

Какие же из приспособлений, подобных указанным, определяют высоту тона в гортани? Можно сказать, что почти все. Здесь мы убеждаемся, насколько тонко структура голосового аппарата приспособлена для звукообразования. Весь сложный хрящевой, мышечный и связочный аппарат дает гортани возможность осуществлять максимальную свободу движений. Благодаря этому мы можем не только сближать и раздвигать голосовые связки, но и сокращать и расслаблять, натягивать и распускать их, натягивать вдоль и поперек, утончать и утолщать. В голосовом аппарате голосовые связки исполняют обязанности язычков различной длины, толщины или струн разной длины, различного натяжения и напряжения. Посмотрим, каким путем гортань (все равно у мужчин или женщин) может в положенных ей границах производить звуки различной высоты.

При произведении низких звуков натянутость голосовых связок незначительна (натягивающий голосовую связку щитоперстневидный мускул бездействует или работает слабо). Активна голосовая мышца (щиточерпаловидная), которая максимально напрягается, делается толще, потому и звук получается низкий, и чем сильнее напряжение, тем ниже звук.

Если при произведении таких звуков приложить руку к грудной клетке, то можно установить ее колебание или дрожание. Получаемые при этом звуки называются поэтому грудным голосом. Щель между щитовидным и перстневидным хрящами сравнительно велика, потому что передние мышцы не напряжены, а следовательно, не стягивают обоих хрящей.

Для повышения звука голосовые связки должны быть более натянуты. Достигается это тем, что напряжением передней щитоперстневидной мышцы, притягивающей друг к другу щитовидный, и перстневидный хрящи, прикрепленные концы голосовых связок еще более и более удаляются один от другого, вследствие чего голосовая связка механически растягивается (удлинняется). Этот механизм, однако, действует только до определенного предела, вследствие чего увеличение натяжения голосовых связок становится далее невозможным, а потому и невозможно повысить звук. Тогда начинает активно действовать поперечный мускул (межчерпаловидный), плотно прижимающий черпала друг к другу (рис. 26,с). Вследствие этого задние части голосовых связок не пропускают воздуха, иначе говоря, лишены возможности колебаться. Колеблется



только часть голосовых связок, которые, таким образом, укоротились, как прижатые пальцем струны скрипки, и стали издавать более высокий звук. Чем сильнее черпаловидные хрящи прижимаются друг к другу, тем короче звучащий отрезок голосовых связок и тем, следовательно, выше звук. Для дальнейшего повышения звука голосовые связки опять начинают сокращаться и натягиваться. Когда же наступает предел сокращения, натяжения и укорочения колеблющихся отрезков голосовых связок, начинает работать механизм фальцета, или так называемого головного голоса. Механизм его образования заключается в том, что голосовые связки колеблются не всей своей массой, а только краями, т. е. связочными своими элементами, при относительно слабой работе голосовой мышцы. Главную работу при этом совершают мышцы, натягивающие голосовые связки, т. е. передние, или щитоперстневидные.

При повышении фальцетного звука опять начинает активно работать поперечная мышца, крепко прижимающая черпала и тем укорачивающая звучащие отрезки. При фальцете угол между щитовидным и черпаловидным хрящами значительно уменьшается, что указывает на активную работу передней (перстнещитовидной) мышцы. Различие в характере функционирования голосовых связок при грудном и фальцетном звукообразовании установлено моментальными фотографиями и стробоскопическими наблюдениями. Согласно стробоскопическим исследованиям Музехольда, при грудном звуке связки представляются подобными двум толстым напряженным мускульным валикам, похожим на губы, плотно прижатые одна к другой (рис. 27,а). Раскрытие голосовой щели происходит лишь на очень короткий момент, в течение малой части периода звукового колебания, и за это время через щель проходит сильный порыв воздуха; в остальную же часть периода колебания связки плотно сжаты. Периодическое следование таких толчков дает звук, богатый обертонами, что придает тембру характер полноты и металлический оттенок.

При фальцете связки представляются плоскими и сильно растянутыми, и между ними в середине образуется просвет, как между двумя растянутыми резиновыми полосками (рис. 27,б).

Края связок утончены и, по-видимому, не имеют той упругости, как при грудном звуке; полного закрытия голосовой щели



Рис. 27. Стробоскопический снимок связок.  
 а) При фонации грудного тона ( $e' = 256$ ) в момент наибольшего закрытия голосовой щели; баритон, forte. б) Баритон, фальцетный тон; нестробоскопический снимок, показывающий, что голосовая щель не смыкается (по Музехольду).

не получается даже в момент фазы наибольшего сближения связок. Таким образом, при фальцете не получается и полного прерывания тока воздуха. Фальцетный голос вследствие этого не богат обертонами, звучит очень мягко, не обладает металлическим оттенком и имеет мало силы. Дрожания грудной стенки тоже нет; поэтому, в отличие от грудного звука (как бы отдающегося в груди), фальцет называют также головным голосом (звучит как бы в голове).

Тонндорф, в противоположность принятой точке зрения, что при грудном звуке смыкание связок получается полное, а при фальцете между связками остается щель, — не мог установить полного смыкания связок также и на грудном регистре.

По наблюдениям Эртеля, при фальцете связки тоже колеблются во всю ширину, а не только краями.

