

· 海外新译 ·

# 一次绝对音高感大规模直接测试研究

——以上海音乐学院学生为大样本对象

(美国) 戴安娜·多伊奇<sup>1</sup>, 李小诺<sup>2</sup>, 沈晶<sup>3</sup> (著), 于佳媛<sup>4</sup>, 李小诺 (译)

(1. 3. 加州大学圣地亚哥分校, 加利福尼亚州 圣地亚哥; 2. 上海音乐学院 音乐学系, 上海 200031;

4. 复旦大学社会发展与公共政策学院社会学系, 上海 200433)

**摘要:** 文章<sup>①</sup>报告了一次在上海音乐学院学生中进行的有关绝对音高感 (AP) 的大规模直接试验研究。总体的音高辨识成绩很高, 并且分值与接受音乐训练的起始年龄呈正相关, 接受音乐训练的起始年龄≤5 的学生在不允许半音误差的情况下正确率为 83%, 在接受半音误差的情况下正确率为 90%。白键音高的正确率表现水平高于黑键音高, 这一效应在管弦乐演奏者中比钢琴演奏者表现更为突出; 黑白键效应不归因于早期的钢琴训练, 而是对不同音高 (C, #C, D 等) 辨识的精确度, 与这些音在西方调性音乐曲目大样本中出现的频率相关。音高所处的范围对音高辨识的准确度也有影响, 研究表明, 由中央 C 开始向上的两个八度的音高辨认准确率高于中央 C 之下的一个八度。另外, 半音误差倾向于向升高的方向, 这一证据与之前有人提出的“音高 A 在音高的辨认和判断中扮演特别的角色” (Athos et al., 2007) 这一假说相悖。

**关键词:** 上海音乐学院学生; 绝对音高; 黑/白键效应; 半音误差; 音高知觉磁铁

DOI: 10. 3969/j. issn. 1008-7389. 2014. 03. 016

中图分类号: J60-51 文献标识码: A 文章编号: 1008-7389 (2014) 03-0126-10

## 一、引言

绝对音高 (AP: Absolute pitch), 也被称作完美音感, 是一种能够在没有参照音的情况下辨认出或者给出指定音高的能力。在美国和欧洲, 拥有这种能力的人极少, 其比例小于万分之一 (cf. Bachem, 1955)。因为它的稀少性, 对于这种能力

的研究倾向于依靠小规模的样本、不正式的报告、问卷和网络调查, 所以很难记录它的有置信度的原理和特征 (Deutsch, 2013)。然而, 近期的大规模直接试验显示, 在使用声调语言 (tone language) 的音乐类学生中间, 高绝对音高感的分布是非常广泛的, 这些被试学生包括来自一个中国的音乐院校 (Deutsch et al., 2006)、台湾 (Lee and Lee,

收稿日期: 2014-04-16

基金项目: 教育部人文社科研究基金一般项目“音乐认知的理论与实践” (11YJA760039); 上海地方本科院校“十二五”内涵建设上海音乐学院“国际一流作曲学科专业群建设工程”; 中央财政支持国家重点学科“音乐学特色学科” (理论) (050402)。

作者简介: 1. 戴安娜·多伊奇, 美国加州大学圣地亚哥分校心理学系教授, 主要从事音乐听觉错觉和音乐记忆等研究; 2. 李小诺 (1968-), 女, 山东聊城人, 上海音乐学院研究员, 音乐学系党支部书记, 华东师范大学心理学博士后, 主要从事音乐心理学、作品分析研究; 3. 沈晶, 美国加州大学圣地亚哥分校心理学系博士, 主要从事音乐听觉错觉研究; 4. 于佳媛 (1994-), 女, 上海人, 复旦大学社会发展与公共政策学院社会学系本科学生。

① 原文“Absolute pitch among students at the Shanghai Conservatory of Music: A large-scale direct-test study”发表于 Journal of the Acoustical Society of America, 134 (5), November 2013 (《美国声学杂志》2013年11月)。

2010) 和中国南方 (Peng et al., 2013) 的音乐训练学校, 以及包括在美国 (Deutsch et al., 2009) 和澳大利亚墨尔本 (Wilson et al., 2012) 的音乐院校就读的能流利使用声调语言的学生。

本次研究在利用了绝对音高感在声调语言使用者中广泛分布这一条件, 对一所中国的音乐院校的学生以大样本、无自选性的抽样、细密度的数据处理方式来检测该能力的特性。该实验在上海音乐学院进行, 因为这是一所在西方的调性音乐方面有着精品课程体系的世界知名音乐院校。测试的问题反映了被试者的特征: 包括辨认音高集合和八度位置的精确性, 以及在判断错误出现时, 错误音高与实际音高的关系。

之前的研究, 包括大规模的直接试验 (Deutsch et al., 2006; Deutsch et al., 2009; Lee and Lee, 2010; Miyazaki et al., 2012; Wilson et al., 2012; Peng et al., 2013) 和雇佣更少数量的被试者或在网络上进行的调查 (Bachem, 1948; Sergeant, 1969; Miyazaki, 1988; Profita and Bidder, 1988; Baharloo et al., 1998; Baharloo et al., 2000; Gregersen et al., 1999, 2001; Vanzella and Schellenberg, 2010; Dooley and Deutsch, 2010, 2011) 显示, 绝对音高感的分布情况与早期的音乐训练有很大关系, 这种关系在本次研究中也得到验证。

