PIBB 生物化学与生物物理进展
*Progress in Biochemistry and Biophysics*
2022,49(9):1672~1686
www.pibb.ac.cn

# 音乐训练影响儿童语音意识的认知神经机制*

刘逸姝[1,2,3,4] 刘 曦[5] 张子健[1,2] 傅小兰[1,2] 刘 烨[1,2)**]

([1] 中国科学院心理研究所，脑与认知科学国家重点实验室，北京 100101；[2] 中国科学院大学心理学系，北京 100049；[3] 如皋市乐美幼儿园，南通 226500；[4] 如皋市安定小学，南通 226500；[5] 南京师范大学泰州学院音乐学院，泰州 225300）

**摘要** 音乐是一种听觉艺术形式，在儿童教育和发展中，尤其是语言能力发展中扮演着重要角色。语音意识是个体感知识别、分析和运用语音的能力，是预测儿童语言读写能力的重要指标。本文梳理了近十年来音乐训练影响儿童语音意识的研究证据，并讨论了音乐训练可能促进语音意识的神经基础和解释模型。大量研究表明，音乐训练可以在行为水平提高儿童在语音意识测量任务上的成绩。此外，音乐训练从两方面影响语音加工的神经基础：一方面通过影响皮层下基本听觉神经通路与大脑听觉皮层，促进儿童前注意水平的语音感知能力；另一方面通过影响语音加工大脑区域间的功能连接，促进语音编码，强化语音加工的听觉-运动整合功能。相关神经机制为音乐训练促进儿童的语音意识提供了生物学基础。基于已有研究，本文提出综合的层级模型对音乐训练影响儿童语音意识的认知神经机制进行系统的解释，该模型认为音乐训练影响语音意识的认知神经机制分为3个层级：第一层级，音乐训练通过影响基本听觉神经通路促进了语音的基本听觉加工，其中节奏训练促进对语音时长信息的感知，音高训练促进对语音频率信息的感知；第二层级，音乐训练通过影响语音加工的神经网络，进一步促进语音编码，其中节奏训练主要促进辅音、韵脚和音节的识别和编码，音高训练促进元音、韵脚和音节的识别和编码；第三层级，音乐训练通过增强听觉与运动脑区之间的信息整合，增强语音运动表征，以及听觉-运动整合能力，进一步提高了语音表征的质量。该领域的研究不但可以揭示人类语言发展的认知神经机制，而且在儿童教育领域具有非常重要的现实意义和应用价值。

**关键词** 儿童，音乐训练，语音意识，语音感知
**中图分类号** B844.1 **DOI**：10.16476/j.pibb.2021.0392

音乐作为人类表达和交流的一种方式和艺术门类，涵盖了社会生活的方方面面。人类在进化出具有语法的语言之前或许就已经开始歌唱，因此被哲学家卢梭称为“人类的第一种语言”。音乐和语言都使用相同的声学线索（即音高、时长和音色）来传达意义，都依靠系统的声音符号表征，将感知上离散的元素按照某种规律和原则组织成有层次结构的、连贯的序列[1]。音乐和语言的加工都需要类似的基本认知过程，例如分析性倾听、选择性注意和听觉记忆[2]。由于这些共性，音乐能力被认为可能与语音能力存在相关性。大量研究的确发现儿童对音乐节奏和音高的感知、再现能力与语音感知和加工能力存在相关[3-9]。患有发展性阅读障碍（developmental dyslexia，DD）的儿童存在音乐节拍感知缺陷，节拍感知能力更差[10-11]，且有很大可能同时存在音高缺陷[12]。上述研究发现为通过音乐训练促进儿童的语音加工能力提供了可能。

语音意识（phonological awareness）作为一种语音加工能力[13]，是个体感知识别和操作运用语音的能力，包括个体感知口语中声音结构的敏感性和知觉能力[14-15]，以及从语音流中识别出单词，并对单词中的音节、押韵、音素等语音成分进行感知识别、分割、合成等认知加工的能力[14-18]。语音意识被认为是学龄前儿童和学龄儿童未来阅读能力的关键预测因素，也是发展性阅读障碍的核心预

* 国家自然科学基金（61632004，61773379，61621136001）和国家社会科学基金（19ZDA363）资助项目。
** 通讯联系人。
Tel：010-64847125，E-mail：liuye@psych.ac.cn
收稿日期：2021-12-16，接受日期：2022-02-14

测因素[13，19]。因此，儿童语音意识发展和干预的研究对于语言发展和教育具有重要的理论意义和实践价值。

大量纵向对照组研究将儿童分为音乐训练组和对照组（绘画训练、体育训练等），音乐训练以音乐课堂教学的方式开展，结果发现相对于对照组儿童，音乐训练组儿童的语音意识有显著提高[14，18，20-27]。但是，也有部分研究没有发现音乐训练的干预效果[28-31]。

尽管音乐训练对语音意识的促进作用尚有争议，但是音乐训练在促进儿童语言发展方面仍具有潜在的巨大价值。目前很多国家已经开发了完善而有效的儿童语音意识培训课程，然而在开展语音训练前，儿童需要具备一定的语言熟练程度，才能保证语音训练的有效性，有语音加工缺陷的儿童在语音意识训练后往往达不到与正常发展儿童相同的语音意识水平[29]。因此，语音训练课程不一定适用于语言技能较弱的儿童，而音乐训练作为一种非语言干预方式，没有语音技能的要求，且更容易被年龄小的儿童接受，有可能成为一种更有效地增强儿童语音意识的方法[18]。

本文梳理了近十年内音乐训练影响儿童语音意识的实验证据，并讨论了可能影响研究结果的部分调节因素，以及音乐训练影响儿童语音意识的神经基础和解释模型，最后对未来的研究前景进行展望。音乐训练影响儿童语音意识的认知神经机制的相关研究不但可以揭示人类语言发展的认知神经机制，而且也将为使用音乐训练辅助语言教学、语言康复的实践活动提供理论依据和指导。

## 1　音乐训练影响儿童语音意识的行为研究证据

近十年来，研究者探索了音乐训练对儿童语音意识的影响，其中大部分研究表明音乐训练可以在行为水平提升儿童完成语音意识任务的绩效，促进儿童语音意识，但是也有个别研究没有发现音乐训练对儿童语音意识的促进作用。

### 1.1　音乐训练促进儿童语音意识的行为研究

语音是一种复杂、时变的信号，由不同的声学和语音单元组成，因此，语音意识可以根据语音单元的大小分为词汇水平的大单元语音意识和音素水平的小单元语音意识[18]。在汉语中，声调也作为语音单元被加工，因此汉语语音意识还包括声调意识[32]。以往行为研究中，测量语音意识的任务根据对语音认知加工的不同，可以分为分析任务和操作任务。分析任务主要测量儿童对语音单元的感知识别能力，操作任务主要测量儿童对语音单元的操作运用能力。针对不同语音单元和声调，测量语音意识的任务大致可以分为5类：测量大单元语音意识的分析任务与操作任务、测量小单元语音意识的分析任务与操作任务，以及测量声调意识的分析任务。以往相关研究中常用的语音意识任务、研究举例和任务示例见表1。

音乐训练影响儿童语音意识的行为研究分为横断对比研究和纵向追踪研究。横断对比研究发现，经常参加非正式家庭音乐活动的3~4岁儿童[7]，以及接受过器乐训练的5~6岁[33-34]、10岁左右[35]、11~15岁[36]儿童的语音意识显著高于未接受音乐训练的同年龄组儿童。然而横断对比研究无法排除先天因素的影响，因此大多数研究采用纵向追踪研究来考察音乐训练对儿童语音意识的影响。

11项纵向追踪研究发现，音乐训练增强了3~6岁正常学龄前儿童[14，18，20，22-27]，以及8~10岁患有发展性阅读障碍的学龄儿童[21，37]的语音意识。这11项纵向追踪研究涉及的语言有葡萄牙语[25]、德语[14，18，22]、芬兰语[23]、法语[26]、意大利语[21，37]、斯洛文尼亚语[27]、汉语[20，24]为母语儿童的语音意识，以及移民德国儿童的第二语言德语语音意识[18]。这些研究中的音乐训练可以分为节奏训练和音高训练，其中，节奏训练包括音乐节奏的学习（例如，认识节奏音符、用节拍音节ta-ta-ti唱节拍）、打击乐演奏（例如击鼓练习）、身体跟随音乐节拍做动作（即律动）等，音高训练包括唱歌、音符学习、高音和低音的辨别练习、固定音高乐器的演奏（钢琴、小钟琴）等。其中，部分音乐训练任务可能同时包含节奏和音高训练，难以绝对区分两种训练内容（如唱歌）。本文将这11项研究的参加音乐训练的儿童年龄和人数、音乐累计训练时长、音乐训练内容、音乐训练类型、语音意识测量任务、音乐干预效果进行了梳理（表2）。

