

儿童声音的正常发育

循证标准的发展

梅特·彼德逊

致我的女儿

前言

在一些诸如音乐和歌曲这样复杂的领域中，个人参数的技术测量是在最近几年才被接受。正常声音发育的客观参数非常重要，在发现和描述一些病理偏差时则显得更为重要。在某种程度上，我们也可以用一些可测量的参数来描述正常声音发育的不同特质。

在男孩和女孩身体和智力的发育过程中，荷尔蒙起了非常重要的作用。在本项工作中，我们通过对许多参数的观察，将弄清楚荷尔蒙对两性声音发育所起的作用。我希望本项研究能够抛砖引玉，激励更多类似的研究。我们还将在本书中强调一些在今后的研究中比较有趣的话题。

研究青少年并记录他们的声音发育是一项压力很大的工作。在这项工作中，许多不同医学专业的同事给了我很多支持。本项研究有许多实际意义。研究结果（文中图表）被喉科专家、语音矫正师和音乐老师用于日常工作中。另外，青春期的荷尔蒙水平测试也成为了合唱团的一项规定。

这本书是基于我在 1991 年德国音乐教师协会年会上应邀所做的报告以及我的论文《青春期生物学发育与正常声音（1997）》而成。此项研究曾经在医学杂志上发表。作为一篇小儿康复研究论文，周围的许多人鼓励我将此项研究公诸于世。这本书首先是在德国出版。在 COST2103 高级语音评估的研究课题中，共有 18 个欧盟国家参与，这本最新出版的书用英语记录了语音发育的各个领域。

文件的数字化由哥本哈根的 Lars Paaske、莱比锡的 Grit Buhring 完成。

简介

在测量一些受过发音训练的男孩和女孩时，我们让他们朗读一篇标准的文章，在朗读的过程中使用音域图和基频 (F0) 对他们进行测试。这些方法基于：(1) 由 Voice Profile 软件绘制的音域图 8301 所具备功能的发展和评估能力。(2) 使用电声门描绘和速闪方法共同测量人在说话时的声带振动。声音分析比较在以下的测量基础上进行：(1) 青少年的各个青春期阶段 (2) 雄激素和雌激素的荷尔蒙分析。

音域图测量所有的音高和响度，面积的计算是由半音 x dB (A) 组成的。评估是由电声门描绘曲线来完成的，在这条曲线上标有用光电池进行测量的声带速闪位置点。电声门描绘的单一周期是固定的，我们测量了年龄在 8—19 岁的 48 名男孩和 47 名女孩的 2000 个连续的电声门周期，目的是测量他们在阅读状态下的

基础频率。

我们测量了女高音、女低音、男高音和男低音的单独的和平均的音域图。我们使用 BMDP 统计软件，认真进行了分层群组研究和预测研究。

音域图每年的变化证明，男孩中的总血清睾丸激素 $r=0.72$ ，女孩中的总血清雌激素酮 $r=0.47$ 。

我们对 48 名男孩进行了青春期基础频率变化的分析。仅对基频进行观察，就会发现，男孩青春期的声音可以通过 10nmol l^{-1} 血清中血清睾丸激素总量来测定。

我们在 47 个女孩中分析了发音参数，然而只在 41 个女孩中进行了荷尔蒙分析和青春期检查。F0 只在雌性荷尔蒙值 $r=-0.34$ 时与其相关 ($p<0.05$)。雌激素和基频范围的提高对于在青春期时 F0 从 256 降至 241 赫兹时有预测价值 ($p<0.05$)。统计软件 BMDP 被用于所有的分层群组研究和预测研究中。

目录

1 需要研究的问题

2 本项研究中所使用的技术的可能性与局限性

2.1 音域图测量方法

2.2 电声门描述法

2.2.1 电声门描述法与频闪观测法

2.2.2 决定说话声音基频的电声门描绘图

2.3 音调和音域分析

3 材料与方法

3.1 受试

3.2 调查方法

3.2.1 音域图测量方法

3.2.2 基础频率的测量

3.2.3 荷尔蒙水平与青春期分析

3.2.4 统计分析

4 结果

4.1 声音发育过程中的音域图

4.2 声音发育过程中的说话声音

4.3 统计分析结果的进一步分析

5 讨论

5.1 荷尔蒙变化和青春期分析

5.2 声音发育过程中的音域图

5.3 声音发育过程中的说话声音

6 对于问题的回答

参考书目

原创信息

缩写

索引

第一章 需要研究的问题

提要：

需要分析的问题有：

*青春期男孩和女孩的动态范围变化和基频变化与青春期荷尔蒙以及生物学各方面变化有什么联系？

我们以男孩和女孩合唱团、指挥、声乐指导为调查对象，设计了以下一些基础性问题。

1. 经过发声训练的男孩和女孩的音调范围和声音动态值范围是如何发展的？

2. 经过发声训练的男孩和女孩在说话时的基频是如何发展的？
3. 经过发声训练的男孩和女孩声音的变化与荷尔蒙的变化有什么联系？
4. 经过发声训练的男孩和女孩在青春期的哪一个阶段开始变声？

第二章 本项研究中所使用的技术的可能性与局限性

提要：

*我们将讨论音域图、电声门描绘图、电声门描记法、频闪观测仪、基本频率和音域分析的可能性和局限性。

*音域图被称为声音的听力图；将分贝的动态范围与其总频率范围相比。

*电声门描记法是一种在线定量测量声带闭合的曲线，测量对象是通过喉咙的低强度高频率气流（使用记波法时可以用高速胶卷进行定性研究）。

*频闪观测法与电声门描记法互相补充，尤其是用来确定声带的结点。

*由于声带的结点被准确的确定，电声门描记法被视为一种测量儿童的基频变化以及青春期喉部基频变化的好方法。

*我们使用电声门描记法和声学仪器来测量青春期男孩的音域变化，并使用高速胶片记录下结果。

2.1 音域图测量方法

音域图测量方法通过对声音的动态值进行实时标记，是对测量合唱团儿童发音范围的传统方法的一个补充。欧洲语音联盟自 1981 年开始提出这种调查方法的标准化提案（Seidner & Schutte 1981; Schutte & Seidner 1983）。记录这种测量方法的形式后来成为提案的一部分，并用于本调查中，见图 2.1。

在本次调查的一开始，我们使用 Brüel & Kjaer 声强仪测量声音的动态范围。将话筒放置在受试者面前 30cm 处。受试者首先要用最小的声音唱一首指定歌曲，

然后再用最大的声音来演唱一遍。我们用声强仪分别测量两次演唱的声强，并进行手工记录。但这种音域图测量方法需要一些技巧，无论是受试者（确切重复所给的歌曲）还是调查者（在歌曲被演唱的过程中把握好测量音强的时刻）都需要掌握。同时，由于需要手工记录调查结果，本项调查十分耗时。

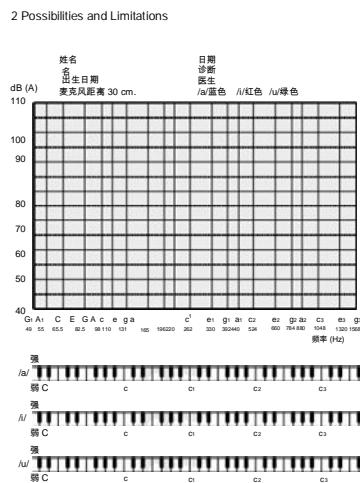


图2.1：基于1981年UEP标准化提议的音域图测量形式。

图 2.1：基于 1981 年 UEP 标准化提议的音域图测量形式。

基于以上这些原因，彼得森等（1984）发明了一种计算机辅助的音域图测量仪器。在规定时间内（0.5-5秒），该仪器可以测量每个半音音符的最大强度和最小强度，并储存测量的结果。该仪器可与 1987 年 Wendler 和 Seidner 以及 Wendler

在 1989 年发明的音域图测量仪相比较，测量结果有 96% 相符。其创新之处为该仪器可以精确地进行测量，使用程序 pg100 和 pg200 标准地计算半音×分贝的面积和音域图的平均值。

我们会在文献回顾中介绍从传统测量方法到计算机辅助测量方法的发展。在一些基于传统数据统计的文献发表之后(Bloethoof 1981; Sturzeberger 等 ,1982), 这种计算机辅助测量方法迅速得到了应用 (Klingholz&Martin 1983; Seidner 等 1985; Hacki 1988; Pabon 1991; Kay Elemetrics Corp 1993; Schutte 1995)。

这种对测量结果的计算机辅助分析也使许多新的计算成为了可能。我们使用 pg200 软件可以从几个受试的音域图中计算平均音域图，同时计算强度曲线的标准差。(图 2.2 和 2.3; Pedersen 等 , 1986a)

在语音研究领域中广泛使用音域图在文献调查中是有所体现的。人们发现了声调与总体音强的关系 (Vilkman 等 , 1986 ; Sundberg 1987,1994)。在病理学的研究中有音强变化的例证 , Gramming 等 (1983), Gramming(1988) 曾经研究过这类问题。 Hirano (1989) 提及了在对非声乐专业人士进行调查中出现的问题 (确切重复指定的音符)。该问题有了技术性的解决方法 , 包括使用半八度音阶测量 , 在较短的时间段中测量 , 或只测量病人的音调。