研究发现, 拥有绝对音高感的人在辨认不同的音高集合时在速度和精确性方面是有差别的。总体来说, 在钢琴键盘上白键所代表的音高 (C, D, E, F, G, A, B) 在被辨认时比黑键所代表的音高 ( $^{\#}C / ^bD$ ,  $^{\#}D / ^bE$ ,  $^{\#}F / ^bG$ ,  $^{\#}G / ^bA$ ,  $^{\#}A / ^bB$ ) 的精确度和速度更高 (Sergeant, 1969; Carroll, 1975; Miyazaki, 1988, 1989, 1990; Takeuchi and Hulse, 1991, 1993; Simpson and Huron, 1994; Marvin and Brinkman, 2000; Vanzella and Schellenberg, 2010; Athos et al., 2007; Bermudez and Zatorre, 2009; Miyazaki et al., 2012)。对于这种现象, 已主要有两个颇具说服力的解释: Miyazaki (1989, 1990) 提出, 大多数拥有绝对音高感的人, 在早

年开始训练时主要使用白键, 只将黑键用作简单五指训练方式中的进阶练习。因此他提出, 在绝对音高判断时的白键优势是由于早期童年的钢琴训练而造成的。另外一个解释是由 Takeuchi and Hulse (1991, 1993) 提出的。他指出, 基于普遍的观察, 白键的音高在西方调性音乐中出现频率比黑键音高要高, 因此它能被更好地识别 (同时参照 Simpson and Huron, 1994; Marvin and Brinkmann, 2000; Vanzella and Schellenberg, 2010)。这两个假设在本次研究中均被检验, 并将所用的音高集合都考虑在内。

此外, 研究发现, 音符的辨认与八度的位置有关。在几个被试规模较小的研究中发现, 绝对音感拥有者在中央八度区域辨识精确度更高 (Bachem, 1948; Rakowski, 1978; Rakowski and Morawska - Bungeler, 1987; Miyazaki, 1989)。在本研究中, 音高辨识精确度的比较在中央音区的三个八度中进行: 从中央 C 开始的八度、其向上的一个八度和向下的一个八度。

更进一步的研究显示, 被试者对音高的错误判断倾向于高出实际音高的方向。在网络调查中, Athos et al. (2007) 发现, 虽然半音误差在升高和降低的方向上都会出现, 但随着年龄的增长越来越呈现出向升高方向的倾向 (同时参照 Ward, 1999)。本次研究, 在同时考虑了半音误差和大于半音误差的情况下, 检测了这一有关错误方向的结果。作为一个相关联的现象, 他们发现 $^{\#}G$  经常被误判为 A, Athos et al. (2007) 称, 因为音乐会 A (440Hz) 经常被用作管弦乐队调音的参照音, 所以 A 的音高集合可能会起到“知觉磁铁” (Kuhl, 1991) 的作用, 由此扩大了听者知觉中对这个音的认定范围。这个假设在本研究中也得到检测。

## 二、研究方法

### 1. 研究步骤

本次对被试者绝对音高的测试与 Deutsch et al., (Deutsch et al., 2006; Deutsch et al., 2009), Dooley and Deutsch (2010, 2011), 以及 Peng et al.

(in press) 所作的研究中相同。被听辨的音为分布在从  $C_3$  (131Hz) 到  $B_5$  (988Hz)<sup>①</sup> 之间的三个八度范围内的 36 个音, 被试者需连续地听辨并记录每个音 (如  $C, \#C, D$  等)。为了把相关的音高对判断的影响减到最小, 每一个连续呈现的音符都相隔超过一个八度。这些音符都是用 Kurzweil K2000 合成器以  $A_4 = 440\text{Hz}$  为基准生成的。它们被分成 3 个实验音组来播放, 每组 12 个音; 音与音之间有 4.25 秒的间隔, 每一组之间有 39 秒的暂停。在三个实验组之前, 有一个由 4 个连续出现的音组成的练习音组。无论是练习音组还是试验音组都是不提供反馈的。这些音通过一个光盘播放机、电子扩音器和两个扬声器向被试者播放。

## 2. 被试

被试由 160 名上海音乐学院的一年级和二年级学生组成 (48 名男性、112 名女性; 平均年龄 18.98 岁; 年龄范围: 18-23 岁)。他们的学业都集中在西方调性音乐领域, 并且他们的音乐训练都是从学习西方乐器开始。被试者都是在他们有关西方调性音乐的必修课上接受的测试。所有该课上的学生都被邀请参与, 并且都同意接受测试。因此, 所获得的数据能代表学习西方调性音乐为主的音乐院校学生的状况。所有被试者都是声调语言的本土使用者, 并且他们都说普通话。

## (三) 研究结果

### 1. 被试者特性对绝对音高水平的影响

本实验评价了接受音乐训练的起始年龄以及被试的性别对绝对音高能力的影响。为了检验音乐训练起始年龄的影响, 被试总体被分成了三组: 接受音乐训练起始年龄  $\leq 5$  (个数  $n = 78$ ; 18 位男性, 60 名女性), 年龄在 6-9 之间 ( $n = 57$ ; 14 位男性, 43 位女性), 和年龄  $\geq 10$  ( $n = 25$ ; 16 位男性, 9 位女性)。我们对每一组被试者在允许和不允许半音误差的两种情况下的平均正确率进行统计, 结果如图 1 所示。可以看出, 所有的表现水平都很高, 并且, 接受音乐训练的起始年龄对结果有着巨大的影响。当不允许半音误差时, 接受音乐训练的起始年龄这一变量的影响的显著性非常高 [ $F(2, 157) = 47.84, p < 0.001$ ]。经过邦费罗尼修正的事后比较发现, 接受音乐训练的起始年龄  $\leq 5$  组与年龄 6-9 组间的差异有高显著性 ( $p < 0.01$ ), 这种显著性在年龄  $\leq 5$  组与年龄  $\geq 10$  组 ( $p < 0.001$ ) 和年龄 6-9 组与年龄  $\geq 10$  组之间同样存在。当允许半音误差时, 接受音乐训练的起始年龄这一变量的影响的显著性也非常高 [ $F(2, 157) = 61.77, p < 0.001$ ]。经过邦费罗尼修正的事后比较发现, 接受音乐训练的起始年龄  $\leq 5$  组与年龄 6-9 组间的差异有高显著性 ( $p < 0.01$ ), 这种显著性在年龄  $\leq 5$  组与年龄  $\geq 10$  组 ( $p < 0.001$ ) 和年龄 6-9 组与年龄  $\geq 10$  组之间同样存在。