**Table 1 Typical tasks to measure phonological awareness**

**表1 测量语音意识的常用任务**

| 语音成分 | 任务类型 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 分析任务（感知识别） | | 操作任务（操作运用） | |
| | 任务名称 | 示例 | 任务名称 | 示例 |
| 大单元语音意识 | 音节计数[18] | le-mon拍两下手，te-le-phone拍三下手 | 音节分割[25] | 将/galo/分割成/ga/和/lo/ |
| | 押韵探测[14] | 判断rain和train是否押韵 | 音节合成[25] | 将/ba/-/li/-/za/合成/baliza/ |
| | 押韵命名[18, 28] | 说出和hand押韵的词，如sand或land | 音节删除[17] | 将lemon第一个音节删除，变成mon |
| 小单元语音意识 | 首音探测[13] | 判断goat和gorilla的首音是否相同 | 首音-押韵合成[18] | 将/h/和/and/合并成hand |
| | 音素识别[14] | 判断elephant里是否有/u/ | 音素分割[21] | 将cane分割成/c/-/a/-/n/-/e/ |
| | | | 音素删除[23] | 将/tak：a/中的/t/删除，剩下/ak：a/ |
| | | | 音素替换[23] | 用/a/替换/helmi/中的/i/，变成/helma/ |
| | | | 音素融合[31] | 将good orange的首音合并，变成/GO/ |
| 声调意识 | 声调识别[20] | dā至dá之间按音高等距变化的9个音节中识别哪些是第一声、哪些是第二声 | | |
| | 声调探测[24] | 判断dā和dá的声调是否相同 | | |

**Table 2 11 longitudinal studies which found the effect of musical training on children's phonological awareness and 4 longitudinal studies which didn't**

**表2 音乐训练增强儿童语音意识的11项纵向研究与未发现任何增强效果的4项纵向研究**

| 参加音乐训练的儿童年龄和人数 | 累计训练时长/h | 音乐训练内容 | 音乐训练类型 | 语音意识任务 | | 音乐干预效果 | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 分析任务 | 操作任务 | | |
| 3~4岁正常儿童（*n*=23） | 48 | 唱歌、音高辨别练习、节奏学习、律动、打击乐演奏 | 音高和节奏训练 | 音节计数 | 音节合成、分割 | 增强了大单元语音意识 | [25] |
| 4~5岁正常儿童（*n*=28） | 45 | 唱歌、节奏学习、律动、打击乐演奏、木琴演奏 | 音高和节奏训练 | | 音素合成、删除、替换 | 增强了小单元语音意识 | [23] |
| 4~5岁正常儿童（*n*=30） | 54 | 音符学习、音高辨别练习、钢琴训练 | 音高训练 | 首音、押韵、声调探测 | | 增强了押韵（大单元语音）和首音（小单元语音）探测能力，没有增强声调探测能力 | [24] |
| 4~5岁正常儿童（*n*=20） | 55 | 音符学习、音高辨别练习、小钟琴演奏 | 音高训练 | 声调识别和探测 | | 增强了声调识别能力，没有增强声调探测能力 | [20] |
| 4~6岁正常儿童（*n*=34） | 23 | 节奏学习、律动 | 节奏训练 | 押韵探测、押韵命名、音素识别 | 音节分割、合成 音素、合成 | 增强了语音意识任务总绩效 | [27] |
| 5~6岁正常儿童（*n*=13） | 16 | 唱歌、音符学习、音高辨别练习、节奏学习、律动、打击乐演奏 | 音高和节奏训练 | 音节计数、押韵探测、音素识别 | 首音-押韵合成 | 增强了大单元语音意识，没有增强小单元语音意识 | [14] |
| 5~6岁正常儿童（*n*=13） | 16 | 唱歌、音符学习、音高辨别练习、节奏学习、律动、打击乐演奏 | 音高和节奏训练 | 音节计数、押韵探测、押韵命名、首音探测 | 首音-押韵合成 | 增强了大单元语音意识，没有增强小单元语音意识 | [18] |
| 5~6岁正常儿童（*n*=13） | 16 | 唱歌、音符学习、音高辨别 | 音高训练 | 音节计数、押韵探测、押韵命名、首音探测 | 首音-押韵合成 | 增强了大单元语音意识，没有增强小单元语音意识 | [22] |

续表2

| 参加音乐训练的儿童年龄和人数 | 累计训练时长/h | 音乐训练内容 | 音乐训练类型 | 语音意识任务 | | 音乐干预效果 | 文献 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 分析任务 | 操作任务 | | |
| 5~6岁正常儿童（*n*=13） | 16 | 节奏学习、律动、打击乐演奏 | 节奏训练 | 音节计数、押韵探测、押韵命名、首音探测 | 首音-押韵合成 | 没有增强大、小单元语音意识 | ［22］ |
| 5~6岁正常儿童（*n*=50） | 13 | 唱歌、节奏学习、律动 | 音高和节奏训练 | | 音素删除、替换 | 增强了小单元语音意识 | ［26］ |
| 8~10岁DD儿童（*n*=22） | 60 | 节奏学习、律动、打击乐演奏 | 节奏训练 | | 音素合成 | 增强了小单元语音意识 | ［21］ |
| 8至10岁DD儿童（*n*=12） | 18 | 唱歌、音高辨别练习、节奏学习 | 音高和节奏训练 | | 音素融合 | 增强了小单元语音意识 | ［37］ |
| 4~6岁正常儿童（*n*=30） | 15 | 音符学习、节奏学习 | 音高和节奏训练 | 押韵命名、押韵探测 | | 没有增强押韵（大单元语音）意识 | ［28］ |
| 4~5岁正常儿童（*n*=128） | 16 | 唱歌、音符学习、音高辨别练习、节奏学习、律动、打击乐演奏 | 音高和节奏训练 | 音节计数、押韵探测、音素识别 | 音节合成 | 没有增强大、小单元语音意识 | ［29］ |
| 7~8岁正常儿童（*n*=30） | 132 | 唱歌、长笛演奏 | 音高和节奏训练 | | 音素删除 | 没有增强小单元语音意识 | ［30］ |
| 7~12岁正常儿童（*n*=35） | 250 | 音符学习、节奏学习、管弦乐演奏 | 音高和节奏训练 | | 音节删除、音素融合 | 没有增强大单元音节意识、小单元语音意识 | ［31］ |

### 1.2　其他不一致的结果

尽管上述行为研究提供了音乐训练促进儿童语音意识的支持证据，但是也出现了不一致的结果。表2整理的前11项纵向追踪研究中，有部分研究没有发现音乐训练对5~6岁儿童小单元音素意识[14, 18, 22]和4~5岁儿童声调探测能力的影响[20, 24]，还有研究没有发现节奏训练对5~6岁儿童大小单元语音意识的影响[22]。除此之外，有4项纵向研究没有发现音乐训练对儿童语音意识的任何促进作用[28-31]。这4项研究涉及的被试年龄和语音意识任务包括：4~6岁儿童的押韵意识[28]、4~5岁儿童大小单元语音意识[29]、7~8岁儿童的音素删除[30]，以及7~12岁儿童的音节删除、音素融合[31]。相关研究的被试年龄、音乐累计训练时长、音乐训练内容、音乐训练类型、语音意识任务、音乐干预效果也总结在表2中。

从上述总结可以看出音乐训练对语音意识的影响效果不一致，下面本文对上述研究中可能存在的影响音乐训练干预效果的因素进行梳理和分析。

### 1.3　影响音乐干预效果的因素

音乐训练对儿童语音意识的干预效果可能受到音乐训练强度、音乐训练内容、被试年龄、初始语音意识能力和语音意识测量任务等因素的影响。

a. 音乐训练强度，包括训练时长和训练频率。在训练时长上，追踪研究发现，虽然半年的音乐训练不能显著提高4~5岁儿童的声调识别能力，但是1年音乐训练后，其声调识别能力显著增强[20]。另外，2个学年的追踪研究发现，训练时长越长，5岁音乐组与对照组儿童的音素加工成绩的差异越明显[23]。在训练频率上，相同实验周期内，参加音乐训练的频率越高，5~6岁儿童的语音意识增强越显著[17, 38]。但是，从表2可以看出，有两项追踪

研究即使采用的训练时长远远超过其他研究，达到了100 h以上的累计训练时长，但是仍然没有发现对7岁以上儿童语音意识的显著促进作用[30-31]，这表明训练时长可能并不是影响干预效果的决定性因素。

b. 音乐训练内容。在发现音乐干预效果的研究中，有些研究采用的音乐训练会同时包含节奏、音高训练[14, 18, 23, 25-26, 37]，有些则侧重音高[20, 24]或者节奏训练[21, 27]。对正常儿童的研究发现，钢琴训练、小钟琴训练不仅促进了4~5岁儿童的音高感知，也增强了儿童首音、押韵的探测能力[24]，以及声调识别能力[20]。强调节奏的训练能提高4~6岁儿童语音意识任务的总绩效[27]。对阅读障碍儿童的研究发现，节奏训练提高了8~10岁儿童的音素混合能力[21]。