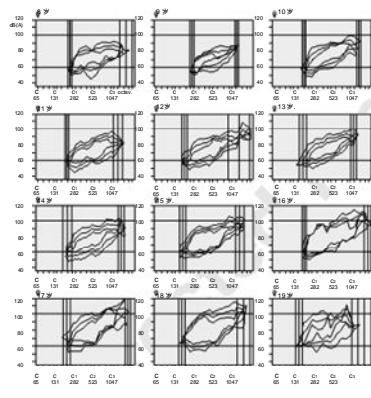


图 2.2：以年龄为函数的女孩标准差平均音域图。横坐标参照赫兹的每个八度音被分为几个半音。纵坐标是 dB(A)。

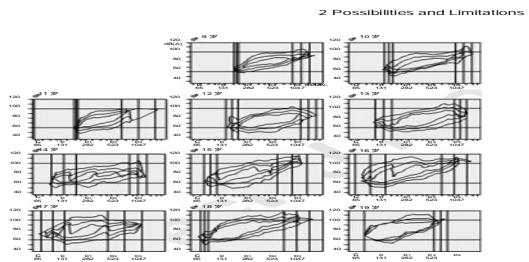


图 2.3：以年龄为函数绘制的带有标准差的男孩平均音域图。横坐标参照每个八度音的频率被分为几个半音。纵坐标是 dB(A)。

2.2 电声门描述法

作为一种研究声音的方法，电声门描述法是由 Smith (1954) , Fabre (1957) 引入的。穿过喉咙，在声带旁两个皮肤电极之间通一束低强度高频电流。在测量声音的过程中，随着电阻的变化，电流的振幅会发生变化，以此来测量声带的运动。在几十年间我们都遵循这种方法进行研究 (Loebell 1968; Frokjaer-Jensen & Thorvaldsen 1968; Foucin 等 1971 ; Lecluse 1977; Guidet & Chevrie-Muller 1979; Kitzing 1979, 1990, Smith 1981; Hirose 等 1988 ; Rothenberg 1992; Hertegard & Gauffin 1995)。Dejonckere(1995) 发表了一篇有关电声门描述法及其作用的文章综述。

2.2.1 电声门描述法与频闪观测法

1989 年，耳鼻喉协会国际联盟推荐频闪观测法与其它一些调查方法如音域图测量法等为诊断声音疾病的基本方法，但并不是一种最佳的对健康声音进行定

性研究的方法。就其本身来说，频闪观测法只是用来区别声带的病理功能和正常功能。然而，视频频闪观测法可以很好的观察声带的振动，并展示喉咙的功能，而这些都是通常情况下难以弄清楚的(Wendler 等 1988 ;Colton 等 1989 ,1995)。

由于声带的功能可以由电声门描述法和频闪观测法共同描述，所以同时使用这两种方法可以互为补充，从而获取对声带功能更为全面的描述。我们可以对电声门描述法曲线做出更加令人满意的解释(振幅和与声带振动的个人曲线部分)。在 1974 年，在国际言语矫正学和语音矫正学会议上，人们对声门描记法曲线的解释进行了热议，从而有了现在的电声门描述法与频闪观测法的首次结合。

(Pedersen 1974) Schonharl 曾使用频闪观测法对有声音障碍的病人进行系统的数据记录，但没有对治疗结果进行统计分析 (Schonharl 1960)。

我们使用了这种电声门描述法与频闪观测法相结合的方法，并使用了位于哥本哈根的丹麦 FJ 电子设备公司生产的电声门描述设备。调查对象为声乐系的学生 (经过训练的声音) 和医院工人 (未经训练的声音)(图 2.4; Pedersen 1978)。两组人群的区别在于音调的结尾部分，从波动曲线中我们可以看出，经过声音训练的声乐系学生显示出更大的角速度和更短的持续时间。在其它方面，这两组人群的频闪观测图和电声门描述图的同步影像是类似的。经过声音训练的合唱团男孩的电声门描述曲线与声乐系学生在低音域方面是相一致的。电声门描述法同时也适合用来测量音域的改变。这些改变与强度变化有关，另外，与测量是从低音域到高音域还是从高音域到低音域都有关系 (图 2.5-2.7; Pedersen 1977)。

2 Possibilities and Limitations 11

商	I		II		对4名学生的8项测试
	20名医院工作人员	26名声乐学生			
a av. %	10.5	x 21.2	23.8		
a s	1.66	2.68	4.59		
95% single obs.	2.9-13.1	4.8-37.6			
95% of mean	8.7-13.3	v 17.9-24.5			
a	27.2	x 47.6	23.8		
b av. %	12.54	19.41	13.16		
b s	2.43.9	9.8-35.8			
95% single obs.	21.3-33.1	40.0-63.8			
95% of mean					
c av. %	33.8	35.3	40.9		
c s	7.7	10.81	5.54		
95% single obs.	20.7-48.9	6.8-44.3			
95% of mean	30.1-48.9	30.9-39.7			
c	59.6	59.1	67.3		
d av. %	13.58	24.33	23.0		
d s	3.06.2	10.4-100			
95% single obs.	53.2-66.0	49.0-69.1			
95% of mean					
b	42.6	44.6	33.8		
e av. %	11.93	3.02	6.1		
e s	13.8-45.6	29.1-30.5			
95% single obs.	24.3-32	41.6-48.0			
95% of mean					
f av. %	50.0	x 38.5	34.2		
f s	10.83	10.34	5.12		
95% single obs.	28.8-71.2	diff. 19.4-59.8			
95% of mean	44.9-55.1	P<0.001 39.3-42.7			

图 2.4：医院工作人员（未经训练的正常声音）和声乐学生（经过训练的声音）

相比较的平均值和标准差。与未经声音训练组相比，声乐学生的商数 ale, alb, fle 都具有显著性差异。

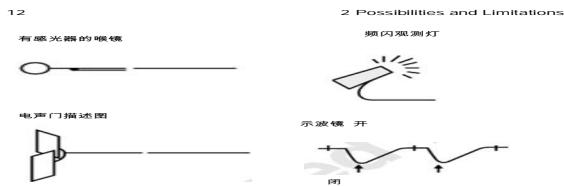


图 2.5：实验仪器的草图：频闪观测仪、有感光器的喉镜，电声门描述图，示波镜。

Karnell(1989), Anastopolo 和 Karnell(1988)以我们的设计为基础，研制了一种仪器，从而将视频频闪仪和电声门描绘图结合在一起。使用这种方法，我们可以比较个人的不同调查数据，比较平均或正常数据，同时还可以对调查结果进行更精确的解释。另外，临幊上使用这种方法也成为可能。Smith(1954)认为，这是一种描述声带边缘运动的最佳方法。Herzel 等 (1994) 讨论了声带运动的非线性问题。同时，他们引入了高速胶片和混沌软件来进行进一步分析，但仅限于成人。对家庭成员的声音进行分析，并未发现有什么差别，且不随频率变化，这一点通过肌肉研究也可以得到证实 (Kurita 等 1980 ; Kersing 1983)。Von Sato 和 Hirano (1995) 分析了 *maculae flavae* (sorry for not finding the corresponding translation of the term) 的重要功能。在这期间，出现了一批有趣的关于喉部肌肉结构与性别相关的研究 (Martin 等 1990 ; Tobias 等 1991 ; Tobias 和 Kelley 1995 ; Miranda 等 1996)。

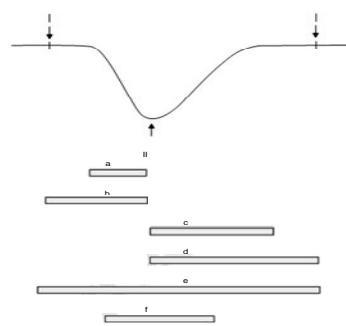


图 2.6 : (1) 声门张开的最大幅度 (2) 声门闭合的最大幅度 (由速闪仪测定, 由电声门曲线转录而成) (3) 和 (4) 代表两种状态之间交换中电阻的变化 (参考图 4)。

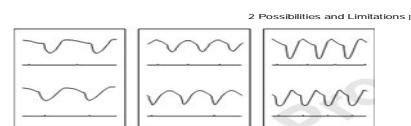


图 2.7：电声门描绘曲线标准变量的例子。声门张开和闭合的最大幅度是由速闪仪测定的，并在电声门描绘曲线上被标记出来。

2.2.2 决定说话声音基频的电声门描绘图

电声门描绘曲线除了可以描述声带的振动，也可以用来精确记录说话声音的基频。我们设计了一种计算机软件，通过这种软件，该参数可以从 2000 个电声门描绘曲线圈中计算得出。测量方法如下：一篇由国际语音协会推荐的文章被准确翻译为丹麦语（《北风与太阳》1964），然后大声进行朗读。以赫兹来测量平均值。说话声音的声调范围可以在半音中的标准差中被检测到，因此信号被分为从 60 到 684 赫兹的半音窗口（Pedersen 等 1985a, 1986a, 1990a）。

在 Kitzing (1979) 的论文中介绍了一种改进了的电声门描绘软件，可以用来分析说话声音的基频。Teltec 公司发明了这种仪器的计算机化变体。Roubeau 等(1987)介绍了一种使用电声门描绘法来分析神经学病人说话声音基频的方法。Fourchin 和 Abberton(1971)分别以语音学和语音矫正法的角度通过实时柱状图分析了基频的变化。

测量基频方法的回顾显示（Baken 1987, Schultz-Coulon & Klingholz 1988）即使在 10-15 年前，人们仍使用手动方法估算电声门描绘图进行科学的研究。1980 年，von Askenfelt 使用计算机辅助方法实现了精确的频率分析。Von Karmel(1991) 还探讨了测量方法和持续时间。在计算机辅助进行语音研究的时代（Pahn & Pahn 1991），精确的测量已经不是问题了（Elman & Zipser 1988; Rihkanen 等 1994）。随着神经网络的使用，寻找基频和大脑中血液流动关系的可能性越来越大（Sataloff 1995; Pedersen 1991b, 1995）。通过这些研究，或许我们可以更好的了解对语音进行中央控制的机制。