允许半音误差的两种情况下的平均正确率进行统计, 结果如图 1 所示。可以看出, 所有的表现水平都很高, 并且, 接受音乐训练的起始年龄对结果有着巨大的影响。当不允许半音误差时, 接受音乐训练的起始年龄这一变量的影响的显著性非常高 [ $F(2, 157) = 47.84, p < 0.001$ ]。经过邦费罗尼修正的事后比较发现, 接受音乐训练的起始年龄  $\leq 5$  组与年龄 6-9 组间的差异有高显著性 ( $p < 0.01$ ), 这种显著性在年龄  $\leq 5$  组与年龄  $\geq 10$  组 ( $p < 0.001$ ) 和年龄 6-9 组与年龄  $\geq 10$  组之间同样存在。当允许半音误差时, 接受音乐训练的起始年龄这一变量的影响的显著性也非常高 [ $F(2, 157) = 61.77, p < 0.001$ ]。经过邦费罗尼修正的事后比较发现, 接受音乐训练的起始年龄  $\leq 5$  组与年龄 6-9 组间的差异有高显著性 ( $p < 0.01$ ), 这种显著性在年龄  $\leq 5$  组与年龄  $\geq 10$  组 ( $p < 0.001$ ) 和年龄 6-9 组与年龄  $\geq 10$  组之间同样存在。

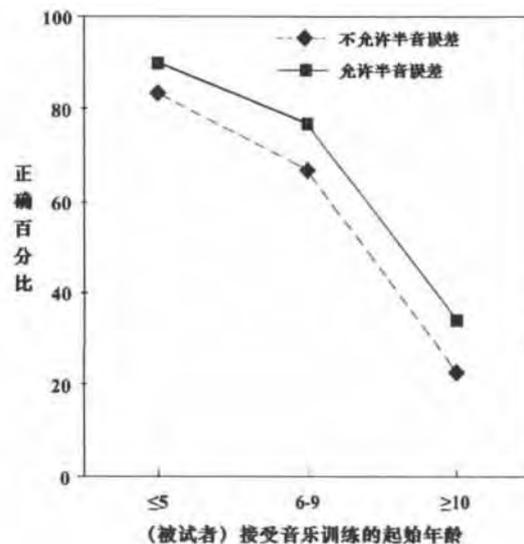


图 1 不同 (接受音乐训练起始) 年龄组的绝对音高感测试的平均正确百分率<sup>②</sup>

我们在每个接受音乐训练的起始年龄组分别测

① 常见的音高的分组标记法有两种, 一种是 Helmholtz Pitch Notation (简称 HPN), 其标记由大小写字母加数字组成, 如国际标准音高 (440Hz) 标记为  $a^1$ , 我国多采用这种标记法。另一种是 Scientific Pitch Notation (简称 SPN), 是国际上常用的一种记法, 其标记全部由大写字母加数字组成, 数字全部用下标, 如国际标准音高 (440Hz) 标记为  $A_4$ , 其它音高依次类推。此文中音高采用 SPN 标记法。

② 年龄  $\leq 5$  的被试:  $n = 78$ ; 年龄 6-9:  $n = 57$ ; 年龄  $\geq 10$ :  $n = 25$ 。

量了性别对绝对音高感的影响, 结果显示, 在每种情况下差异都是不显著的。特别是不允许半音误差时, 性别的影响在接受音乐训练起始年龄 $\leq 5$ 组 [ $t(76) = 0.42, p > 0.1$ ], 年龄6-9组 [ $t(55) = 0.87, p > 0.1$ ] 和年龄 $\geq 10$ 组 [ $t(23) = 0.63, p > 0.1$ ] 都是不显著的。当允许半音误差时, 性别的影响在年龄 $\leq 5$ 组 [ $t(76) = 0.96, p > 0.1$ ], 年龄6-9组 [ $t(55) = 0.26, p > 0.1$ ] 和年龄 $\geq 10$ 组 [ $t(23) = 0.83, p > 0.1$ ] 也都是不显著的。

由于接受音乐训练的起始年龄 $\geq 10$ 组的表现水平较低, 其余的分析将只在年龄 $\leq 9$ 的被试者中进行 ( $n = 135$ )。

## 2. 音响刺激的特性对绝对音高水平的影响

### (1) 来自音高集合的影响

如上所述, 在一些研究中发现, 白键比黑键所代表的音高能更好地被辨识, 关于这种现象曾有两个主要的假设。第一个假设提出, 这种影响是早期的钢琴训练所造成的; 第二个假设提出, 这种影响是因为在西方调性音乐中白键音出现的频率更高。我们用了几种类型的分析来检测这个问题。首先, 再次验证 (关于黑白键音的) 基本影响: 把所有音乐训练起始年龄 $\leq 9$ 的被试在白键和黑键音高的表现进行比较, 结果如图2所示, 可以看到明显的黑/白键效应 (错报率都极低, 白键的错报率仅低于黑键0.49%)。以接受音乐训练的起始年龄 ( $\leq 5$ 对应6-9) 为被试间因子, 键的音高 (黑键对应白键) 为被试内因子进行重复情况下的方差分析 (ANOVA)。接受音乐训练的起始年龄 [ $F(1, 133) = 12.6, p = 0.001$ ] 和黑白键音高 [ $F(1, 133) = 55.78, p < 0.001$ ] 所产生的影响有高显著性; 这两个因素的交互作用是不显著的 [ $F(1, 133) = 2.84, p > 0.05$ ]。因此基本的黑白键效应被验证。