还有研究讨论了节奏训练、音高训练对4~6岁儿童语音意识的影响，分别控制节奏训练中没有音高元素，音高训练中没有节奏元素，4个月（共16 h）的训练后发现，音高训练增强了儿童的大单元语音意识，节奏训练对儿童大、小单元语音意识都没有影响[22]。作者认为，音高训练可能对于正常儿童更有效，节奏训练可能对于阅读障碍儿童更有效[22]，但是该观点还有待更多研究进一步确认。

将节奏和音高训练完全分开有一定难度，以上大部分研究中的节奏训练也会包含音高元素，音高训练也会包含节奏元素。同时，从表2中可以看出，音高和节奏训练的效果模式非常复杂，难以分离出一定的规律，因此有关音高和节奏训练的作用仍有待进一步的研究。

c. 实施音乐干预的年龄。从表2中可以看出，发现音乐训练对语音意识有促进作用的研究中，儿童的年龄从3~6岁都有分布。被试年龄超过7岁的学龄儿童的两项研究都没有发现音乐训练的促进作用[30-31]，结合语音意识发展的最佳年龄可能处于学龄前[29]，由此可以推论音乐训练促进语音意识的最佳年龄也可能处于学龄前。但是，目前尚不能确定音乐训练促进语音意识的年龄下限是几岁。例如，Kempert等[29]采用了与Degé和Schwarzer[14]相同的音乐训练方案，但是后者发现了音乐训练的促进效应，而前者没有发现促进效应。这两个研究的不同之处在于实施音乐干预的年龄，Degé和Schwarzer[14]的被试年龄处于5~6岁，而Kempert等[29]的被试处于4~5岁，后者被试年龄较小可能是导致结果不一致的原因。但是，也有多项研究发现4~5岁（甚至3~4岁）儿童的语音意识可以通过音乐训练增强（表2），因此音乐训练促进语音意识的敏感期仍有待进一步研究。

d. 被试的初始语音意识能力。前文提到训练时长较长的两项研究[30-31]都没有发现音乐训练对7岁以上正常儿童语音意识的影响，这可能是由于这两个研究的对象均为正常发展的学龄儿童，这些学龄儿童已进行了一定时期的非正式语音意识学习，并且也接受正式的语音意识训练，其语音意识水平相对于学龄前儿童、阅读障碍儿童已发展到一定程度，所以这两项研究中的音乐训练可能不足以增大音乐组和对照组儿童语音意识成绩的差异。Kempert等[29]分析了4~5岁语音意识成绩较差的儿童接受音乐训练前后的成绩变化，发现初始语音意识成绩较差的儿童，语音意识成绩提高的增益量比对照组儿童有更高的倾向，虽然并没达到显著水平，但是作者认为音乐训练效果可能部分地依赖于儿童语音意识的初始水平。

e. 测量儿童语音意识的任务。部分研究仅发现音乐训练对儿童大单位语音意识（音节计数、押韵探测、押韵命名）的影响，没有发现对小单位语音意识（音素识别、首音探测、首音-押韵合成）的影响[14, 18, 22]。然而其他研究使用的语音意识测试任务没有按照语音单元分类，因此并未对测量任务的影响进行讨论。Gordon等[39]的元分析通过将各研究中的语音意识绩效分为押韵成绩（押韵探测和命名）和其他语音成绩（语音总绩效、音素分析与操作），发现音乐训练对儿童押韵成绩的影响不显著，对其他语音成绩的影响仅处于边缘显著水平，但由于其分类方式不同，无法与以上3个研究进行比较。从表1可见，不同的语音意识任务测量不同类型的语音加工能力，因此可能导致不同研究出现不同的实验结果。

综上所述，虽然大部分行为研究都发现了音乐训练对学龄前儿童以及患有发展性阅读障碍的学龄儿童语音意识的促进作用，但是由于音乐训练强度、音乐训练内容、音乐干预的年龄、被试初始语音意识能力和语音意识任务等因素的影响，都有可能导致在行为水平无法发现音乐训练对儿童语音意识的促进作用。近年来认知神经技术的相关研究发现音乐训练对学龄前和学龄儿童的前注意水平语音感知能力具有促进作用，音乐训练也可以促进对语音的听觉编码和强化听觉-运动整合功能，因此相关认知神经科学的研究发现为使用音乐训练促进儿

童语音意识提供了神经基础方面的进一步依据。

## 2　音乐训练影响儿童语音意识的神经基础

音乐训练涉及个体的感觉、运动相关脑区以及多重感知通道整合[40]，可以促进儿童听觉皮层、连接感觉-运动皮层间胼胝体的神经可塑性[41]。虽然目前少有研究直接考察音乐训练前后正常儿童执行语音意识任务的神经基础，但是大量认知神经科学的研究表明，音乐训练促进语音加工的神经基础主要表现在两方面：第一，音乐训练通过影响儿童的皮层下基本听觉神经通路与大脑皮层听觉相关加工和调控脑区，促进儿童前注意水平的语音感知能力[24，42-44]；第二，通过增强大脑语音加工区域间的神经连接，如双侧颞顶叶区之间的功能连接[13]，听觉-运动区域之间的功能连接[45-46]，促进语音的听觉编码和听觉-运动整合能力。相关神经机制为音乐训练促进儿童的语音意识提供了生物学基础[13，39]。

### 2.1　音乐训练促进儿童前注意水平语音感知能力的神经基础

语音意识作为语音加工能力，需要个体在听觉加工阶段识别语音的基本听觉成分[13]，因此研究者普遍认为基本的听觉感知加工能力是语音意识的基础[39]。在听觉加工阶段，语音作为一般声音信号在基本听觉神经网络中被加工。语音的频率、时间等参数通过皮层下听觉神经核（如下丘、耳蜗核等）进行分辨，进而在听觉皮层进行整合[47]。有关儿童音乐训练的研究发现，音乐训练可以增强基本听觉的皮层下和皮层上神经网络的功能，从而促进儿童对语音声学信息的听觉感知和加工[24，42-44，48]。

测量儿童语音声学信息的听觉感知能力主要是通过给儿童呈现前注意水平的语音刺激（在儿童执行分心任务时呈现语音刺激，例如在儿童观看无声动画时，播放与动画内容无关的语音刺激，而且测试结束后要求儿童报告动画内容），记录儿童被动感知这些语音刺激所引发的事件相关电位（event-related potentials，ERP）和脑磁图（magnetoencephalography，MEG）等神经生理指标。

前注意水平的刺激诱发的听觉脑干反应（auditory brainstem responses，ABRs）是反映皮层下听觉神经核功能的ERP成分，反映了听觉整合中枢脑干的声音信息处理能力[42-43]。横向对比研究发现，在前注意水平呈现两个相似爆破音构成的音节（/ba/和/ga/，两个音节的声音模式中第二共振峰过渡方向不同）时，相对于没有音乐训练经验的3~5岁学龄前儿童和7~13岁学龄儿童，相似音节诱发出的ABRs在有音乐训练经验的同年龄组儿童中出现更大的相位差，表明音乐训练经验增强了儿童对相似语音的皮层下神经分化，而且这个效应3岁时就已显现更强的皮层下反应[49]。纵向追踪研究也发现，采用相同的前注意水平刺激任务和ABRs测试，8岁儿童参加2年音乐训练后，在前注意水平对相似语音的辨别能力更强，表明音乐训练促进了儿童皮层下的语音自动听觉加工功能[42]。除此之外，前注意水平的语音感知能力与听觉特异的认知能力（听觉注意和听觉工作记忆）存在相关，受过音乐训练的儿童表现出更强的听觉注意和听觉工作记忆能力[49]。研究者推测，这表明与执行功能相关的皮层（如前额叶和前扣带回）与初级听觉皮层间的功能连接，自上而下地增强皮层下脑干听觉神经中枢的功能，因此音乐训练可能通过加强执行功能对听觉加工的认知控制，从而促进语音感知能力[42，49]，长期的音乐训练使儿童将注意力逐渐集中在有意义的听觉信息上，从而逐渐增强其听觉神经系统的功能[42]。