2.3 音调和音域分析

一个 Brüel&Kjaer 声音分析器和一个 Nicolet Ubiquitous 44A 光谱分析器被用作分析共振峰的产生。该分析结果在 1977 年的国际言语矫正学和语音矫正学会议上进行讨论，并且证明一个男生合唱团中 12-13 岁受试平均拥有 5000 赫兹的高共振峰。

听觉统计调查一直以来被用作记录音域之间的改变。在我们的调查过程中这项任务由音乐教师完成。

一个由频闪仪录制的青春期丹麦男生合唱团的影片在纽约曼哈顿音乐学校组织的声音研讨会上进行展示，该影片由来自汉诺威的 Medizinische Hochschule 使用 von Timcke 频闪仪制作 (Pedersen 等，1988)。这个案例证明了记录青春期声带振动的变化是非常困难的。与音域图或电声门描绘图相比，频闪图更适合进行音域改变的定性记录 (Svec&Pesak 1994; Vilkman 等 1995)。上述两种方法都被用作进行音域变化的定量记录 (Seidner & Wendler 1982; Frokjaer-Jensen 1983)。

尽管这项工作的主要目的不是对受过训练的青春期声音进行音调分析，但对儿童的共振峰分析记录仍然呈现非常有趣的结果 (Sundberg 1987)。青春期共振峰的产生取决于几个因素的影响，比如调查的条件、生理和荷尔蒙发展水平，以及发音技巧。另外，对谐波的研究得出了更确切的统计结果，尤其是在病理学领域。

对于男孩，青春期音域的变化取决于睾丸激素的水平，就象说话声音的基频和语音范围中的最低点一样。而对于女孩这方面的研究至今还未曾有过。我们这个团队首次进行了女孩青春期荷尔蒙变化与声音变化关系的研究。

第三章 材料与方法

摘要：

*在对一个合唱学校的分层研究中，我们对 48 个男孩和 47 个女孩进行了系统的分析。在进入合唱团的考核中，需要测试他们重复曲调和节奏的能力。

*按照欧洲语音矫正联盟的标准制作音域图。

*在基于 2000 个电声门描述圈的基础上得出基频的数据。

*荷尔蒙测量内容包括血清睾丸激素、脱水表雄(甾)酮、 delta-4、雄甾酮、雌(甾)二醇、雌酮、雌酮硫酸盐，以及 6 种与性荷尔蒙相关的球蛋白。我们对青春期的 5 个阶段都进行了测量。

*基于对数的 BMDP 统计软件被用来进行单向多变量分析和预测分析。

3.1 受试

48 个男孩和 47 个女孩参加了这次横向研究。每 4-5 个年龄在 8-19 岁的学生为一组。所有这些人都参加了声乐测试，包括通过拍掌来重复听到的节奏 (Woldike 测试)，复唱听到的乐曲，用高音来演唱一首给定的歌曲(图 3.1a 和 b)。所有这些测试形式都是这些学生所熟知的，用来检验他们声音的类型。频闪观测分析显示所有的受试都呈现正常的数值。儿科医生判断每位学生的青春期状态是否是他这个年龄应该具备的。



图 3.1 : (a) 音乐测试——重唱乐谱 (b) 音乐测试——Woldike 节奏测试



图 3.1 (续)

3.2 调查方法

3.2.1 音域图测量方法

音域图测量方法是根据 1981 年欧洲语音校正联盟提出的标准而制定的。为了便于统计评估 , 我们记录了最低音符、中音和半音 \times dB(A)[ST \times db(A)] 的音域图面积。在出现计算机方法计算音域图面积之前 , 我们使用测面法 (1 平方厘米 = 32 ST \times dB(A)) 计算音域图面积。我们以半音为单位来测量声音范围 , 在横坐标和纵坐标中作对数曲线 , 从而可以避免统计错误。我们的调查是在一个普通的小学教室进行。所有的信息都储存在电子音域图设备中 (使用 IBM 手提电脑) 。 (Pedersen 等 , 1984 , 1986b) .

3.2.2 基础频率的测量

我们使用电声门描绘图来标注说话声音的基频 , 使用计算机计算其平均数值

为 2000 周波。根据以赫兹为单位的频率平均值，我们可以计算出基频的数值。在说话期间计算音调范围平均值可以得出说话声音的音调范围。正如 2.2.2 中所述的那样，测量方法为朗读一篇给定的文章。我们使用的设备为 FJ 电子公司生产的 830 型号电声门扫描仪，2208 型号的噪声表，5066 型号的 Brue & Kjaer 公司生产的频闪观测器，以及 Tectronix 示波镜。

3.2.3 荷尔蒙水平与青春期分析

荷尔蒙分析是基于一些我们认为在青春期过程中变化最早的参数。我们的调查对象包括 8 岁以上的儿童，原因是肾上腺将很有可能帮助我们了解青春期（肾上腺功能从 8 岁开始发育）。我们分析了以下一些数值：血清睾酮值（游离和总值，两数值之间关系密切），二氢表雄酮（DHEAS），delta-4 雄甾酮，传送睾酮的球蛋白，性激素结合球蛋白（SHBG）等。对于女孩来说，调查中还包括以下参数：雌二醇、雌酮、雌酮硫酸盐等。雄激素和雌激素产生和发生作用都很复杂，每种荷尔蒙之间的相互作用也同样复杂。我们通过这些调查得出荷尔蒙变化和声音发展之间潜在的关系之后，试图在调查过程中对所有视丘下部调节荷尔蒙变化的雄激素进行研究，从而获得更为准确的结果。希望我们的工作可以为今后更详细的荷尔蒙脑部研究提供参考。

另外，对于每一个受试来说，其身高、体重、睾丸大小、阴毛发育情况和（女孩）乳房发育情况都由此决定（Pedersen 等，1985a; Brook 1995）。

3.2.4 统计分析

测量结果如果不进行统计分析就是毫无意义的。首要的问题是我们应该使用线性还是对数关系。我们使用的对数标准基于几何学横截面，比线性关系要严格许多。我们用说话声音的基频作为分类器，进行一种单向多变量的分析。我们计

算所有变量的相关系数，并使用偏相关系数计算变量之间的关系以及它们与年龄的关系。我们使用 BMDP 软件进行统计。

第四章 结果

提要：

*年龄稍大一点的学生在青春期变声后的音域图（面积计算法）中显示出明显的力度变化，男孩和女孩的最低音都有所降低。

*在朗读一篇标准文章时，男孩声音基频以八度音阶变化，而女孩声音基频以四分之一八度音阶变化，这与男孩和女孩的五个半音音域的增加有显著性关联。

*有统计意义的结果表明，青春期基频的变化与男孩的雄激素以及女孩的雌激素变化有关。

男孩的雄激素水平达到 10nmol/ml 就证明男孩进入了声音发育期。女孩在初潮后，音调范围能达到 5 个半音，被称为后青春期。

4.1 声音发育过程中的音域图

图 4.1 显示了男孩在青春期中音域图的变化(Pedersen 等 1986)。在青春期中，音域图的面积变小，音域的变化也有所改变。在青春期后，最低音变得更低，低音域和高音域的面积都有所增加。

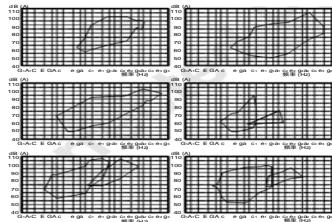


图 4.1：男孩和年轻男子的平均音域图，取决于发声类型。(发声类型由歌唱老师决定)。艺术上经常使用的歌唱声音范围在横坐标上被标记出来。(A:初学者 B-C:女高音；D:女低音；E:青春期的声音；F-G:男高音；H-I:男低音)

图 4.2 显示女孩在青春期时有着跟男孩相似的音域图变化。在青春期刚开始阶段，她们的变化并不明显，然而在 14.5 岁的时候，女孩的音域改变开始发生，这一年龄与男孩接近 (Pedersen 等，1990)。

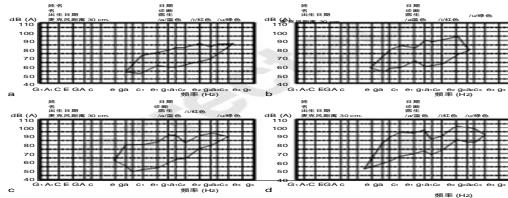


图 4.2 : 不同年龄段女孩的音域图。(a)(8.9 岁)— 合唱团中的初学者 (b)(11.7 岁)— 音域变化为 (330-392HZ) 的典型儿童声音 ;(c)(13.8 岁)— 动态呼吸较少、没有音域变化的经过训练的声音 ;(d)(14.8 岁)— 有音域变化的青春期声音。

在横向研究中，我们将男性受试的声音分成了三组：青春期前期、青春期和青春期后期。每组的音域图都有显著性不同 ($p<0.01$)，这些不同包括：面积、最低音、音调范围。另外，基频、血清睾酮值、SHBG 也呈现显著性不同。

在女性受试中，三组受试（青春期前期、青春期、青春期后期）在以下几个方面呈现出显著性变化：音域图面积、最低音、说话声音的语音范围。然而，三组之间说话声音的平均基频并无显著性差异。雌激素、雌酮硫酸盐方面呈现显著性差异 ($p<0.001$)；雄烯二酮和 DHEAS 方面呈现显著性差异；SHBG 无显著性差异（图 4.4，Pedersen 等 1990）。