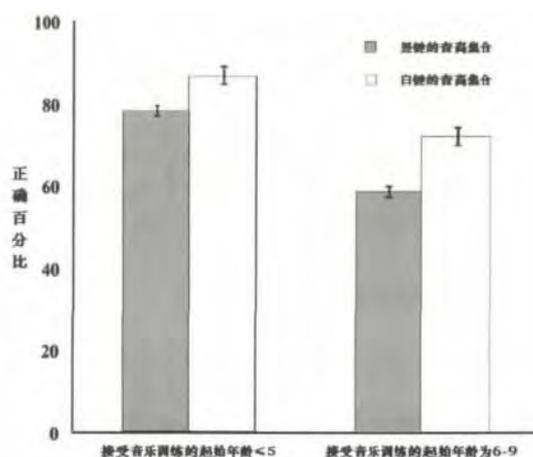


图2 黑键音高和白键音高的正确率百分比<sup>①</sup>

为了检测黑白键效应是否能归因于早期的钢琴训练, 不同的乐器学习者被分成两个专业组进行比较。第一组由在钢琴上开始音乐训练的钢琴专业的被试者组成, 并且他们现在也以钢琴为主修乐器。第二组由在非键盘乐器上开始音乐训练的管弦系被试者组成, 并且他们现在的主修乐器也为管弦类; 这组由20名弦乐演奏者、2名长笛吹奏者、1名圆号吹奏者和1名长号吹奏者组成。

被试演奏乐器种类的影响在音乐训练的起始年龄 $\leq 5$ 组和年龄6-9组被分别测量, 结果如图3所示。年龄 $\leq 5$ 组由20位钢琴演奏者和12位管弦乐演奏者组成。在该组中, 黑/白键效应有高显著性 [ $F(1, 29) = 17.80, p < 0.001$ ], 全体被试在白键上的表现更好 (错报率也都极低, 白键的错报率仅低于黑键0.45%)。演奏乐器的种类对于整体的影响是有显著性的 [ $F(1, 29) = 5.25, p < 0.05$ ], 钢琴演奏者正确百分率比管弦乐演奏者的要高。重要的、且与假设中的期望相反的是, 虽然早期的钢琴训练对于此现象是有影响的, 这两个因素间的交互作用也是有显著性的 [ $F(1, 29) = 4.69, p < 0.05$ ], 但是, 管弦乐演奏者比钢琴演奏者显示出了更大的黑/白键效应。年龄6-9组由

① 分别在音乐训练的起始年龄 $\leq 5$ 的和年龄6-9两组中呈现。

12位钢琴演奏者和13位管弦乐演奏者组成，(在该组中)黑/白键效应有高显著性 [ $F(1, 23) = 12.56, p < 0.01$ ]; 然而，演奏者的乐器种类的影响 [ $F(1, 23) = 0.02, p > 0.1$ ] 以及这两个变量间的影响 [ $F(1, 23) = 0.46, p > 0.1$ ] 是无显著性的。从这些分析中我们可以概括出，黑/白键效应不能被早期的钢琴训练所解释(即早期的钢琴训练不能比学习其他乐器更强地导致黑/白键效应)。

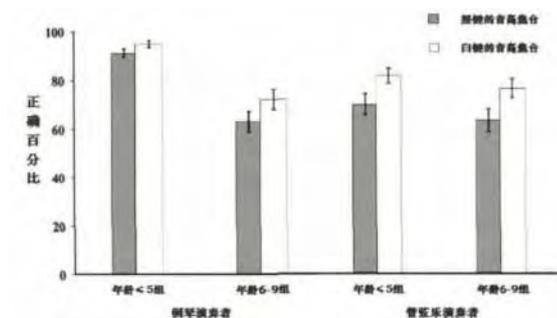


图3 接受音乐训练的起始年龄≤5和年龄在6-9被试的黑键和白键音高辨识正确率(百分比)①

另一个被检验的假设是：黑/白键效应是由白键的音高在西方调性音乐中的高出现率所造成的。在所有接受音乐训练起始年龄≤9的被试者中，把每一个音集合的正确率百分比分开统计。在Barlow和Morgenstern的音乐主题电子词典中(Barlow and Morgenstern's Electronic Dictionary of Musical Themes) (2008)，这些音出现的百分比与每个音集合的出现次数是有相互关系的。合成图显示在图4中。音符的辨识精确度与不同音集合的出现频率有着显著性相互关系 ( $R^2 = 0.6489; p < 0.01$ )。这一发现尤其与上海音乐学院学生的西方调性音乐课程中所包含的全部曲目有明显的关系，虽然这些曲目主要来源于西方调性音乐，但与西方音乐院校

不同的是，也较多的来源于俄罗斯和中国。因此这一发现也为黑/白键效应源于不同的音高集合的出现频率提供了更多的证据。

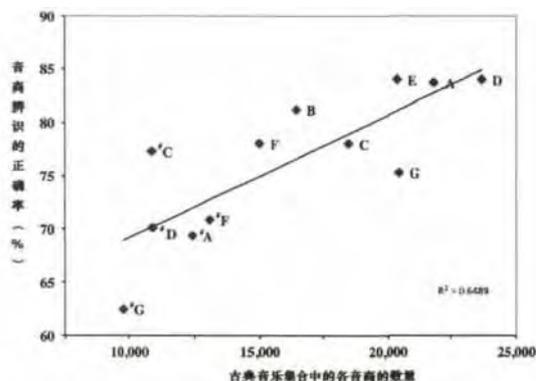


图4 绝对音感测试中每个音高集合的正确率与曲目大样本中的出现次数的线性关系②

### (2) 来自八度位置的影响

如上所述，在一些小样本的研究中发现，拥有绝对音高的人在辨识中央八度的音时精确度更高。为了检测八度位置对于所有接受音乐训练起始年龄≤9的被试者的影响，我们分开计算了(被试者在)三个八度中的每一个八度的、以及允许和不允许半音误差两种情况下的绝对音高能力。这三个八度分别是： $C_3 - B_3$  ( $F_0 = 131 - 245\text{Hz}$ );  $C_4 - B_4$  ( $F_0 = 262 - 494\text{Hz}$ ), and  $C_5 - B_5$  ( $F_0 = 523 - 988\text{Hz}$ )。如图5所示。在不允许半音误差的情况下，在中央八度和其上的一个八度中的表现水平大致相同，在中央八度的向下一个八度中表现水平较低。以接受音乐训练起始年龄(≤5对应6-9)为被试间因子，八度范围(较低，中央，较高)为被试内因子进行重复情况下的方差分析(ANOVA)。来自接受音乐训练起始年龄的影响有高显著性 [ $F(1, 133) = 12.29, p = 0.001$ ]，八度范围的影响也有高显著性 [ $F(2, 266) = 25.40, p <$