失匹配负波（mismatch negative responses，MMN）来源于大脑皮层对刺激的任何变化（甚至是前注意水平呈现的刺激）产生的自动反应[50]。接受过4年音乐训练的平均年龄9岁的正常儿童[51]，或者参加12个月的音乐训练后的8~10岁正常儿童[43]，在前注意水平感知元音时长和嗓音起始时间偏差时的失匹配负波比未接受音乐训练的同龄儿童更强。而且，12个月的音乐训练可以使发展性阅读障碍儿童的在前注意水平感知元音时长、嗓音起始时间偏差时的失匹配负波恢复到与正常同龄儿童相同的水平，表明音乐训练可以增强发展性阅读障碍儿童在前注意水平对语音的感知加工能力，使受损的语言能力逐渐康复[44]。对4~5岁正常儿童的研究发现，6个月钢琴训练后，钢琴组儿童在前注意水平感知元音频率偏差的失匹配正反应（positive mismatch responses，pMMRs）比阅读组和空白对照组都更强[24]。

脑磁图研究还发现，9月龄的婴儿接受华尔兹等三拍子音乐训练后，听觉皮层、前额叶对音乐和语音时间结构的偏差刺激比对照的游戏组婴儿表现出更强的失匹配反应，表明音乐训练不仅增强了听

觉皮层对声音时间信息的感知，还增强了前额叶皮层对声音时间结构的预测能力[48]。

综上所述，以上研究分别在皮层下和皮层上水平揭示了音乐训练促进儿童前注意水平语音感知能力的神经基础，表明音乐训练不仅可以促进皮层下脑干听觉中枢的功能，促进大脑皮层对语音信息变化的感知，以及前额叶对声音时间结构的预测能力，还可以促进负责执行控制的脑区对听觉神经网络的调控。同时，上述研究也为音乐训练促进儿童语音意识提供了间接的支持证据。行为水平的语音意识任务可以根据儿童的成绩直接反映音乐训练对语音意识的促进效果，但是对于年龄较小的儿童群体，其认知水平有限，无法成功地完成语音意识任务，导致行为研究无法准确反映儿童语音加工能力，而神经生理研究可以灵敏地反映儿童听觉加工初期对语音的敏感性，间接地反映了音乐训练对儿童语音意识的促进作用。因此，以上研究都表明，音乐训练促进了儿童在前注意水平对相似语音的感知区分能力，增强了皮层下和皮层上听觉神经系统的功能，为音乐训练促进儿童语音意识提供了神经基础。

### 2.2 音乐训练影响语音加工的神经网络

目前很少有研究直接考察音乐训练前后儿童执行语音意识任务的神经基础，仅有Zuk等[13]使用fMRI首次探索了音乐训练对儿童执行语音意识任务的神经基础产生的积极影响。他们发现音乐训练经验增强了正常儿童完成语音意识任务时双侧颞顶区域的激活。通过比较接受过与未接受过音乐训练的6~13岁正常儿童完成首音探测任务时的神经活动，发现接受过音乐训练的儿童尽管在行为水平没有表现出语音意识的优势，但在神经生理水平，其双侧颞顶区的激活程度显著更强。作者结合前人研究认为这可能是因为音乐训练经验增强了左侧颞上回和双侧颞顶区之间的功能连接，以及增强了左右颞顶区之间的白质连接[13]。除此之外，该研究还发现6~13岁发展性阅读障碍儿童在执行首音探测任务时，左半球颞顶区的功能激活明显低于正常儿童，因此推测对于左侧颞顶区激活程度低的发展性阅读障碍儿童，音乐训练可以促进其大脑双侧代偿性的神经网络发展[13]。结合Łuniewska等[52]的研究发现，患有发展性阅读障碍的学龄儿童双侧颞上回等语音加工脑区的发育出现延迟，但是随着正规阅读训练的开展，发展性阅读障碍儿童右侧颞上回的激活逐渐增大，表明其右半球出现了语音加工的代偿神经机制。根据Zuk等[13]和Łuniewska等[52]这两项研究，推测音乐训练有可能通过增强双侧颞顶区之间的功能连接，促进发展性阅读障碍儿童在右半球建立语音加工的代偿机制，从而有助于其语音意识的发展。

除了Zuk等[13]的研究之外，以下研究分别从儿童语音加工神经网络的发展，音乐训练促进成人音乐家的语音感知，音乐训练促进韵律加工，这3个方面为音乐训练促进儿童语音意识的神经基础提供了间接的证据。

首先，有关儿童语音加工的功能性磁共振成像（functional magnetic resonance imaging，fMRI）研究发现，学龄前儿童已出现类似于学龄儿童和成人的专门负责语音加工的神经网络，而且随着阅读经验的增加，这些神经网络的激活和功能连接模式逐渐发生变化[52-54]。第一，5~6岁正常学龄前儿童在执行语音意识任务（包括首音探测、押韵探测和音素探测）时，左侧颞顶叶皮层（left temporo-parietal cortex），尤其是左侧颞上回（superior temporal gyrus，STG）和缘上回（supramarginal gyrus），以及左侧下顶叶皮层（left inferior parietal cortex）、额下回盖部（opercularis part of inferior frontal gyrus）等区域被激活[52-54]。这些激活脑区与成人研究中发现的语音加工激活颞上回后部、额下回盖部、缘上回、顶下小叶背侧（dorsal part of the inferior parietal lobule）相一致[53]。第二，随着儿童年龄增长以及接受正规阅读训练后，其语音意识增强，语音加工脑区间的神经连接也增强[52，54]。一项纵向追踪研究发现，较之两年前，7~8岁儿童执行首音探测任务时，左侧下顶叶皮层的激活减弱，但是左侧下顶叶皮层与左侧额下回、左侧枕颞皮层后部（left posterior occipitotemporal cortex）和右侧角回（right angular gyri）之间的连接增强[54]。另一项纵向追踪研究也发现，参加两年的正规阅读训练后，7~8岁儿童执行押韵探测任务时，左侧颞上回、左侧额下回、左侧顶上和顶下小叶等语音加工脑区的激活减弱，这表明阅读经验导致儿童语音加工网络的神经回路更加专门化[52]，但是相比之下，发展性阅读障碍儿童参加正规阅读训练前后，其语音加工的神经结构发育迟缓，表现在双侧颞上回、左侧颞中回、右侧脑岛和右侧额叶皮层的激活模式与正常儿童两年正规阅读训练前后的激活模式存在显著差异[52]。从学前阶段到学龄阶段，儿童大脑中参与语音加工的神经网络的发展变化，这为

音乐训练促进儿童语音意识提供了神经基础的可能性。

其次，来自成人音乐家的研究表明，长期的音乐训练可以增强语音加工脑区的功能，并增强听觉与运动脑区之间的信息整合。语音加工需要对单个语音的感知[13]，在感知语音时，个体的听觉和运动功能紧密耦合[45]。针对成人音乐家与非音乐家的fMRI研究发现，成人音乐家在噪声中识别音节的能力优于非音乐家，音乐家的左侧额下回的布洛卡区和右侧听觉皮层表现出更大的激活，双侧听觉和运动区的音素表征出现更高的特异性，而且听觉皮层与言语运动区（前运动皮层）之间的左右半球内和半球间的功能连接更强，表明音乐训练经验可加强语音的听觉编码、发音运动编码和听觉-运动系统间的信息整合，提高噪音环境下的言语感知能力[45]。磁共振弥散张量成像技术发现，对比非音乐家，成人音乐家的双侧弓状束（arcuate fasciculus，AF）具有不同的微观结构，音乐家的右侧弓状束直接通路和左侧弓状束间接通路的前支的连通性更强，间接通路弓状束后支的左偏侧化程度更强[46]。弓状束连接额、顶、颞叶，被认为是语言加工双通路模型中背侧通路与听觉运动整合相关的核心白质纤维束，将语音信息与发音运动表征之间建立映射[55]，因此上述弓状束相关通路的增强可能是音乐家在噪声环境下感知语音时，表现出更强的听觉-运动整合能力的神经基础[46]。

最后，fMRI研究发现，在听包含结构化韵律和非结构化韵律的句子时，双侧颞上极区（superior temporal pole region）和双侧颞下叶后部（posterior inferior temporal lobes）对结构化韵律的反应强于非结构化韵律，表现出对韵律结构轮廓的敏感，作者认为大脑中这4个区域可能存储言语韵律模板[56]。大脑中相应区域可能也存储音乐结构特征。另一项fMRI研究发现，在听完整音乐和杂乱音乐时，双侧颞上回前部和后部，双侧颞中回的后部，以及前运动皮层和辅助运动区（supplementary motor area，SMA）对完整音乐的反应强于杂乱音乐，作者认为这些区域可能用来存储音乐的音调、节奏特征，从而对音乐结构表现出更强的敏感性[57]。可以推测，大脑语音加工区域中，可能存在共同存储韵律信息模板与音乐结构特征的区域，音乐训练通过增强相应区域的功能，从而优化言语刺激的韵律轮廓与韵律模板的匹配过程，进而促进了言语韵律加工。ERP研究也发现，音乐训练促进了个体对语言文字中韵律信息的加工[58-60]。对比非音乐家，音乐家感知句末音节时长[58]、单词音高[59]，以及诗句末声调和韵母[60]等韵律信息的变化时有更强的反应。