男孩音域图面积的变化取决于睾丸的大小和血清睾酮值的水平。然而，青春期音域图面积的变化是非常复杂的，因为与年龄的关系密切（图 4.5，Pedersen

等, 1986)。

与男孩相比, 女孩声音的发育有明显的不同。对于女孩来说, 说话声音的平均基频变化与音域图面积无关($r=0.29$), 但男孩的这两个参数间有关联($r=0.50$)。两性之间在说话声音的音域范围方面没有区别, 且有关联(女孩 $r=0.54$; 男孩 $r=0.49$)。音域图面积变化与男孩($r=0.65$)和女孩($r=0.51$)阴毛发育状况有关。对于女孩来说, 还与乳房发育有关。

4 Results 29

Voice category	Voice group by age	Number of boys	Age of years	Phonotogram area	fundamental frequency Hz	Tonal range semitones	SHBG nmol/l	Pubic hair stage	Free testosterone nmol/l
More differentiated	I	5	9.1	13.0	287/3.2	30.3	112	3.0	0.0019
1. Soprano	II	5	11.3	20.6	234/4.3	31.1	123	1.5	0.0004
2. Soprano	III	7	13.0	23.6	245/4.2	35.8	132	1.4	0.0004
1. Alto	IV	20	12.9	25.2	266/3.4	33.9	130	1.4	0.0210
Puberty	V	4	14.9	23.3	144/5.0	35.2	96	1.4	0.21
1. Tenor	VI	2	16.0	28.2	141/4.7	40.5	46	3.0	0.42
2. Tenor	VI	6	16.8	34.7	131/5.2	41.1	32	3.0	0.47
1. Bass	VII	7	17.5	35.5	128/5.8	42.7	42	3.0	0.56
2. Bass	VII	2	18.5	33.0	109/6.2	39.1	40	3.0	0.32
Multid SD within groups			27	37	37	63			315
d = 35% in percent of mean									

Fig. 4.3 Comparison between male voice types in the transverse study with respect to phonotogram area, fundamental frequency of the speaking voice, tonal range of the singing voice in semitones, SHBG, stage of pubic hair development and free testosterone, in boys

图 4.3: 关于男性声音类型与音域图面积、说话声音基频、以半音为单位的唱歌声音音域范围、SHBG、男孩阴毛发育、游离睾丸激素进行比较的横向研究。



图 4.4：女性中不同声音类型声音和荷尔蒙水平的几何平均数 (8-19岁)：1：儿童声音，第一女高音。2：儿童声音，第二女高音，3：儿童声音，女低音，(4：变异声音 (没有可显示的值)); 5：成人声音，第一女高音；6：成人声音，第二女高音；7：成人声音，女低音。SD—平均值的标准差。我们使用 t-检验来进行差异分析：1-3 组与 5-7 组进行对比。

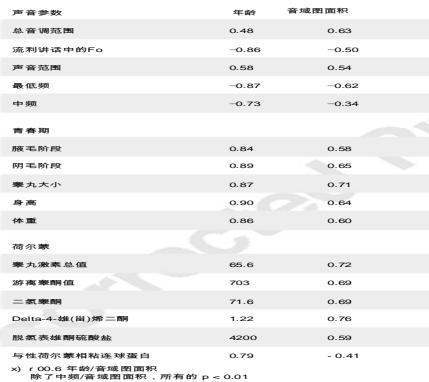


图 4.5：年龄、音域图面积分别与不同声音和荷尔蒙参数之间的对数相关系数。

青春期体重增加被视为一种正常现象。青春期期间，音域图面积的变化和两

性在身体的变化，如阴毛发育、体重增加、女性乳房发育等之间具有显著性关联。

对于女性来说，雌激素、雌酮硫酸盐水平和音域图面积变化具有显著性关联。女性的身高体重与年龄没有显著性相关，然而其它参数变化都与年龄呈比例变化

(图 4.6 和图 4.7, Pedersen 等, 1990a 和 b)。

图 4.8 显示，男孩声音类型变化与 SHBG 呈反比变化；与血清睾丸值呈正比变化。同时，睾丸大小、阴毛发育情况与音域图面积都呈现相关 (Pedersen 等, 1986a 和 b)。

同样的现象在女孩中也是如此。声音变化与雄烯二酮、雌酮、体重和阴毛发育状况相关 (图 4.9, Pedersen 等, 1990a 和 b)。

我们对男孩的年平均变化进行评估，例如说话声音的基频 (11%) 和音域图面积 (9.2%) (图 4.10)。另外一个有趣的参数是音域图的最低音，与说话声音的基频变化趋势相似 (12%)。雄激素水平的提高的幅度与 SHBG 水平的降低幅度相当 (Pedersen 等, 1982)。

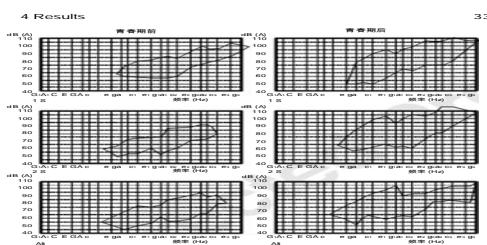


图 4.6：不同声音类型女孩的音域图。在高频区域，女高音具有更大的音强，而

女低音在低频范围内有更大的音强。

34 4 Results

	年龄	音域图面积
声音		
歌唱声音的总音调范围	0.44 **	0.66 **
连续讲话声音的基频	-0.44 **	-0.29 **
连续说话声音的音调范围	0.59 ***	0.49 ***
最低频	-0.57 ***	-0.58 ***
中频	-0.30 **	-0.15 **
青春期		
腋毛发育阶段	0.61 ***	0.41 ***
阴毛发育阶段	0.76 **	0.51 **
乳房发育阶段	0.48 ***	0.38 ***
初潮、初潮后	0.52 ***	0.29 ***
体重	0.69 **	0.48 **
身高	0.22 ***	0.20 ***
荷尔蒙		
睾丸激素的总值	0.49 ***	0.32 ***
Delta-4-雄(甾)烯二酮	0.57 ***	0.39 ***
脱氢表雄酮硫酸盐	0.66 ***	0.38 ***
雌酮 (E1)	0.74 ***	0.47 ***
雌二醇 (E2)	0.35 *	0.20 *
雌酮硫酸盐 (E1SO4)	0.69 ***	0.44 ***
显著性意义:	$p < 0.05 (r > or = 0.30): ^*$ $p < 0.01 (r > or = 0.39): **$ $p < 0.001 (r > or = 0.49): ***$	

图 4.7：女性的声音、荷尔蒙参数与年龄、音域图面积之间的相关系数 (年龄/音域图面积 : $r=0.65$)。

4 Results

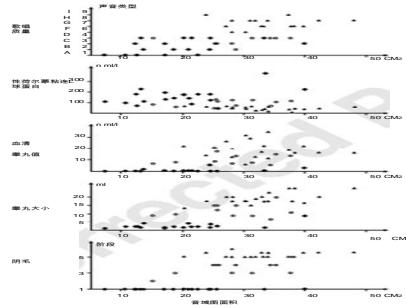


图 4.8：以男孩音域图面积为函数 (横轴), 阴毛发育阶段、睾丸大小、血清睾酮值 (总值) 、 SHBG 和声音类型的图形描述 (A-I , 见图 4.9) : (实心圆点) 8.7-12.9 岁 (空心圆点) 13-15.9 岁 (空心三角形) 16-19.5 岁。(1 平方厘米 =32 半音 xdB(A))

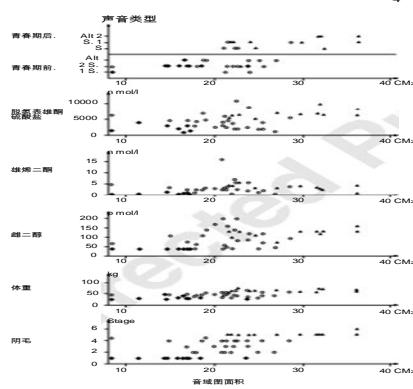


图 4.9：与女孩音域图面积 (1 平方厘米=32 半音 xdB(A)) 有最密切相关参数的

图形描述：(实心圆点) 乳房发育第 1 阶段，(空心圆点) 乳房发育第 2-4 阶段，

(空心三角形) 乳房发育第 5-6 阶段。

年 龄	性状 (性)				年 龄 (性)
	0.7-12.0	13.0-15.0	16.0-19.0	40-50 (性)	
性状编码	1	16	14		
雌激素 (性)	(n: mol)	0.54	0.55	16.0	6.0
二氢睾酮	(n: mol)	0.48	1.21	1.57	2.7
卵泡刺激素 (性)	(n: mol)	0.007	0.14	0.33	2.2
雄激素 (性)	(n: mol)	1.34	6.6	45	-1.0
雄激素 (性)	(n: mol)	0.54	1.17	5.0	2.8
雄激素 (性)	(n: mol)	1.00	4.00	50.00	2.0
性状大小	(n: 1)	2.5	1.9	20	2.6
雄激素率	(n: 1)	2.37	1.84	12.6	-1.1
声带宽度	(n: 1)	3.7	4.0	6.0	2.9
音域图	(cm)	19	28	34	0.2
音域图 (cm)	(cm)	1.68	1.04	2.2	

