text normally. Audiovisual temporal sensitivity can be explored through three types of task: the first one is simultaneity judgment task, which requires subjects to judge if the audiovisual stimulus are happening simultaneously; The second one is temporal-order judgment task, which needs subjects to judge the order between auditory and visual stimulus; The last one is audiovisual integration task, which asks participants to report their perceived fusion stimulus under synchronous or asynchronous audiovisual stimulus. Timing window is the main index of audiovisual temporal sensitivity. It means the time span between two different onset stimuli. Many studies using these tasks to explore audiovisual temporal sensitivity prove that compared with typical readers, people with developmental dyslexia show deficits in audiovisual temporal sensitivity, and their timing window is wider than typical readers. Adequate binding between graphemes and phonemes needs to occur in a narrow timing window, and a broad audiovisual timing window results in an unsuccessful construct of such binding, and finally leads to dyslexia. Some intervention studies found that the timing window has plasticity in healthy people and the span of timing window can narrow after training. Therefore, training audiovisual temporal sensitivity of dyslexia readers and narrowing their timing window may have great potentials in improving dyslexia symptoms. Some neuropsychological studies find that the brain region working in the audiovisual timing processing is located in posterior Superior Temporal Sulcus(pSTS), which receives signals from visual cortex and auditory cortex and integrate these signals. Compared with typical readers, the activation of pSTS in dyslexia readers is abnormal. Also, some Electroencephalogram studies find that Mismatch Negativity (MMN) and Late Discriminatory Negativity (LDN) evoke abnormally in dyslexia readers and it relates to their audiovisual temporal sensitivity deficit. In conclusion, many studies have evidenced that people with developmental dyslexia show deficits in audiovisual temporal sensitivity not only at the behavior level, but also at the neuropsychological level. However, most of such studies are conducted under the context of alphabetic language. Future studies need to improve the experimental design, enlarge the study about audiovisual temporal sensitivity in the context of Chinese, and develop interventions based on temporal sensitivity, so as to provide references about the core mechanism and clinical treatment for dyslexia.

**Key words** developmental dyslexia, audiovisual temporal sensitivity, brain mechanism