## 3　音乐训练影响儿童语音意识的理论模型

关于音乐训练促进儿童语音意识的认知机制，目前尚未有定论，本文将对前人提出的音乐训练影响语音加工能力的4种解释模型进行讨论。除此之外，结合前人研究，本文提出音乐训练影响儿童语音意识的层级模型，试图对音乐训练促进儿童语音意识的认知机制做进一步的系统阐释。

### 3.1　前人的理论观点

目前，不同研究者从不同角度提出了4种假设模型，用于解释音乐训练影响语音加工的认知机制，包括共有声范畴学习机制假设、声学灵敏度假设、歌剧假设、时间精度加工假设，但其中只有时间精度加工假设明确解释了音乐训练与语音意识间的关系。

Patel[1]提出的共有声范畴学习机制假设（shared sound category learning mechanism hypothesis，SSCLMH）认为，音乐训练中的音高训练增强了音乐和语言的一般声音学习机制[1]。对于尚未习得语言或音乐的儿童来说，语言声和音乐声仅仅属于一般的听觉刺激[61]。在语言和音乐学习过程中，儿童通过一般声音学习机制对语言中的音素，以及音乐声中的音符（音高）进行感知、分类，进而通过统计学习提取抽象规则，构建语言和音乐声范畴系统，由于形成和维持语言和音乐两种声范畴表征的机制在大脑中有很大程度的重叠，因此两种声范畴系统的学习可以互相影响[1]。

Besson等[2]提出的声学灵敏度假设认为，音乐训练增强了音乐和语言声共同的听觉加工机制。对比成人音乐家和非音乐家，发现音乐家对音乐和语音的频率、时长等重要的听觉参数更敏感，认为音乐训练使得音乐家对音乐和语音相似的声学参数的敏感性增强[2]。因此，作为一种听觉训练，音乐训练有可能通过增强个体的听觉敏感性，促进个体对语音信息的加工[2]。

Patel[62-63]在声学灵敏度假设的基础上，提出歌剧假设（overlap，precise，emotion，repetition，attention，OPERA），认为音乐训练通过强化音乐和语言共同的感知（声学特征的听觉编码）和认知调节机制（例如，听觉工作记忆、听觉注意等）来

增强个体的语音感知和加工能力。OPERA假设认为，在大脑皮层下和皮层上存在处理音乐和语言声学特征（如波形周期性、振幅包络）的共享听觉网络（overlap），音乐相比语音，对共享网络的加工精度要求更高，因此音乐训练使得共享网络以高于语音所需的精度（precise）运行，当这种激发共享网络的音乐训练反复（repetition）进行，并引发个体积极情绪（emotion）和积极注意（attention），就能实现音乐训练对共享听觉网络的可塑性影响，促进个体的语音听觉编码[62-63]。

在OPERA假设的框架下，Tierny和Kraus[64]提出了时间精度加工假设（precise auditory timing hypothesis，PATH），认为语音意识的发展依赖于对语音时间信息的精确感知，其中，辅音区分依赖于对共振峰过渡时长（formant transition duration）和嗓音起始时间的感知，单词和短语的分割依赖于对语音时长信息的感知，相比语音的感知和加工，音乐训练中的听觉-运动同步（auditory-motor entrainment）练习（例如，伴随节拍器进行同步击鼓）要求个体对声音时间信息的感知有更高的精确度。因此，反复的听觉-同步练习能更大程度地提高个体感知语音时间信息的精确度，从而进一步增强个体的语音意识[64]。

### 3.2 层级模型

正如前文所述，音乐训练可以在行为水平增强儿童的语音意识，可能是由于音乐训练增强了儿童对语音的感知和识别，而且通过影响皮层下基础听觉加工神经通路和听觉皮层，以及与执行功能相关的皮层，促进儿童前注意水平语音感知能力[24，42-44，48]，通过影响语音加工的神经网络和功能连接，增强个体语音的听觉编码、发音运动编码和听觉-运动系统间的信息整合[45-46]，从而在行为水平促进了儿童对各语音单元，包括音素[24，27]、韵脚[14，18，22，24]、音节[14，18，22，25]、声调[20]的感知和识别，进一步增强了儿童对各语音单元的操作能力[14，18，21-23，25-27，37]。

综合以上研究，本文提出音乐训练促进语音意识的层级模型（hierarchical model）来描述音乐训练对儿童语音意识的影响机制（图1）。该模型认为音乐训练对儿童语音意识的影响，涉及从语音的基本听觉加工，到语音编码，再到发音运动表征的语音加工过程，其影响作用可以分为3个层级。

第一层级，音乐训练通过影响基本听觉神经通路，促进了儿童对语音的基本听觉加工，其中节奏训练主要促进儿童对语音时长信息的感知，音高训练主要促进儿童对语音频率信息的感知。正如前文所述，语音参数（例如，嗓音起始时间、元音频率等）的声学特性对于语音感知非常重要[44]，音乐训练在皮层下和皮层上水平增强了儿童前注意水平的语音知觉敏感度[24，42-44，48]，表明音乐训练不仅可以促进皮层下脑干听觉中枢的功能，促进大脑皮层对语音信息变化的感知，以及前额叶对声音时间结构的预测能力。节奏训练可以促进儿童对语音时长信息的感知，包括语音时间结构、嗓音起始时间等[48-49]，音高训练可以促进儿童对语音频率信息的感知，例如对元音频率信息的感知[24]。听觉加工阶段对语音声学特征的精细感知和表征有助于将语音的声学模式进一步编码为语音表征[8]。

第二层级，音乐训练通过影响语音加工的神经网络，进一步促进了儿童的语音编码，其中节奏训练主要促进辅音、韵脚和音节的识别和编码，音高训练主要促进元音、韵脚和音节的识别和编码。正如前文所述，音乐训练经验促进了双侧听觉脑区和运动脑区的功能，增强了音素表征能力[45]。在感知识别语音的过程中，嗓音起始时间是在辅音发出和声带开始振动之间的时间间隔，节奏训练有助于嗓音起始时间等语音的时间信息的感知[64]，因此节奏训练有助于辅音的识别。元音在言语声中有清晰的音高结构[1]，音乐训练提高了儿童基于元音差异的词汇辨别能力[24]，表明音高训练有助于元音的识别。而节奏和音高训练共同促进了音节、韵脚、音素的识别，进一步有助于音节计数、分割、合成，押韵探测和命名，以及音素的探测、分割、合成的认知加工过程。

第三层级，音乐训练通过增强听觉与运动脑区之间的信息整合，增强了儿童的语音运动表征以及听觉-运动整合能力。音乐训练中的节奏同步、乐器演奏、唱歌等是需要感觉-运动区域共同参与的活动[46，64]。正如前文所述，音乐训练经验增强了连接听觉-运动皮层的弓状束的微观结构和连通性，从而增强了听觉-运动整合功能[46]，进而促进了语音在言语运动区的发音运动表征，进一步提高了语音表征的质量[45]。