图 4.10 男孩的荷尔蒙、青春期和声音参数的几何平均数，以及这些参数的年变化率（%）。（音域图面积：1 平方厘米=32 半音 \times dB(A)）

4.2 声音发育过程中的说话声音

说话的基频本身就是经常用于描述声音发育的参数。这个参数可以解释我们之前提出的一个假设，即女孩的声音在青春期中少有变化。正如 4.1 中提到的一样，女孩说话的基频和音域图面积之间没有显著性关联。然而，音域图面积、音域图的最低音和说话声音的音域范围之间是有显著性关联的。对于男孩来说，基频随着年龄变化，在某种意义上与音域图中的最低音变化一致。同时，随着说话声音音域范围和音域图面积增加而增加。但在 14.5 岁左右时，音域图面积会有所减小。

女孩说话声音的基频变化是以赫兹为计的，比音域图中最低音的变化幅度要小。同时，女孩在音域图面积有所增加（后青春期组女孩 28.3 平方厘米=895.6ST \times dB(A)；后青春期组男孩 34 平方厘米=1088ST \times dB(A)，变化因素 1 平方厘米=32ST \times dB(A)）。正如图 4.12 中所示（Pedersen 等，1990a 和 b, 1986a 和 b），说话声音音域范围变化是最明显的（女孩的后青春期是 5ST，男孩是 5.2ST）。

一个常被忽视的事实是生理变化对女孩的身体变化具有更大的影响。女孩说话声音的基频从青春期前的 256Hz 变化到后青春期的 241Hz，说话声音的音域范围从青春期前的 3.7ST 到青春期后的 5.2ST；99% 的女孩都有这些变化。与此相适应，血清睾酮值水平（E1）从 57 提高到 123pmol/l（pico 的意思是 nano/1000）。

女孩年龄最小组的平均体重为 37.8 公斤，年龄最大一组的平均体重为 64.4 公斤。在年龄为 8.6-12.9 岁的女孩中，每 18 个人中有 4 个已经初潮；在年龄为 16-19.5 岁的女孩中，所有的女孩都已经初潮（图 4.3，Pedersen 等 1990a 和 b）。

SHBG 水平和女孩初潮年龄之间具有线性相关 ($r=0.93$) ;然而如果用对数方法计算 , 这种相关则无法得到证实 (Pedersen 等 , 1987)。

图 4.14 表示 , 男孩说话声音的基频与阴毛发育状况、睾丸大小、血清睾酮值、SHBG 的关系 (Pedersen 等 , 1986a 和 b)。在之前我们对 25 名男孩的初步研究发现 , 我们证实了说话声音的基频在 13 岁之前都很高 , 13-15 岁男孩的基频仍然在 195Hz 左右 , 血清睾酮值最高上升为 10nmol l^{-1} 。年龄到达 15 岁以后说话的基频降到 150Hz 以下 , 血清睾酮值至少为 10 nmol l^{-1} 。较高的血清睾酮值与下降的高音音域范围相关 , 或与更多的语域明显变化相关。 17-18 岁的年轻人声音都已经成熟。说话声音的平均基频比音域图的最低音高 8-12 个半音 (图 4.15)。

第一组男孩语域的变化大概是 627Hz(11.8-13.2 岁 ; 血清睾酮值 $<1\text{ nmol l}^{-1}$) , 第二组为 649Hz(13.2-14.7 岁 , 血清睾酮值 $<10\text{ nmol l}^{-1}$) , 这是由熟练的音乐老师视听得出。在 14.8-16.9 岁年龄段的儿童中 , 音域变化降到了平均 312Hz , 99% 的男孩都有这种变化 (标准差 70Hz) (Pedersen&Munk 1983)(图 4.16)

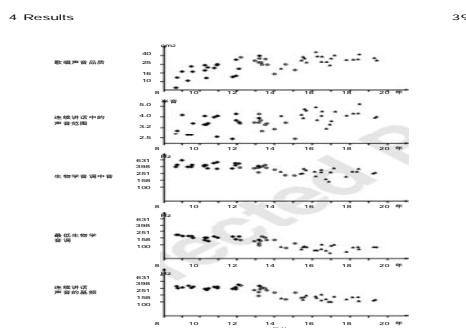


图 4.11：以男孩年龄为函数（横轴）的关于音域图面积、说话声音音域范围、音域图中的最低音和中间音、说话声音基频的图形描述：(实心圆) 8.7—12.9 岁，(空心圆) 13-15.9 岁，(空心三角形) 16-19.5 岁

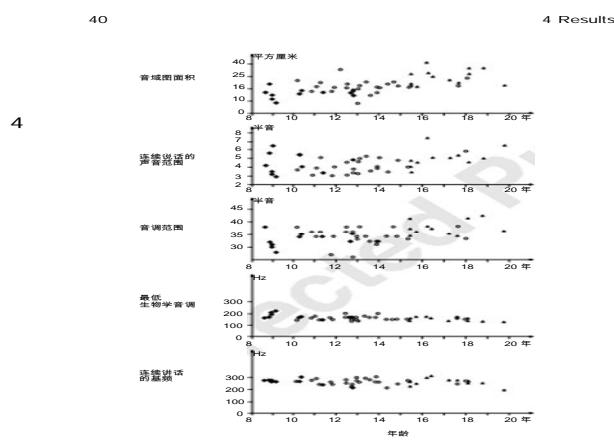


图 4.12：以女孩年龄为函数（横轴）的声音参数描述（音域图、说话声音音域范围、唱歌声音的音域范围、音域图中的最低音、说话声音的基频）：(实心圆) 乳房发育第 1 阶段，(空心圆) 乳房发育第 2-4 阶段，(空心三角形) 乳房发育第 5-6 阶段。

年龄	(年)	8.7-12.9	13.0-15.9	16.0-19.8	显著性差异
总激素	pmol	1.9	1.2	1.1	
雌酮 (E-1)	pmol	5.7	1.04	123	**
雌二醇 (E-2)	pmol	7.3	1.35	108	
总睾丸激素	nmol	0.5	0.76	0.94	
游离睾丸激素	nmol	0.006	0.037	0.009	
雌酮硫酸盐 (E1-SO4)	pmol	7.32	192.4	2342	**
游离雌酮硫酸盐	nmol	3210	3700	7200	**
雄性二醇	nmol	1.44	3.28	3.43	*
性激素结合球蛋白	nmol	1.63	1.90	1.23	
初潮		+4	+9	+11	
月经持续		1.4	2.5	4.6	
月经周期阶段		1.9	2.1	3.5	
身高		1.9	1.2	1.1	
体重		5.7	1.04	123	
连续说话声音的基频	Hz	250	248	241	
连续说话声音的音调范围	半音	3.7	4.2	5.2	**
唱歌声音的音调范围	半音	2.3	3.0	3.8	
音域范围	cm2 [*]	17.3	21.8	28.3	**
音域范围低音调	Hz	100	155	145	*
音域范围中音调	Hz	429	409	413	
音域范围高音调	Hz	1136	1105	1263	

* cm2 算算: 1 cm2 = 32 半音²dB(a).

图 4.13：女孩的荷尔蒙、青春期和声音参数的几何平均数（以年龄分组）。相对标准差在 11% 和 140% 之间。（各组之间的显著性差异为：p<0.01xx;p<0.05x）

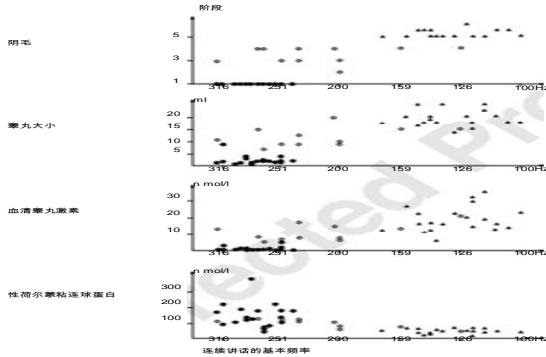


图 4.14：以男孩说话基频为函数（横轴）的关于阴毛发育阶段、睾丸大小、血清睾酮值（总量）和 SHBG 值的图形描述：(实心圆) 8.7-12.9 岁 , (空心圆) 13-15.9 岁 , (空心三角形) 16-19.5 岁。

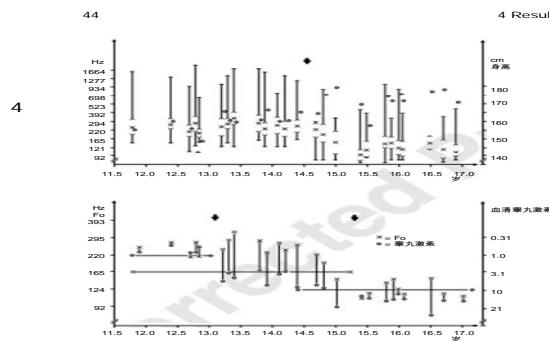


图 4.15：上图：说话声音基频、说话声音音域范围和唱歌声音音域范围与男孩的体重（纵轴）和年龄（横轴）相比较。下图：说话声音的基频[Hz]与血清睾酮值水平[nmol L⁻¹]相比较。横轴是以年为单位的年龄。箭头表示声音的变化（上图：变化的结束；下图：变化的开始和结束）。

音调范围	生物学音调范围				较宽 (cm)	较高 (cm)
	\bar{X} / SD	\bar{X} / SD	\bar{X} / SD	\bar{X} / SD		
第一组 < 1 nmol 血清睾酮水平	126.4 (20.6)	126.0 (610.06)	126.0 (2.246)	126.0 (216.65)	126.0 (208.6)	126.0 (208.6)
第二组 < 10 nmol 血清睾酮水平	124.17 (2.17)	122.33 (2.47)	174.78 (2.47)	649.06 (2.47)	990.0 (2.47)	990.0 (2.47)
第三组 ≥ 10 nmol 血清睾酮水平	79.74 (5.4)	471.22 (287.44)	86.02 (12.97)	521.56 (70.4)	723.67 (366.12)	723.67 (366.12)