① 这份数据分别显示了两种专业群体的被试。钢琴演奏者：专业为钢琴，在钢琴上开始音乐训练并且目前的主修乐器是钢琴。管弦乐演奏者：在管弦乐器上开始音乐训练并且目前的主修乐器也是同类的乐器。

② 由于是对每个音高集合的统计，等音(enharmonically equivalent notes)(例如 $\sharp F$ 和 $\flat G$ )被等值处理。数据来自接受音乐训练起始年龄≤9的所有被试者。

0.001]; 然而, 开始接受音乐训练的年龄与八度范围的交互作用无显著性 [ $F(2, 266) = 1.44, p > 0.1$ ]。经过邦费罗尼修正的事后比较发现, 在较低和中央八度间的(辨识)差异有高显著性 ( $p < 0.001$ ), 并且在较低和较高八度间的(辨识)差异也有高显著性 ( $p < 0.001$ ); 然而, 在中央和较高八度间的(辨识)差异无显著性 ( $p > 0.1$ )。在允许半音误差的情况下, 来自接受音乐训练起始年龄的影响也有高显著性 [ $F(1, 133) = 12.13, p = 0.001$ ], 八度范围的影响也有高显著性 [ $F(2, 266) = 17.67, p < 0.001$ ]; 然而, 接受音乐训练起始年龄与八度范围的交互作用无显著性 [ $F(2, 266) = 1.34, p > 0.1$ ]。在较低和中央八度间的(辨识)差异有高显著性 ( $p < 0.001$ ), 并且在较低和较高八度间的(辨识)差异也有高显著性 ( $p < 0.001$ ); 然而, 在中央和较高八度间的(辨识)差异无显著性 ( $p > 0.1$ )。(在本次试验中) 这些由八度范围带来的影响与之前已有的小规模被试研究的结果是相似的。我们可以推测, 与音高集合所带来的影响相似, 它们是由于在不同音高范围内出现频率不同而造成的。计算西方调性音乐曲目大样本中每个音在不同八度中出现的频率是探索这一推论的一种方法。

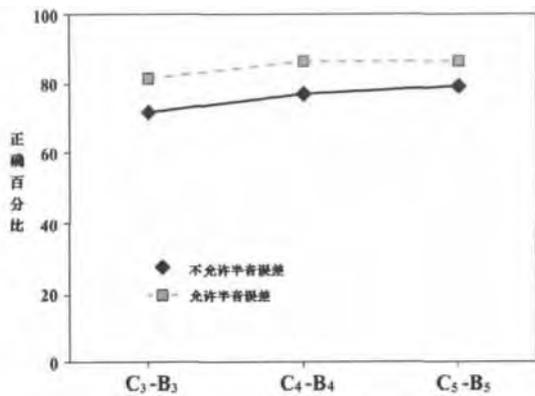


图5 不同八度位置的绝对音高平均正确百分率<sup>①</sup>

### 3. 音符辨识错误的特征

我们接下来通过被辨识的音和真实音的差距, 来考虑当发生辨别错误时音符辨别的特性。首先我们选择所有音乐训练起始年龄 $\leq 9$ 的被试, 将其在辨别白键音高和黑键音高时所辨别出的音高与真实音高的关系分开统计。如图6所示, 在绝大多数的应答中, (被试)所辨别出的音与真实的音是相同的。这就像图1中所期望的那样, 它显示了这一部分被试者很高的表现水平。接下来出现的最多的错误种类是与真实的音高相差一个半音——通常被定义为半音误差; 再接下来一种最多的应答种类是与真实的音高相差两个半音; 与真实音高相差3个、4个或5个半音的应答是非常少的。

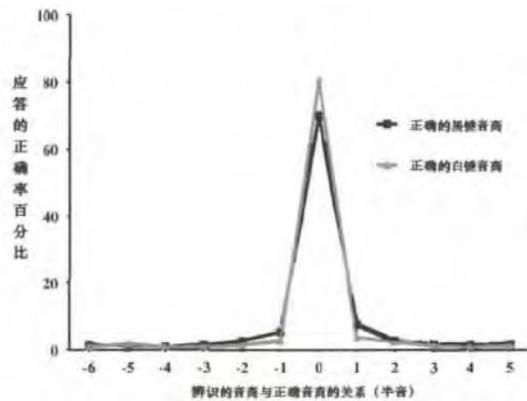


图6 所辨识的音高与真实音高距离在总体中所占的百分比<sup>②</sup>

为了检测判断的音高和真实音高的距离之间是否相关, 我们对其展开双因素方差分析, 取升高和降低方向误差的平均水平, 并以真实音所代表的键的种类(黑/白键)和真实音高与判断音高的距离(距离为零时也被计入)作为影响因素。真实音高的键的种类(黑/白键) [ $F(1, 134) = 52.83, p < 0.001$ ] 和真实音高与判断音高的距离 [ $F(5, 134) = 43.95, p < 0.001$ ] 都有高显著性。这两个因素间的相互作用也有高显著性 [ $F(5, 670)$ ]