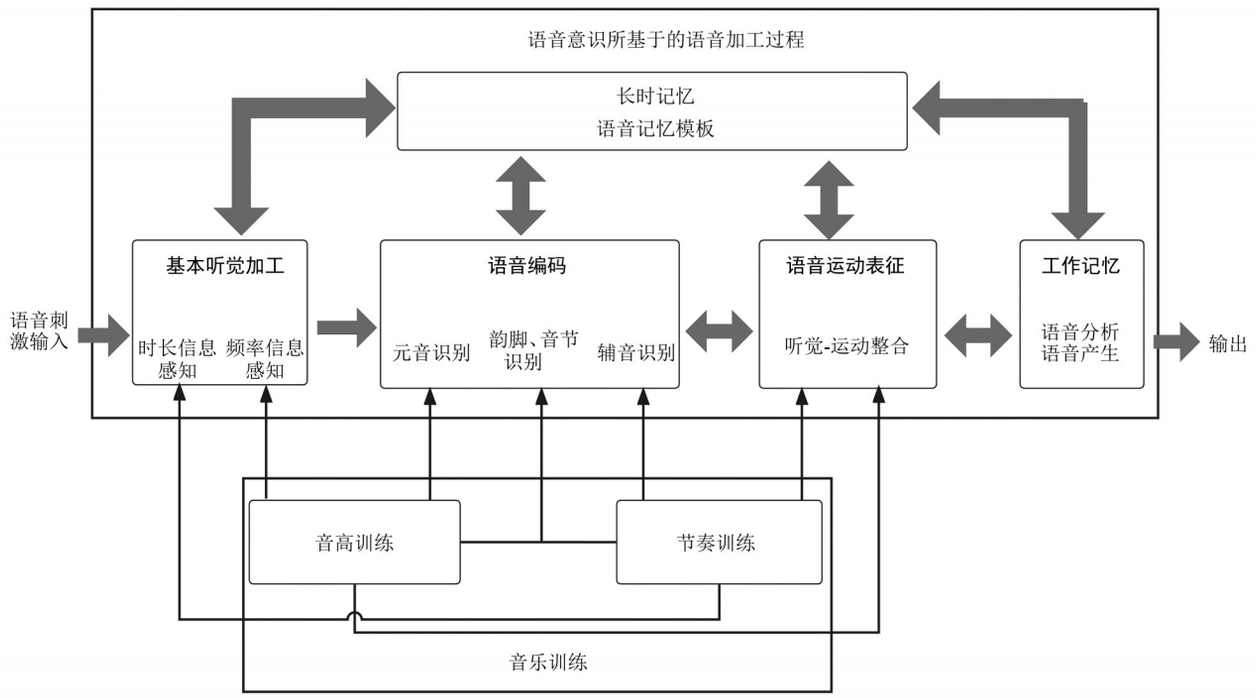



**Fig. 1　Hierarchical model of the effect of musical training on phonological awareness**

**图1　音乐训练影响语音意识的层级模型**

## 4　研究展望

通过梳理音乐训练影响儿童语音意识的大量研究，以及相关神经基础，本文认为未来研究可以考虑从以下几个方面开展。

### 4.1　结合脑成像技术探究音乐训练对语音意识相关神经结构的影响

正如前文第**2**部分所述，音乐训练影响儿童语音意识的神经基础可能涉及一般听觉网络以及语音加工的神经网络，后期可以结合脑成像技术确定音乐训练对正常儿童一般听觉网络、语音加工神经网络的影响，以及音乐训练对阅读障碍儿童语音加工神经机制的影响。

首先，已有电生理研究发现音乐训练增强了儿童对语音声学信息的前注意感知，表明音乐训练对儿童一般听觉网络的增强，包括增强皮层下脑干听觉中枢的功能[42，49]，增强大脑皮层对语音偏差的前注意感知[24，43-44，48，51]，增强前额叶对声音时间结构的预测能力[48]，以及增强负责执行控制的脑区对听觉神经网络的调控[42，49]，这些还需要成像研究进一步证实。

其次，关于音乐训练对儿童语音加工神经网络的影响还没有相应的追踪研究。横断对比研究发现，有音乐训练经验的儿童在执行首音探测任务时，双侧颞顶叶区的激活比没有音乐训练经验的儿童更强[13]，然而研究无法排除先天因素的影响，因此并不能说明这种特异性是音乐训练的结果。fMRI追踪研究发现，接受正规阅读训练后，儿童语音加工脑区间的神经连接增强[52，54]，表明阅读经验对儿童语音加工神经网络的影响，音乐训练是否也能实现这种影响，后期可以通过fMRI追踪研究进行探索。

最后，对阅读障碍儿童的fMRI追踪研究发现，在接受正规阅读训练后，发展性阅读障碍儿童右侧颞上回的激活逐渐增大，表明其右半球出现了语音加工的代偿神经机制[52]。正如**2.2**所述，推测音乐训练有可能通过增强双侧颞顶区之间的功能连接，促进发展性阅读障碍儿童在右半球建立语音加工的代偿机制，从而有助于其语音意识的恢复，后期可以通过脑成像研究进行证实。

### 4.2　探索有效的音乐训练方案

未来的研究需要系统地探索有效促进儿童语音意识的音乐训练方案，进一步明确音乐训练的有效时长、有效的音乐训练内容、实施音乐训练的最佳

年龄，以及提出系统的测量语音意识的任务。

正如**1.3**所述，由于以往研究在上述各个变量上存在差异，音乐训练对语音意识的干预效果并不一致，而且不同研究之间也很难相互比较。首先，对于如何确定有效的音乐训练时长、音乐训练内容和最佳干预年龄，未来的研究可以采用纵向追踪研究设计，选择不同年龄段的相对同质的儿童被试群体按照不同的音乐训练内容或音乐训练方式进行分组，并系统地操纵语音意识测量的任务，进一步明确哪种音乐训练内容对促进语音意识能力更为有效。另外，在音乐训练前后评估儿童的音高和节奏能力，分析哪种音乐能力的增强与某一种语音意识的增强关联更紧密。正如**1.3**所述，音乐训练促进语音意识的最佳年龄也可能处于学龄前，而学龄前儿童完成语音意识任务的能力还非常有限，所以在学龄前的长期音乐训练的优势有可能在这些儿童达到学龄期才慢慢突显。

除此之外，神经生理学研究表明，音乐训练可能影响儿童语音加工神经网络[13]，音乐训练也可以在皮层水平和皮层下水平增强儿童对相似语音的前注意水平感知[42-44]。因此，除了采用语音意识任务之外，更灵敏的神经生理测量技术可以反映内隐的语音加工能力的变化，也可以作为测量语音意识的间接指标。

### 4.3 探究音乐训练对儿童语音意识是否有跨语言的影响

音乐是一种世界性的语言，音乐训练是否能促进母语为不同语系儿童的语音意识，是否能促进儿童的外语语音意识还需要更多的研究来证实。

已有研究发现音乐训练可以促进母语为非声调语言儿童的语音意识，包括德语、英语、法语等，针对母语为声调语言的儿童研究很少。声调语言中，声调是独特的语言单元，具有区别词义的作用（如汉语中将4种不同声调附于音节上方产生不同意义的字词），在大脑中也有相应的声调加工机制[65]。目前已有针对汉语幼儿的纵向追踪实验发现音乐训练增强了4~5岁汉语儿童汉语首音、押韵探测[24]以及声调识别能力[20]，表明音乐训练对母语为声调语言儿童语音意识的促进作用。后期可以继续探索音乐训练对不同年龄段汉语儿童语音意识的影响。

目前大部分研究讨论的是音乐训练对儿童母语语音意识的影响，关于儿童的外语语音意识的研究很少。已有研究发现7~10岁儿童的音乐能力与外语语音感知和加工能力存在相关[5, 9]。横断对比也研究发现，10~15岁有音乐训练经验的儿童具有更强的外语单词学习能力[35-36]，但是这个结果不能排除个体先天差异的影响。纵向追踪研究发现，音乐训练增强了移民德国儿童的德语语音意识[18]，表明音乐训练对儿童非母语语音意识的影响，但是类似的研究还很少，后期可以继续探索音乐训练是否能影响儿童的外语语音意识。

### 4.4 对层级模型进行验证

未来研究需要对本文提出的层级模型进行系统的实验验证。根据该模型的观点，音乐训练对语音加工不同阶段的影响存在不同的作用，同时音乐训练的不同内容也对语音意识的不同方面产生不同的影响。因此，未来研究针对层级模型描述的认知机制，可以有针对性地设计音乐训练内容和语音意识测量任务，验证层级模型的理论假设。

与此同时，层级模型的基本观点也为解决上述3个方面亟待解决的问题提供了理论依据。首先，在探索有效的音乐训练方案时，层级模型对语音意识的认知加工的层级描述，以及音乐训练不同内容对语音加工的不同影响，为设计音乐训练方案提供了参考的依据。研究者可以根据不同层级的不同方面，设计相应的训练方案，进一步探索不同训练内容的适宜训练时间和最佳年龄。其次，在考察音乐训练对儿童语音意识是否具有跨语言的影响时，可以根据不同语言之间在语音感知和听觉-运动整合上的特点，分析音乐训练对儿童第二语言语音意识的影响。最后，未来的神经机制研究也可以基于层级模型的框架分别对节奏训练和音高训练发挥作用的神经基础进行分析和比较。

综上所述，关于音乐训练对儿童语音意识的影响已取得相应行为实验和神经生理研究的证据。但是，由于一些调节因素的影响，现有的行为研究并未取得一致的结果，未来研究亟需进一步探索各种影响因素的作用及其认知神经机制，加深对言语能力发展的理论认识和推动音乐训练在教育领域的应用实践。

## 参 考 文 献

[1] Patel A D. Music, language, and the brain. Oxford: Oxford University Press, 2008

[2] Besson M, Chobert J, Marie C. Transfer of training between music and speech: common processing, attention, and memory. Front Psychol, 2011, **2**: 94

[3] Degé F, Kubicek C, Schwarzer G. Associations between musical

abilities and precursors of reading in preschool aged children. Front Psychol, 2015, **6**: 1220

[4] Culp M E. The relationship between phonological awareness and music aptitude. J Res Music Educ, 2017, **65**: 328-346