图 4.16：根据血清睾酮值分组的男孩音域变化 (I<1 nmol l⁻¹ ;II<10 nmol l⁻¹ ;III>10 nmol l⁻¹)。唱歌声音的音域范围首先以生物学范围分组，然而按照在艺术领域使用的音域范围进行分组；我们对两组的差异进行了计算。(reg 代表平均音域变化)。

4.3 统计分析结果的进一步分析

优秀的统计方法对于音乐和歌曲研究中的结果分析非常有用。在本材料中，我们进行了单向多变量的分析，从而使我们能够预测与个人荷尔蒙和身体变化有关的声音变化的时机——这是与说话声音平均基频相关的(图 4.17 Pedersen 等 1985a 和 b)。在阴毛发育第 2-4 阶段组的男孩和平均年龄为 13.5 岁的男孩中，说话声音的平均基频下降与 SHBG 水平的下降具有相关性。这说明在青春期阶段，我们可以预测当 SHBG 水平开始下降时基频也一定会下降。对于女孩来说，基频的下降和血清雌酮 (p<0.05)、雌酮硫酸盐以及说话声音音域范围的升高(p<0.05)具有相关性，与年龄无关。在月经初潮之前，在基频、雌酮硫酸盐、身高、阴毛发育状况之间存在相关性。在初潮之后，在说话声音音域范围和初潮后时间之间具有高度相关性 (p<0.001)。青春期女孩说话声音的音域范围越大，说话声音的基频就越低 (图 4.8 和 4.9 , Pedersen 等 , 1990a 和 b)。

4 Results							
男孩的编号	青春期阶段	几何平均值	年龄	性荷尔蒙几何时数	年龄	性荷尔蒙综合	年龄
		x_{Fo}	年龄	λ	年龄	λ	年龄
18	1	274	10.5	141	0.0002	0.010	
11	2-4	219	13.5	91	-0.0016	0.501*	
19	5-6	129	16.9	42	-0.0016	0.005	
4	48	总数		-0.0033	0.171*		

图 4.17 : 男孩说话基频与年龄、荷尔蒙参数和青春期阶段之间的预测系数 , 这是在多次回归分析中评估所得。独立参数不包括在内。根据分组计算剩余参数的平均值。参数具有显著性差异 ($p>0.05$)。

	Fo	/Fo	音域范围	最低音调	年龄
雌酮 (E1)	-0.34 *	/0.40 **		-0.35 *	
雌二醇 (E2)	-0.21	/0.10		-0.18	
总睾丸激素	-0.08	/0.36 *		-0.34 *	
游离睾丸激素	-0.17	/0.27		-0.40 **	
雌酮硫酸盐 (E1SO4)	-0.18	/0.32 *		-0.29	
脱氢表雄酮硫酸盐	-0.17	/0.40 **		-0.24	
雄烯二酮	-0.19	/0.30		-0.35	
性激素结合球蛋白 (SHBG)	0.06	/0.05		-0.14	
Pedersen_CH04.indd 47					
初潮时间	-0.06	/0.33 *		-0.14	
阴毛阶段	-0.19	/0.53 **		-0.46 **	
乳房发育阶段	-0.08	/0.37 *		-0.34 *	
身高	0.06	/0.26		-0.15	
体重	-0.22	/0.51 **		-0.44 **	
连续说话中的 Fo	-	-		-0.51 **	
连续说话中的音调范围	-0.07	-		-0.28	
唱歌中的音调范围	-0.19	/0.45 **		-0.46 **	
音域范围	-0.29	/0.49 **		-0.58 **	
音域图最低音调	0.51 **	/-28		-	
音域图中音	0.45 **	/0.05		0.71 **	
音域图最高音	0.14	/0.33 *		0.08 **	

** 音域图中最低音调与年龄的相关具有显著性意义 (P < 0.01, * P < 0.05)。

0.30 7/18/2008 3:59:14 PM

0.22

...

图 4.18 :女孩说话声音的基频与说话声音音域范围之间的相关系数 ,并与女性荷尔蒙、男性激素、阴毛发育阶段、胸部发育阶段和声音参数相比较。该表格显示了音域图的最低音与年龄之间相关 (显著性差异 : p<0.01;p<0.05x)。

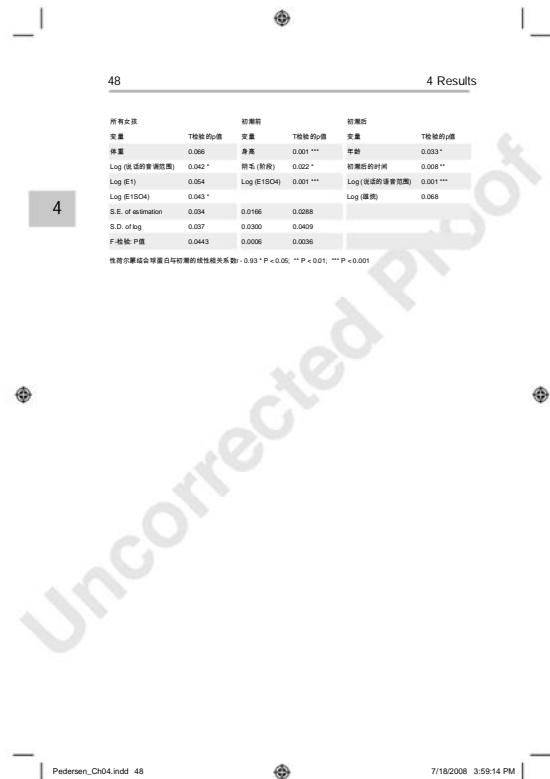


图 4.19：我们对所有受试进行评估并分成两组（月经初潮组和月经未初潮组），研究女孩说话声音基频的预测系数。初潮期的 SHBG 线性相关系数： $r=0.93$ 显著性差异： $p<0.05$ $p<0.01$ $p<0.001$

第五章 讨论

提要：

*无论对于高素质的合唱团和病理研究来说，荷尔蒙与声音方面的知识是非常必要的。

*音域图可以使学生意识到他们的个人条件，同时也可以在病理治疗之前和之后

进行测量。

*音域图也可以很“漂亮”，无论是低强度还是高强度都显示出平滑的曲线，没有声域变化。例如，莱比锡圣汤玛斯教堂合唱团的女高音。

*基频变化是青春期非常有意思的生物参数，也是数学模型的基础，例如，在技术、生物、大脑研究和通信领域。

5.1 荷尔蒙变化和青春期分析

青春期是指人开始获得繁殖能力的时期。实际上，这与第二性征的发育是有关系的。人类在青春期的正常发育是个非常复杂的过程。Brook(1995)在基于Tanner&Whitehouse部分研究的基础上写了一篇研究报告。Brook认为，从14.5岁开始，声音开始发育，被称为“声音的突变”，大约一年之后一定会变化为成人的声音。钾元素的新陈代谢与性激素水平有非常密切的关系，并且与青春期关系更为密切(Krabbe 1989)。Andersen(1968)、Roed等(1989)、Hertel等(1995)报告了丹麦儿童的身高，结果与我们的测量结果一致。

Brook(1995)认为有关心肺的发育知识有限，目前研究只是表明，这些器官系统的发育情况只是与身高、第二性征发育情况有关。相似的观点也出现在一些关于声音发育的儿科文献中。Hagg&Taranger(1982)将声音分为儿童声音、青春期声音和成年人声音。Karlberg&Taranger(1976)认为大概在14.5岁的时候，声音开始发生变化，与青春期阶段产生关联。Heinemann(1976)的研究关注青春期期间声音发展的反常过程。Kahane(1982)分析了甲状腺软骨的发育与身高的关系。Hirano等(1983, 1988)测量了青春期期间声带的增长。

正常的内分泌发育是由视丘下部的释放促性腺激素荷尔蒙控制的(Brook 1995)。由于受十肽的影响，LH和FSH是由脑垂体的前端圆形突出物所释放的。

他们控制睾丸和卵巢的发育。性荷尔蒙就是由这些器官产生的。Lykkesfeldt 等描述了我们的测量方法 (1985)。这些测量方法与其他作者的测量方法具有可比性 (Apter&Vihko 1985)。Strel'Chyonok 和 Vihko 对性荷尔蒙结合球蛋白的作用进行了回顾。

人们借助于一些可以用唾液进行荷尔蒙分析的方法 , 有可能寻找到荷尔蒙变化和声音之间的密切关系 (Walker 等 , 1993)。通过对大脑调节与生理学病理学领域的声音发展之间关系的研究 (Young 等 1988 ; Walker 等 1993) , 在未来将使从神经生理学的角度探索声音变化成为可能 (Rodriguez-Sierra 1986; Behre&Nieschlag 1995; Nastiuk&Clayton 1995)。在未来 , 我们有可能探寻在音乐心理学方面的新的知识 (Seashore 1938; Pedersen 1992; Dejonckere 等 1995)。 Niedzielska 等 (1999) 将青春期男性性腺切除的病理活化与声音的变化做比较。 Abitol 等 (1999) 发现 , 和声学与青春期男性和女性的荷尔蒙水平有关。 Breteque 和 Sanchez (2000) 研究了男孩声音变粗的现象 , 并研究了于此相关的唱歌声音的特点。 Charpy(2002) 强调了声音突变的现象在青春期女孩中也的确存在。 Chernobelsky(2002) 认为 , 电声门描绘图在训练失聪儿童的声音音域方面也是非常有效的。