① C<sub>3</sub> - B<sub>3</sub> (F<sub>0</sub> = 131 - 245Hz); C<sub>4</sub> - B<sub>4</sub> (F<sub>0</sub> = 262 - 494Hz), 和 C<sub>5</sub> - B<sub>5</sub> (F<sub>0</sub> = 523 - 988Hz)。数据来自音乐训练起始年龄 $\leq 9$ 的所有被试者。

② 数据来自音乐训练起始年龄 $\leq 9$ 的所有被试者。

= 10.81,  $p < 0.001$ ], 表示黑键音高被错认成白键音高的趋势比白键音高被错认成黑键音高的趋势更强。

经过邦费罗尼修正的事后比较联合显示, 无论对于黑键还是白键音高, 其真实音高与判断音高的距离对于一个半音与两个半音之间和两个半音与三个半音之间差异的影响有显著性 ( $p < 0.001$ )。然而, 对于三个与四个半音之间 ( $p > 0.1$ )、四个与五个半音之间 ( $p > 0.1$ ) 和五个与六个半音之间 ( $p > 0.1$ ) 差异的影响无显著性。更进一步地经过邦费罗尼修正的事后比较显示, 当仅分析白键音高时, 真实音高与判断音高的距离对于一个半音与两个半音之间 ( $p = 0.05$ ) 和两个半音与三个半音之间 ( $p < 0.001$ ) 差异的影响有显著性, 然而, 对于三个与四个半音之间 ( $p > 0.1$ )、四个与五个半音之间 ( $p > 0.05$ ) 和五个与六个半音之间 ( $p > 0.1$ ) 差异的影响无显著性。当仅分析黑键音高时, 真实音高与判断音高的距离对于一个半音与两个半音之间 ( $p < 0.001$ ) 和两个半音与三个半音之间 ( $p = 0.05$ ) 差异的影响有显著性, 然而, 对于三个与四个半音之间 ( $p > 0.1$ )、四个与五个半音之间 ( $p > 0.1$ ) 和五个与六个半音之间 ( $p > 0.1$ ) 差异的影响无显著性。以上研究表明, 当辨识错误发生时, 辨识出的音高倾向于与真实音高相近, 这是符合直觉预期的, 但这一结果至今尚未正式成立。

我们接下来探索辨别误差是否有偏升高方向或者降低方向的趋势。为了检验应答的各错误方向(升高或降低的方向)的比率是否有显著性差异, 对其展开双因素方差分析, 只考虑半音误差, 以键的种类(黑/白键)和错误的方向(升高或降低的方向)作为影响因素。就像预期的那样, 黑键与白键之间的差异有高显著性 [ $F(1, 134) = 31.59, p < 0.001$ ], 同时黑键的错误更多。偏升高方向和偏降低方向误差之间的比较也有高显著性 [ $F(1, 134) = 6.97, p < 0.01$ ], 偏升高方向的误差更多。事后比较显示, 对于黑键音高, 偏升高方向和偏降低方向误差之间的差异有显著性 ( $p <$

0.05)。对于白键音高, 这种差异显示出了无显著性的趋向 ( $p = 0.09$ ); 这里的缺乏显著性可以归因于(在判断中)白键音高误差数极少。

我们接下来(通过数据)研究了偏升高方向或偏降低方向的趋势是否限于半音误差, 或者它倾向于所辨识的音与真实音的距离更大的误差。为了探索这一现象, 对距离为2、3、4、5个半音的误差展开双因素方差分析, 还是以键的种类(黑/白键)和错误的方向(偏升高方向或偏降低方向)作为影响因素。还是像预期的那样, 黑键与白键之间的差异有高显著性 [ $F(1, 134) = 7.99, p < 0.01$ ], 同时黑键的错误更多。然而, 偏升高方向和偏降低方向误差之间的比较无显著性 [ $F(1, 134) = 1.25, p > 0.1$ ]。这显示偏升高方向和偏降低方向的误差仅限于半音误差。

我们再接下来探索了音高集合A在音高辨别中扮演“知觉磁铁”的假设(Athos et al., 2007)。如果这一假设是正确的, 那么 $\sharp G$ 应该更多被错误地辨识为A, 而不是G, 以及 $\sharp A$ 应该更多被错误地辨识为A, 而不是B。在这里发现, 当正确的音高是 $\sharp G$ 时, 它被误认成A的概率是7.9%, 与此同时它被误认成G的概率是6.17%。这种方向上的差异是符合知觉磁铁假设的预期的, 虽然这个差异没有显著性 [ $t(134) = 0.89, p > 0.1$ ]。然而, 当正确的音高是 $\sharp A$ 时, 它被误认成A的概率是3.21%, 与此同时它被误认为B的概率比这要大很多, 为12.59%。将 $\sharp A$ 误认为B而不是A的趋势有高显著性 [ $t(134) = 4.25, p < 0.001$ ], 这与知觉磁铁的假设相悖。因此这一结果可以说明音符误判的总体趋势是偏高一个半音。

#### 四、讨论

在本次对绝对音高能力的测试研究中, 总体正确率水平非常高, 与之前的对于声调语言使用者的大规模直接试验的结果是一致的, 这些试验曾在中国北京的中央音乐学院(Deutsch et al., 2006)、国立台湾师范大学的接受过音乐训练的学生(Lee

and Lee, 2010) 以及中国南部的四个大学的音乐系 (Peng et al., 2013) 进行, 也曾在非声调语言使用环境内的美国南加州大学桑顿音乐学院 (Deutsch et al., 2009)、澳大利亚墨尔本的音乐家 (Wilson et al., 2012) 中选取声调语言使用者参与。这与在伊士曼音乐学院 (Deutsch et al., 2006)、美国南加州大学桑顿音乐学院 (Deutsch et al., 2009) 和波兰的弗里德里克·肖邦音乐大学 (Miyazaki et al., 2012) 对非声调语言使用者测试中, 其绝对音感普遍低的状况形成了对比。在日本的新泻大学, 人们使用的是音高重音语言 (pitch accent language), 其音乐专业学生绝对音感分布率虽然比声调语言使用者中的分布要低 (Miyazaki et al., 2012), 但比非声调语言者要高。

之前的研究也验证了绝对音感的分布与接受音乐训练的起始年龄之间具有极强的联系, 这一结果已经由 Deutsch 在大规模的直接测试 (Deutsch et al., 2006; Deutsch et al., 2009), 以及 Lee and Lee (2010); Miyazaki et al. (2012); Wilson et al. (2012); Peng et al. (2013) 的其他小规模被试研究或网络调查中获得。(Bachem, 1948; Sergeant, 1969; Miyazaki, 1988; Profita and Bidder, 1988; Baharloo et al., 1998; Baharloo et al., 2000; Gergersen et al., 1999, 2001; Vanzella and Schellenberg, 2010; Dooley and Deutsch, 2010, 2011.)