[5] Zhang J, Meng Y X, Wu C G, *et al*. Writing system modulates the association between sensitivity to acoustic cues in music and reading ability: evidence from Chinese-English bilingual children. Front Psychol, 2017, **8**: 1965

[6] Ozernov-Palchik O, Wolf M, Patel A D. Relationships between early literacy and nonlinguistic rhythmic processes in kindergarteners. J Exp Child Psychol, 2018, **167**: 354

[7] Politimou N, Dalla B S, Farrugia N, *et al*. Born to speak and sing: musical predictors of language development in pre-schoolers. Front Psychol, 2019, **10**: 948

[8] Steinbrink C, Knigge J, Mannhaupt G, *et al*. Are temporal and tonal musical skills related to phonological awareness and literacy skills? Evidence from two cross-sectional studies with children from different age groups. Front Public Health, 2019, **10**: 805

[9] Swaminathan S, Schellenberg E G. Musical ability, music training, and language ability in childhood. J Exp Psychol Learn Mem Cogn, 2020, **46**(12): 2340-2348

[10] Goswami U, Huss M, Mead N, *et al*. Perception of patterns of musical beat distribution in phonological developmental dyslexia: significant longitudinal relations with word reading and reading comprehension. Cortex, 2013, **49**(5): 1363-1376

[11] Chiang C, Hämäläinen J, Xu W, *et al*. Neural responses to musical rhythm in Chinese children with reading difficulties. Front Psychol, 2020, **11**: 1013

[12] Couvignou M, Kolinsky R. Comorbidity and cognitive overlap between developmental dyslexia and congenital amusia in children. Neuropsychologia, 2021, **155**: 107811

[13] Zuk J, Perdue M V, Becker B, *et al*. Neural correlates of phonological processing: disrupted in children with dyslexia and enhanced in musically trained children. Dev Cogn Neurosci, 2018, **34**: 82-91

[14] Degé F, Schwarzer G. The effect of a music program on phonological awareness in preschoolers. Front Psychol, 2011, **2**: 124

[15] 陈杰 . 音乐心理学 : 认知、大脑与运用 . 北京 : 科学出版社, 2020: 97-100
Chen J. Music Psychology: Cognition, Brain and Application. Beijing: Science Press, 2020: 97-100

[16] Lemons C J, Fuchs D. Phonological awareness of children with down syndrome: its role in learning to read and the effectiveness of related interventions. Res Dev Disabil, 2010, **31**(2): 316-330

[17] Moritz C, Yampolsky S, Papadelis G, *et al*. Links between early rhythm skills, musical training, and phonological awareness. Read Writ, 2013, **26**(5): 739-769

[18] Patscheke H, Degé F, Schwarzer G. The effects of training in music and phonological skills on phonological awareness in 4- to 6-year-old children of immigrant families. Front Psychol, 2016, **7**: 1647

[19] Randazzo M, Greenspon E, Booth J, *et al*. Children with reading difficulty rely on unimodal neural processing for phonemic awareness. Front Hum Neurosci, 2019, **13**: 390

[20] 姚尧, 陈晓湘 . 音乐训练对 4~5 岁幼儿普通话声调范畴感知能力的影响 . 心理学报, 2020, **52**(4): 456-468
Yao Y, Chen X X. Acta Psychol Sin, 2020, **52**(4):456-468

[21] Flaugnacco E, Lopez L, Terribili C, *et al*. Music training increases phonological awareness and reading skills in developmental dyslexia: a randomized control trial. PLoS One, 2015, **10**(9): e0138715

[22] Patscheke H, Degé F, Schwarzer G. The effects of training in rhythm and pitch on phonological awareness in four- to six-year-old children. Psychol Music, 2018, **47**(3): 376-391

[23] Linnavalli T, Putkinen V, Lipsanen J, *et al*. Music playschool enhances children ' s linguistic skills. Sci Rep, 2018, **8**(1): 8767

[24] Nan Y, Liu L, Geiser E, Shu H, *et al*. Piano training enhances the neural processing of pitch and improves speech perception in Mandarin-speaking children. Proc Natl Acad Sci USA, 2018, **115**(28): E6630-E6639

[25] Vidal M M, Lousada M, Vigário M. Music effects on phonological awareness development in 3-year-old children. Appl Psycholinguist, 2020, **41**(2): 299-318

[26] Bolduc J, Gosselin N, Chevrette T, *et al*. The impact of music training on inhibition control, phonological processing, and motor skills in kindergarteners: a randomized control trial. Early Child Dev Care, 2020, **190**: 1-10

[27] Skubic D, Gaberc B, Jerman J. Supportive development of phonological awareness through musical activities according to Edgar Willems. SAGE Open, 2021, **11**(2): 1886-1895

[28] Moreno S, Friesen D, Bialystok E. Effect of music training on promoting preliteracy skills: preliminary causal evidence. Music Percept, 2011, **29**(2): 165-172

[29] Kempert S, Götz R, Blatter K, *et al*. Training early literacy related skills: to which degree does a musical training contribute to phonological awareness development?. Front Psychol, 2016, **7**: 1803

[30] Lukács B, Honbolygó F. Task-dependent mechanisms in the perception of music and speech: domain-specific transfer effects of elementary school music education. J Res Music Educ, 2019, **67**(2): 153-170

[31] Barbaroux M, Dittinger E, Besson M. Music training with Demos program positively influences cognitive functions in children from low socio-economic backgrounds. PLoS One, 2019, **14**(5): e0216874

[32] Shu H, Peng H, McBride-Chang C. Phonological awareness in young Chinese children. Dev Sci, 2008, **11**(1): 171-181

[33] 李文辉, 索长清, 但菲, 等 . 音乐训练对 5-6 岁幼儿语音意识的影响 . 中国儿童保健杂志, 2016, **24**(6): 668-672
Li W H, Suo C Q, Dan F, *et al*. Chin J Child Health Care, 2016, **24**(6): 668-669

[34] 任雪梅 . 音乐训练对 5-6 岁幼儿语音意识的影响研究 . 教育科学, 2017, **2**: 142
Ren X M. Educ Sci, 2017, **2**: 142

[35] Dittinger E, Chobert J, Ziegler J, *et al*. Fast brain plasticity during word learning in musically-trained children. Front Hum Neurosci, 2017, **11**:233

[36] Talamini F, Grassi M, Toffalini E, *et al*. Learning a second language: can music aptitude or music training have a role?. Learn Individ Differ, 2018, **64**: 1-7

[37] Habibi M, Lardy C, Desiles, *et al*. Music and dyslexia: a new musical training method to improve reading and related disorders. Front Psychol, 2016, **7**: 26

[38] Eccles R, Linde J, Roux M, *et al*. Effect of music instruction on phonological awareness and early literacy skills of five- to seven-year-old children. Early Child Dev Care, 2017, **190**: 1-15

[39] Gordon R L, Fehd H M, Mccandliss B D. Does music training enhance literacy skills? A meta-analysis. Front Psychol, 2015, **6**: 1777

[40] 胡晓雯 . 关键期的音乐训练对大脑可塑性的影响 . 心理学进展, 2020, **10**(1): 75-81
Hu X W. Adv Psychol, 2020, **10**(1): 75-81

[41] Habibi A, Damasio A, llari B, *et al*. Childhood music training induces change in micro and macroscopic brain structure: results from a longitudinal study. Cereb Cortex, 2017, **28**(12): 4336-4347

[42] Kraus N, Slater J, Thompson E C, *et al*. Music enrichment programs improve the neural encoding of speech in at-risk children. J Neurosci, 2014, **34**(36): 11913-11918

[43] Chobert J, Francois C, Velay J L, *et al*. Twelve months of active musical training in 8- to 10-year old children enhances the preattentive processing of syllabic duration and voice onset time. Cereb Cortex, 2014, **24**: 956-967

[44] Frey A, François C, Chobert J, *et al*. Music training positively influences the preattentive perception of voice onset time in children with dyslexia: a longitudinal study. Brain Sci, 2019, **9**(4): 91

[45] Du Y, Zatorre R J. Musical training sharpens and bonds ears and tongue to hear speech better. Proc Natl Acad Sci USA, 2017, **114**(51): 12223

[46] Li X, Zatorre R J, Du Y. The microstructural plasticity of the arcuate fasciculus undergirds improved speech in noise perception in musicians. Cereb Cortex, 2021, **31**(9): 3975-3985

[47] 朱美婵, 李恒, 李振华, 等 . 丘脑——听觉皮层投射的研究进展 . 听力学及言语疾病杂志, 2016, **24**(2): 191-197
Zhu M C, Li H, Li Z H, *et al*. J Audiol Speech Pat, 2016, **24**(2): 191-197

[48] Zhao T C, Kuhl P K. Musical intervention enhances infants neural processing of temporal structure in music and speech. Proc Natl Acad Sci USA, 2016, **113**(19): 5212-5217