Wiskirka-Wonica (2006) 等研究了男孩的变声期推迟的现象。 Van Lierde 等 (2006) 使用发声困难指数 , 调查了 24 名从事声乐专业的年轻健康的女性 , 发现她们在月经期间共振参数并无显著性差异。

5.2 声音发育过程中的音域图

在本研究中 , 我们在横向群组研究的框架下 , 也对青春期声音的发育进行了研究。纵向预期性研究的优点是我们可以进行个人内部的比较。因此我们在一年

的时间里对 3 个男孩进行了跟踪调查 (从 7 年级底到 8 年级底)。每两个月进行一次测量。图 5.1 是其中一个男孩的六张音域图 (Pedersen 1993)。我们使用音域图软件 (pg200, means 和 SD) 做出了这 3 个男孩在变声之前和期间的平均音域图 (图 5.2)。三个男孩都在他们 8 年级的时候开始变声。在这一年中 , 发声的变化与年龄的变化无关。在我们以前的研究中表明 , 音域图中的最低音与说话声音的基频高度相关 , 而在这时却与性荷尔蒙结合球蛋白的水平相关。同时在本项研究中也证明 , 性荷尔蒙结合球蛋白是促使声音频率变低的最敏感参数。由于我们只对整个青春期的有限片段做了调查 , 因此没有发现音域图面积变化与睾丸激素水平之间有显著性关联。血清睾丸激素水平在个体之间的相互变化在青春期之间要大大高于青春期之前和之后。同样 , 音域图面积在很短时间内也发生了显著变化 : 音域图变得非常不规则 , 音域的变化更加明显。我们企图对这种不规则性进行数学描述 (通过对音域图典型数字或不规则型尺寸的计算) , 然而至今未取得满意效果 ; 将这些值代入统计计算并无意义 (Buhring&Pedersen 1992, Arainer&Klingholz 1993)。

为了评估本地特点对哥本哈根受试的影响 , 无论是在声音参数还是在荷尔蒙值方面 , 我们对莱比锡的圣汤玛斯教堂唱诗班进行了一项调查 (1 组 : 男高音 , 在变声前 ; 2 组 : 处于刚变声期 , 每组调查 4 个受试。)(图 5.3)。从哥本哈根男孩和女孩的音域图中 , 与 3 组 (青春期后) 相比 , 我们可以看出 1 组 (青春期前) 音域图面积的增加。在青春期期间 (14.5 岁的年龄) , 音域图的面积暂时变小 (图 5.4 和 5.5)。在最低音和音域图面积方面 , 圣汤玛斯教堂唱诗班的高音组和哥本哈根男孩的高音组相类似 , 而圣汤玛斯教堂唱诗班高音声部的最高音比哥本哈根高音声部的要高。这些差异产生的原因有可能是更为严格的选择合唱团成员的条

件，或对声音更好的把握。在两组圣汤玛斯教堂唱诗班的平均音域图中，强音曲线中只有非常小的标准差，但比在音域变化范围中的值要稍大一些。

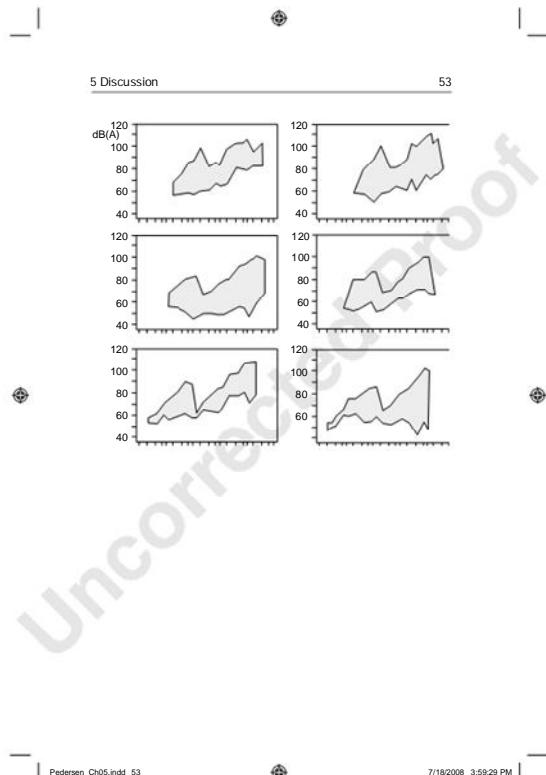


图 5.1：以下是某个男孩（13.7-14.6岁）的6幅音域图，测量间隔为两个月。第三幅音域图（12月份）面积最大，并且最为规则。1月份，由于该男孩开始变声，被合唱团停止唱歌（C4=262Hz）。

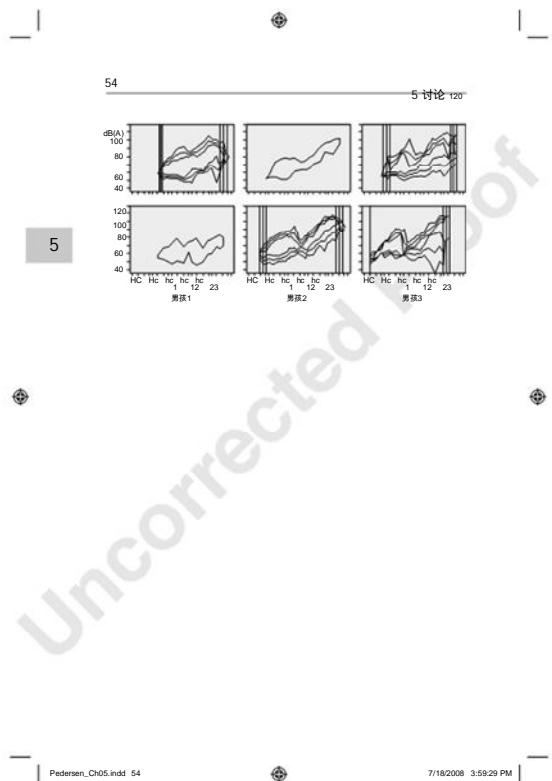


图 5.2: 在纵向预期研究中的三个合唱团男孩 (I-III) 的平均音域图和标准差图。

将声音变化前的音域图进行比较。对于受试I和受试II，在变声期间和变声前分别制作了一幅音域图。对于受试III，在变声前和变声期间分别制作了3幅音域图。

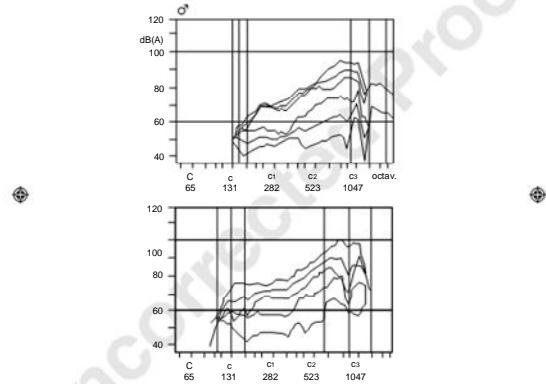


图 5.3: 我们对圣汤玛斯教堂唱诗班的高音部和变声期儿童进行群组研究，上图

为有标准差的平均音域图。荷尔蒙参数与哥本哈根男孩组类似。

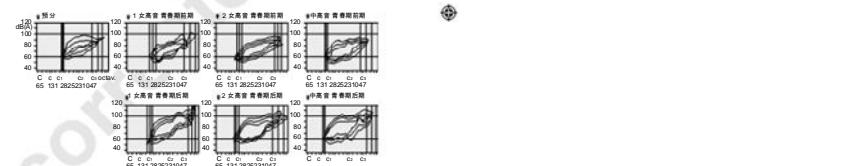


图 5.4：本图为丹麦一个合唱学校中的女子合唱团的女孩和年轻女性的有标准差的平均音域图，以声音类型为函数（声音类型由声乐老师决定）。横轴以半音为单位，每八度音以赫兹为频率进行表示。纵轴的单位是 dB(A)。在青春期期间无法确切进行分组。

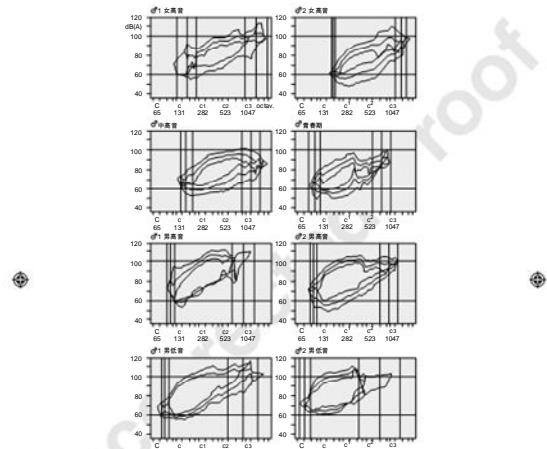


Fig. 5.5 Average phonotograms with standard deviation for boys and young men from a boys' choir at a Danish choir school, as a function of voice type. (The voice type was determined by the singing teacher.) The abscissa is divided up into semitones, and the frequency in Hertz of each octave is indicated. The scale of the ordinate is dB(A)

图 5.5 本图为丹麦一个合唱学校中的男子合唱团的男孩和年轻男子的有标准差的平均音域图，以声音类型为函数（声音类型由声乐老师决定）。横轴以半音为单位，每八度音以赫兹为频率进行表示。纵轴的单位是 dB(A)。