如图 3 所示, 初学乐器为钢琴的被试者的整体表现比初学乐器是其他乐器的被试者要高, 因为试验中刺激因素是钢琴音, 钢琴演奏者的这一优势可以归因于与钢琴音高的更多接触, 然而这一解释是不能完全确定的。对于绝对音感的研究, 大多主要围绕钢琴演奏者 (cf. Miyazaki, 1989) 或以钢琴演奏者为最大的乐器演奏者组进行 (cf. Lee and Lee, 2010), 很少针对不同乐器组的演奏者 (绝对音高的) 分布状况而展开。在一次网络调查研究 (Vanzella and Schellenberg, 2010) 中发现, 在音乐训练的起始年龄 >7 的被试中, 在钢琴上开始音乐训练的被试其固定音高成绩优于在其他乐器上开始音乐训练的被试, 尽管采用不同 (于钢琴)

的音色。在之前的研究中, 当接受音乐训练的起始年龄 ≤5 的钢琴演奏者的表现比其他乐器演奏者要高, 但在音乐训练起始年龄 6-9 岁的情况下就不是这样。将这两个研究放在一起看的话可以指出, 早期钢琴训练对于拥有绝对音高感有小优势。这一优势也许是在于, 因为在钢琴键盘上的每一个键在敲击时都会产生特定的音高, 并且这些音高在钢琴键盘从左到右的顺序是单调递增的。作为比较, 演奏小提琴需要演奏者寻找弦上的合适位置来发出正确的音高, 以及 (在小提琴上) 大多数音高产生的方式是多种的; 音高产生的模糊复杂性在其他非键盘乐器中也存在。也有可能因为钢琴的音色, 这一音色的尖锐刺激也许尤其有利于绝对音高感的持有。与此结果相似, 对于钢琴和其他乐器的演奏者, 钢琴音色的音高比其他乐器音色的音高都更容易被辨认 (Marvin and Brinkman, 2000; Vanzella and Schellenberg, 2010)。

在白键较之于黑键的优势方面, 也验证了其他研究中运用多种范式得到的研究成果 (Sergeant, 1969; Carroll, 1975; Miyazaki, 1988, 1989, 1990; Takeuchi and Hulse, 1991, 1993; Simpson and Huron, 1994; Marvin and Brinkman, 2000; Vanzella and Schellenberg, 2010; Athos et al., 2007; Bermudez and Zatorre, 2009; Miyazaki et al., 2012)。就像之前描述的那样, 本研究中的黑/白键效应不能归因于早期的钢琴训练, 因为在管弦乐演奏者身上发现了比钢琴演奏者更大的黑白键效应; 然而, 在本研究中发现, 这一现象与西方调性音乐大样本中不同音高集合的出现频率有相关性。

瓦德 (Ward, 1999) 的论证以及阿陀斯等人的 (Athos et al., 2007) 网络实验得出的“半音误差有向升高方向的倾向”这一结论, 在本研究中也重新验证; 然而, 这种倾向仅限于半音误差而不支持大于半音的误差。同时, 本次研究发现与 A 音 (在音高辨别中) 扮演知觉磁铁的假说相悖的结果, 并进一步证明音符误判的总体趋势是偏高一个半音。

值得注意的是,虽然所使用的音高( $A_4 = 440\text{Hz}$ )被认为是标准音高,但是世界范围内不同的管弦乐队经常用的音高是与之有细微差别的。因此,可能有一些误判是被音高的这种轻微差别所影响的。

总之,本次大规模研究验证了之前所提出的某些结论,比如在声调语言使用者中绝对音感的高分布率,绝对音感与早期开始音乐训练的年龄的联系,白键较之于黑键音高更高的表现水平,八度范围的影响,以及半音误差的偏升高方向趋势。这些结论也提供了与黑/白键效应假设相反的证据:本研究发现,管弦乐演奏者中的这一效应比钢琴演奏者更强,显示了这一效应不能归因于早期的钢琴训练。更进一步地,辨识不同音高集合的精确度与它

们在西方调性音乐大样本中的出现频率有相关性,这说明黑/白键效应可以归因于白键音高的出现频率比黑键更高。另外,本研究的发现,与音符A扮演知觉磁铁的这一假设是不一致的是,音高辨识中的错误趋势是偏升高方向的。希望对于绝对音感分布广泛人群能进行更多大规模的研究,以使我们对这一迷人的现象有更多的了解。

作者附言:感谢乐竟泓(Jinghong Le)对被试进行的测试工作;同时感谢大卫·休伦(David Huron)从巴洛(Barlow)和莫根斯坦(Morgenstern, 2008)所提供的从古典音乐全部曲目大样本中统计的每个音高集合的出现频数。