[49] Strait D L, O'Connell S, Parbery-Clark A, *et al*. Musicians' enhanced neural differentiation of speech sounds arises early in life: developmental evidence from ages 3 to 30. Cereb Cortex, 2014, **24**(9): 2512-2521

[50] Näätänen R, Paavilainen P, Rinne T, *et al*. The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. Clin Neurophysiol, 2007, **118**(12): 2544-2590

[51] Chobert J, Marie C, François C, *et al*. Enhanced passive and active processing of syllables in musician children. J Cognitive Neurosci, 2011, **23**: 3874-3887

[52] Łuniewska, M, Chyl K, Debska A, *et al*. Children with dyslexia and familial risk for dyslexia present atypical development of the neuronal phonological network. Front Neurosci, 2019, **13**: 1287

[53] Weiss Y, Cweigenberg H G, Booth J R. Neural specialization of phonological and semantic processing in young children. Hum Brain Mapp, 2018, **39**: 4334-4348

[54] Yu X, Raney T, Perdue M V, *et al*. Emergence of the neural network underlying phonological processing from the prereading to the emergent reading stage: a longitudinal study. Hum Brain Mapp, 2018, **39**: 2047-2063

[55] Hickok G, Poeppel D. The cortical organization of speech processing. Nat Rev Neurosci, 2007, **8**(5): 393-402

[56] Fedorenko E, Hsieh P J, Balewski Z. A possible functional localizer for identifying brain regions sensitive to sentence-level prosody. Lang Cogn Neurosci, 2015, **30**(1-2):120-148

[57] Fedorenko E, McDermott J H, Norman-Haignere S, *et al*. Sensitivity to musical structure in the human brain. J Neurophysiol, 2012, **108**: 3289-3300

[58] Marie C, Magne C, Besson M. Musicians and the metric structure of words. J Cognitive Neurosci, 2011, **23**(2): 294-305

[59] Zioga I, Luft C D B, Bhattacharya J. Musical training shapes neural responses to melodic and prosodic expectation. Brain Res, 2016, **1650**: 267-282

[60] 张政华, 韩梅, 张放, 等 . 音乐训练促进诗句韵律整合加工的神经过程 . 心理学报, 2020, **52**(7): 847-860
Zhang Z H, Han M, Zhang F, *et al*. Acta Psychol Sin, 2020, **52**(7): 456-468

[61] McMullen E, Saffran J R. Music and language: a developmental comparison. Music Percept, 2004, **21**(3): 289-311

[62] Patel A D. Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. Front Psychol, 2011, **2**: 142

[63] Patel A D. Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. Hear Res, 2014, **308**: 98-108

[64] Tierny A, Kraus N. Auditory-motor entrainment and phonological skills: precise auditory timing hypothesis (PATH). Front Hum Neurosci, 2014, **8**: 949

[65] Liang B, Du Y. The functional neuroanatomy of lexical tone perception: an activation likelihood estimation meta-analysis. Front Neurosci, 2018, **12**: 495

# The Cognitive and Neural Mechanism Underlying The Effect of Musical Training on Children's Phonological Awareness*

LIU Yi-Shu[1,2,3,4], LIU Xi[5], ZHANG Zi-Jian[1,2], FU Xiao-Lan[1,2], LIU Ye[1,2]**

([1]*Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101, China;

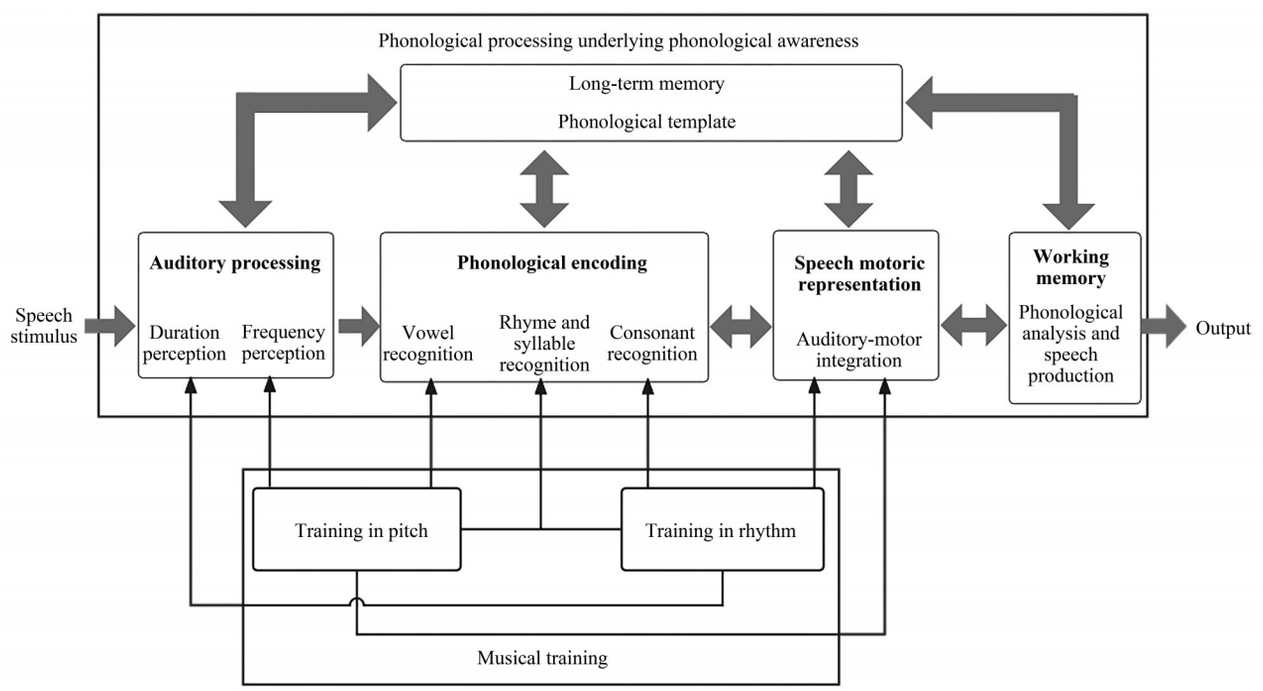
[2]*Department of Psychology, University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, China;

[3]*Rugao Lemei Preschool, Nantong* 226500, China;

[4]*Rugao Anding Primary School, Nantong* 226500, China;

[5]*Institution of Music, Taizhou College, Nanjing Normal University, Taizhou* 225300, China)

## Graphical abstract




**Hierarchical model of the effect of musical training on phonological awareness**

**Abstract** Music is an auditory art, which may play an important role in education and psychological development of children. Phonological awareness describes the ability to perceive, recognize, analyze, and manipulate phonological units, which is an important indicator to predict children's literacy skills. This review summarized experimental studies on the effect of musical training on children's phonological awareness in the last decade, and discussed the relevant neural basis and hypotheses. It has been demonstrated that musical training

* This work was supported by grants from The National Natural Science Foundation of China (61632004, 61773379, 61621136001) and the National Social Science Foundation (19ZDA363).

** Corresponding author.

Tel：86-10-64847125，E-mail：liuye@psych.ac.cn

Received：December 16，2021 Accepted：February 14，2022

could not only promote children’s phonological awareness at the behavioral level, but also affect children’s phonological auditory processing ability at the pre-attention level. Music training may affect the neural basis of phonological processing from two aspects: on the one hand, it may affect children’s speech perception ability at the pre-attention level by strengthening the basic auditory neural pathway and the auditory cortex; on the other hand, it may affect the phonological coding and auditory-motor integration by enhancing the functional connectivity among regions related to phonological processing. The related neural mechanisms provide the biological basis for music training to promote children’s phonological awareness. Based on the existing researches and theoretical hypotheses, the review proposed a hierarchical model to explain the cognitive mechanism of the effect of music training on phonological awareness, which presents that there are three levels of the cognitive neural mechanisms of phonological awareness effected by musical training. The first level, musical training may promote the basic auditory processing of speech by strengthening the basic auditory neural pathways, in which training in rhythm may strengthen the perception of speech duration, and training in pitch may strengthen the perception of speech frequency. The second level, musical training may further promote speech coding by enhancing the neural networks for speech processing, in which training in rhythm promotes the recognition of consonant, rhyme, and syllable, training in pitch promotes the recognition of vowel, rhyme, and syllable. The third level, musical training may promote the speech motoric representation and auditory-motor integration by enhancing the interaction between auditory and motor cortex, further improve the quality of phonological representation. The potential theoretical significance of the effects of musical training on children’s phonological awareness was discussed in the context of revealing the cognitive neural mechanism and rules of human’s language development, and the potential application in the field of children’s education was also discussed.

**Key words** children, musical training, phonological awareness, speech perception
**DOI**：10.16476/j.pibb.2021.0392