我们还对圣汤玛斯教堂男孩的音域范围变化做了电声门图的绘制。首先，男孩以尽量轻的方式演唱一个逐渐升高的半音，然后以尽可能大的声音演唱这个半音，在这个过程中，我们进行电声门图的绘制。在荷尔蒙值方面，莱比锡受试和哥本哈根受试之间没有任何区别(Behrendt&Pedersen 1989; Pedersen 1991c)。

在使用音域图进行音调和声音动态的同步记录之前，我们只是使用音域范围

来描述声音的发育。早在语音矫正发展的早期，对正常学生音域范围的调查就已经开始了(Flatau&Gutzmann 1905)。一份关于儿童声音研究结果的总结在 1936 年的言语矫正学和语音矫正学会议上提出，随后由 Weiss(1950)进行研究。这项报告总结了 4000 年来，人们只关注过男孩和阉人的声音。人类的平均变声期为 14.5 岁；男孩说话声音的基频以八度音阶下降，女孩以 $1/3$ 八度音阶下降。Frank&Sparber(1970) 和 Wendler&Seidner(1987) 的研究取得了相似的结果。Blatt(1983)讨论了青春期期间进行声音训练的问题。

Komyama 等 (1984) 进行了青春期音域图的分析。然而，他们没有对任何其他青春期现象进行比较，并把音强的最低限定在了 60dB。在我们的调查研究中，轻声哼唱的声音强度要低很多，因此，这两项指标是不可比的。

Meuser&Nieschlag(1977)表明，男性声音的类型 (高音，中音，低音) 与睾酮水平有关。Large &Iwata(1972)发现，在与成人声音类型有关的波峰之间存在着差异。我们也认为，如果想要取得青春期声音发育状况的一个确切的评估，就必须对各种类型的声音进行区分。在今后的声音病理学研究中，可能也要进行类似的工作。Pedersen 等 (1980) 对声音失调问题进行了深入研究。

在我们调查期间，Klingholz 等 (1989) 为 Tolzer 男孩合唱团的成员绘制了音域图，另外，Konzelmann 等 (1989) 对合唱团男孩的音域图也进行了研究。我们可以在 Buhring(1990)的著作中找到该文献综述。Behrendt(1989)对圣汤玛斯特教堂合唱团的男孩成年前的假声音域发育情况进行了跟踪研究，但没有发现该现象与其他参数有关。

Hacki(1988, 1989)在音域图中使用了大声喊叫的测量方法。音域图对音乐老师和作曲家很有帮助。使用这种方法，人们可以通过对力度变化的调节 (尤其

是在轻声哼唱时) 以及音域变化的调节 , 更为准确的检验指挥的效果 (Bonet&Casan 1994;McAllister 等 , 1994 ; Bohme&Stuchlik 1995;Sulter 等 1995) 。然而 , 离开了其它身体的功能 , 我们无法单独评价声音 (Pedersen 1991a,Krusnevskaja&Pedersen 1992) (图 5.6)。

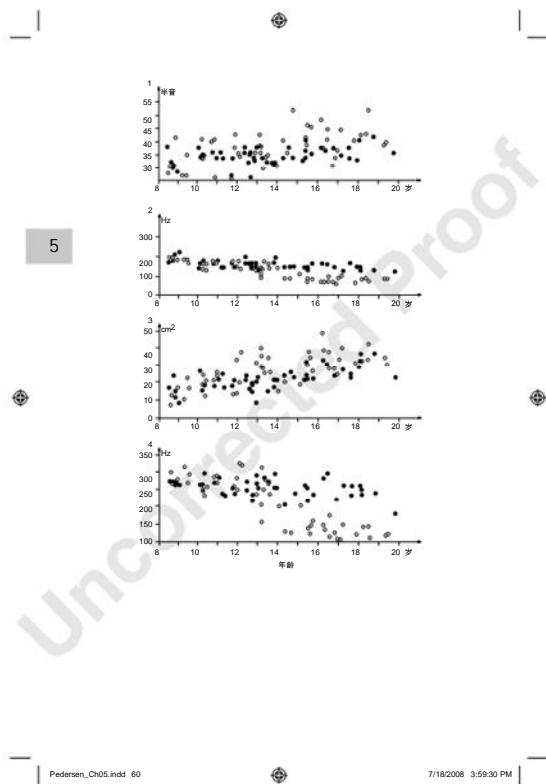


图 5.6 与年龄有关的比较 1.唱歌声音的音域范围 , 2.最低音 , 3.音域图面积 , 4 两性说话声音的基频 : (实心圈) 女孩 , (空心圈) 男孩 (面积中的 1 平方厘米 =32 半音 \times dB(A))

5.3 声音发育过程中的说话声音

Baken (1987) 和 Schultz-Coulon 等 (1988) 做了与儿童说话声音基频相

关的科学总结。另外，Fairbanks 等 (1949) , Michel 等 (1996) , Hollien 等 (1994) , Fitch&Holbrook (1970) , McGlone&McGlone(1972) 和 Coleman 等 (1977) 也曾经研究过儿童说话声音基频的发展过程，但没有对说话声音的音调范围进行研究。Vuorenkoski 等(1978)曾比较过患有内分泌疾病的儿童的说话声音平均基频与荷尔蒙水平的关系。Bastian&Unger (1980) 研究过青春期不同阶段说话声音的基本频率。Harry 等 (1998) 使用喉部测量方法对男孩进行测量，发现在 Tanner3-4 阶段频率的突降之间存在着强相关。Lundy 等 (2000) 使用歌唱声音的功率比作为一种客观工具来量化歌手的共振率 ;对年轻的声乐学生进行测量发现，唱歌和说话声音的该数值之间没有显著性差异。然而，在文献中我们并没有发现太多有关身体发育、荷尔蒙水平与由声音构成的第二性征之间关系的研究。Barlow&Howard(2002,2005)使用喉电描述法和商闭的数对 127 名儿童的训练情况进行了测量。Amir 等 (2002) , Amir&Biron-Shental(2004)认为，对医学上不同的声音条件进行性荷尔蒙补充评估是一个好办法。他们还发现，口服避孕药可以使声音变得稳定。Cheyne 等(1999)建议电声门图应具有标准值。

声 音 是 青 春 期 和 更 年 期 期 间 的 一 个 有 趣 的 生 物 学 参 数 。

Truuverk&Pdersen(1992)研究了世界节日合唱团女性业余成员的说话声音音域图与男性激素、雌激素之间的关系。研究发现，雌二醇水平越高，说话声音音域图面积越大，二者之间存在关联。Russell 等 (1995) 分析了成年女性说话声音的音域范围，并获得了类似的结果。Chan(1994)使用电声门图记录了受过训练的幼儿园老师的声音发展。

基于新的数学模型之上的计算 (Titze1994,Siegel1994) 可以揭示荷尔蒙对声音的调控方面许多不为人知的秘密(Blaustein 1986, Miranda 等 1996)。这对

如何量化区分生理学和病理学上声音的发育也很有帮助 (Anderson-Wallgren & Albertsson-Wiklund 1994; Byrne, Dillon & Tran (1994); Yukizane 等 1994)。对于声音的研究来说，从生物学的角度引入技术、分析测量结果是非常重要的。

第六章 对于问题的回答

摘要：

*两性的音域图面积都是逐渐扩大的，除了在 13.5—14.5 岁之间在力度和范围上有暂时的减小。两性特定的声音变化取决于性荷尔蒙的水平。性荷尔蒙球蛋白降低，即预示着男孩声音基频会出现一个八度音阶的降低。女孩初潮后，声调范围的扩大和雌激素硫酸盐水平的升高预示着女孩基频的变化。对于两性来说，在 13.5-14.5 岁之间声音的变化最大。

音域图和电声门描绘法为我们提供了重要的测量方法，与其它参数一起可以使我们对声音的发展过程有更清楚的认识。

根据我们在本研究中所获取的信息，我们可以回答在本文开头所提出的问題：

1 经过发声训练的男孩和女孩的音调范围和声音动态值范围是如何发展的？

两性的音域图面积 $\times \text{db}(A)$ 在青春期期间都是逐渐增加的。然而，在 13.5-14.5 岁之间是暂时下降的。这个现象在男孩中的表现比女孩要明显。

2 经过发声训练的男孩和女孩在说话时的基频是如何发展的？

两性在青春期期间说话声音都发生变化。男孩的声音变化取决于血清睾丸值

的水平，女孩取决于雌激素的水平。男孩的说话平均基频下降，而女孩的说话声音声调范围扩大。

3 经过发声训练的男孩和女孩声音的变化与荷尔蒙的变化有什么联系？

男孩和女孩在青春期的声音发生变化，男孩取决于睾丸激素的水平，女孩取决于雌酮的水平，与年龄无关。男孩的性荷尔蒙球蛋白值下降之后，说话声音的基频就随之下降。这些变化发生在青春期 2-4 阶段，同时在此阶段，睾丸激素水平上升。对于女孩，雌酮和雌酮硫酸盐水平的升高、说话声音的音调范围扩大之后，说话声音基频随之下降。

4 经过发声训练的男孩和女孩在青春期的哪一个阶段开始变声？

青春期的时间和发生方式对于女孩和男孩来说都是不同的；尽管如此，两性在 13.5-14.5 岁之间声音都会发生变化。迄今为止，我们无法像建立男孩合唱团那样建立一个著名的女孩合唱团。除了传统的原因，对于女孩声音以及女孩在青春期期间变声方式的不了解都导致了这个现象的产生。为了获得女孩音乐表达的最佳发展，我们应该将说话声音也考虑在生物学所决定的频率范围内，而这个频率范围对于每一个人来说都是正确的，也不是太高的（Collin&Koppe 1995）。