#### 参考文献:

- Athos, E. A., Levinson, B., Kistler, A., Zemansky, J., Bostrom, A., Freimer, N., and Gitschier, J. (2007). "Dichotomy and perceptual distortions in absolute pitch ability," *Proc. Nat. Acad. Sci., U. S. A.* 104, 14795 - 14800.
- Bachem, A. (1948). "Chroma fixation at the ends of the musical frequency scale," *J. Acoust. Soc. Am.* 20, 704 - 705.
- Bachem, A. (1955). "Absolute pitch," *J. Acoust. Soc. Am.* 27, 1180 - 1185.
- Baharloo, S., Johnston, P. A., Service, S. K., Gitschier, J., and Freimer, N. B. (1998). "Absolute pitch: An approach for identification of genetic and nongenetic components," *Am. J. Hum. Genet.* 62, 224 - 231.
- Baharloo, S., Service, S. K., Risch, N., Gitschier, J., and Freimer, N. B. (2000). "Familial aggregation of absolute pitch," *Am. J. Hum. Genet.* 67, 755 - 758.
- Barlow, H., and Morgenstern, S. (2008). "The electronic dictionary of musical themes," <http://multimedialibrary.com/barlow> (Last viewed 7/30/2013).
- Bermudez, P., and Zatorre, R. J. (2009). "A distribution of absolute pitch ability as revealed by computerized testing," *Music Percept.* 27, 89 - 101.
- Carroll, J. B. (1975). "Speed and accuracy of absolute pitch judgments: Some latter-day results," *Educational Testing Service Research Bulletin* (Educational Testing Service, Princeton, NJ).
- Deutsch, D. (2013). "Absolute pitch," in *The Psychology of Music*, 3rd ed., edited by D. Deutsch (Elsevier, San Diego) pp. 141 - 182.
- Deutsch, D., Dooley, K., Henthorn, T., and Head, B. (2009). "Absolute pitch among students in an American music conservatory: Association with tone language fluency," *J. Acoust. Soc. Am.* 125, 2398 - 2403.
- Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., and Xu, H. -S. (2006). "Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: Prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period," *J. Acoust. Soc. Am.* 119, 719 - 722.
- Dooley, K., and Deutsch, D. (2010). "Absolute pitch correlates with high performance on musical dictation," *J. Acoust. Soc. Am.* 128, 890 - 893.
- Dooley, K., and Deutsch, D. (2011). "Absolute pitch correlates with high performance on interval naming tasks," *J. Acoust.*

*Soc. Am.* 130, 4097 – 4104.

Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., and Marvin, E. W. (1999). “Absolute pitch: Prevalence, ethnic variation, and estimation of the genetic component,” *Am. J. Hum. Genet.* 65, 911 – 913.

Gregersen, P. K., Kowalsky, E., Kohn, N., and Marvin, E. W. (2001). “Early childhood music education and predisposition to absolute pitch: Teasing apart genes and environment,” *Am. J. Med. Genet.* 98, 280 – 282.

Kuhl, P. K. (1991). “Human adults and human infants show a ‘perceptual magnet effect’ for the prototypes of speech categories, monkeys do not,” *Percept. Psychophys.* 50, 93 – 107.

Lee, C. -Y., and Lee, Y. -F. (2010). “Perception of musical pitch and lexical tones by Mandarin speaking musicians,” *J. Acoust. Soc. Am.* 127, 481 – 490.

Marvin, E. W., and Brinkman, A. R. (2000). “The effect of key color and timbre on absolute pitch recognition in musical contexts,” *Music Percept.* 18, 111 – 137.

Miyazaki, K. (1988). “Musical pitch identification by absolute pitch possessors,” *Percept. Psychophys.* 44, 501 – 512.

Miyazaki, K. (1989). “Absolute pitch identification: Effects of timbre and pitch region,” *Music Percept.* 7, 1 – 14.

Miyazaki, K. (1990). “The speed of musical pitch identification by absolute pitch possessors,” *Music Percept.* 8, 177 – 188.

Miyazaki, K., Makomaska, S., and Rakowski, A. (2012). “Prevalence of absolute pitch: A comparison between Japanese and Polish music students,” *J. Acoust. Soc. Am.* 132, 3484 – 3493.

Peng, G., Deutsch, D., Henthorn, T., Su, D. -J., and Wang, W. S. -Y. (2013). “Language experience influences nonlinguistic pitch perception,” *J. Chin. Ling.* 41, 447 – 467.

Profita, J., and Bidder, T. G. (1988). “Perfect pitch,” *Am. J. Med. Genet.* 29, 763 – 771.

Rakowski, A. (1978). “Investigations of absolute pitch,” in *Proceedings of the Research Symposium on the Psychology and Acoustics of Music*, edited by E. P. Asmus, Jr. (University of Kansas, Lawrence, KS), pp. 45 – 57.

Rakowski, A., and Morawska - Bungeler, M. (1987). “In search of the criteria for absolute pitch,” *Arch. Acoust.* 12, 75 – 87.

Sergeant, D. (1969). “Eperimental investigation of absolute pitch,” *J. Res. Music. Ed.* 17, 135 – 143.

Simpson, J., and Huron, D. (1994). “Absolute pitch as a learned phenomenon: Evidence consistent with the Hick – Hyman Law,” *Music Percept.* 12, 267 – 270.

Takeuchi, A. H., and Hulse, S. H. (1991). “Absolute – pitch judgments of black and white – key pitches,” *Music Percept.* 9, 27 – 46.

Takeuchi, A. H., and Hulse, S. H. (1993). “Absolute pitch,” *Psych. Bull.* 113, 345 – 361.

Vanzella, P., and Schellenberg, E. G. (2010). “Absolute pitch: Effects of timbre on note – naming ability,” *PLoS ONE* 5: e15449.

Ward, W. D. (1999). “Absolute pitch,” in *The Psychology of Music*, 2nd ed., edited by D. Deutsch (Academic, San Diego), pp. 265 – 298.

Wilson, S. J., Lusher, D., Martin, C. L., Rayner, G., and McLachlan, N. (2012). “Intersecting factors lead to absolute pitch acquisition that is maintained in a ‘fixed do’ environment,” *Music Percept.* 29, 285 – 296.

【责任编辑: 张 曦】