Согласно его исследованиям, голосовые связки при фальцете делятся в продольном направлении тонкими линиями, идущими параллельно их краям, на два, а в некоторых случаях и на три отдела, образуя при этом колеблющиеся ленты, разделенные стоящими неподвижно узловыми линиями. Наиболее узкая лента всегда находится внутри и лежит у самого свободного края голосовой связки, а более широкая — снаружи. Более узкая лента, обращенная к голосовой щели, совершает при фонации более заметные колебания, нежели более широкие, лежащие снаружи (периферические) их отделы, колеблющиеся очень слабо. При этом каждая из таких рядом лежащих полос при пении совершает свои колебания в противоположные стороны; в то время как узкая, краевая, внутренняя лента, обращенная к голосовой щели, направляется кверху, рядом с ней лежащий отдел связки — более широкая лента — совершает свои движения в обратном направлении, т. е. книзу.

Кошлаков, как и Эртель, видел на колеблющихся голосовых связках *узловые линии*, но лежащие снаружи от узловых линий части голосовых связок производят лишь очень слабые движения. Рети наблюдал на поверхности связок волнообразные движения, пробегающие не параллельно их свободному краю, а вкось, так что образуется угол, открытый кпереди.

Гейман видел на грудном и переходном регистрах (но не на фальцете) волнообразные движения на голосовых связках, начинающиеся от Морганиевых желудочков, идущие по направлению к свободному краю связок и затем исчезающие, вернее, перенимаемые пассивными колебаниями свободного края голосовых связок, обусловленными движением воздуха. Этот феномен, названный Гейманом „активным импульсом колебаний“, он никогда не видел на больной стороне при нарушении иннервации одной половины гортани.

Проф. Симановский сделал наблюдение, что связки обычно совершают синхронические колебания, т. е. такие, при которых обе связки при колебаниях одновременно поднимаются кверху и, дойдя до крайней верхней точки своего размаха, одновременно же начинают опускаться книзу.

Но, кроме этих синхронических колебаний, они могут совершать еще и колебания другого типа, именно попеременные, асинхроничные. В таком случае, в то время как одна связка поднимается кверху, другая опускается книзу, и наоборот. Последний тип колебаний встречается наиболее часто при болезненном состоянии голосовых связок.

Колебания голосовых связок, по Музехольду, при грудном голосе происходят, по-видимому, в направлении, перпендикулярном к току воздуха через голосовую щель; при фальцете же – почти в направлении тока воздуха (рис. 28).

Для получения модели язычковой трубы, аналогичной устройству гортани при грудном голосе, язычки делаются входящими в пазы на пружинах и раздвигающимися в стороны при давлении воздуха снизу (рис. 29).

Панканчелли-Кальчия кинематографическим путем показал, что связки вибрируют „противобьюще“ на обоих регистрах, причем, помимо больших колебаний, они совершают еще незначительные волнообразные движения кпереди и в сторону.

Суставы гортани, определяющие напряжение и натяжение голосовых связок, обычно не фиксируются в одном определенном положении. Голосовые связки при фонации все время находятся в состоянии неустойчивого равновесия. Певец или вообще человек, обладающий той или иной степенью музыкального слуха, при фонации стремится установить и удержать точную высоту звука, которая все время нарушается, с одной стороны, изменением давления воздуха в

подсвязочном пространстве, а с другой – изменением объема и формы резонаторных полостей.

Что касается последних, то, хотя они в голосовом аппарате человека не играют той роли в установлении высоты звука, как это имеет место в надставной трубке язычковых органнх труб, но все же, по мнению некоторых авторов, они при известных условиях



могут оказывать некоторое, правда еле заметное, влияние на высоту издаваемого голосовыми связками звука.

М. Шен показал, что тон редко удается удержать на точной высоте более  $1/2$  секунды, причем неточность сводится, приблизительно, к  $1/30$  тона и наиболее часто в сторону повышения. Также и Ганзен установил, что ни один даже совершенный певец не в состоянии долго (период Ганzenом не уточнен) точно выдерживать производимый звук. В своих опытах Ганзен пользовался прибором Кенига и осциллографическим зеркалом. В случае полного совпадения обоих тонов – голоса и музыкального инструмента – пламя, оставалось совершенно ровным. При малейшей неточности в высоте производимого голосовыми связками звука пламя приходило в движение, отклоняясь то вправо, то влево – в зависимости от того, звучал ли голос выше или ниже звука инструмента. Ганзен подчеркивает, что установленный процент неточности голоса должен быть отнесен не только за счет гортани, но и за счет неточности человеческого слуха.

С другой стороны, Гутман доказал, что поющий обычно обнаруживает инстинктивное стремление выровнять тон до точной высоты. Если даже немзыкальный человек производит звук какой-либо высоты и одновременно на гармонiuме или другом музыкальном инструменте извлекается звук, ближе лежащий к звуку, издаваемому голосовыми связками, то появляющиеся сначала «биения» скоро исчезают. Это означает, что тон голоса и звук музыкального инструмента абсолютно, математически точно совпали. Но в виду указанных причин (состояние неустойчивого равновесия черпалов и т. п.) такое абсолютное совпадение бывает все же очень кратковременным.

Совершенно точными методами исследования установлено, что самый музыкальный человек обычно поет не абсолютно точно. Клюнднер совместно с Ганzenом применяли две мембраны, которые одновременно приводились в колебание: одна – тоном музыкального инструмента, другая – голосом, причем записи с обеих мембран одновременно наносились на вращающийся барабан. Затем обе кривые были наложены одна на другую, разбиты на отрезки и подсчитаны. Эти точные опыты показали при  $g$  (96 кол/сек) 0,342% ошибок; при  $c'$  (128 кол/сек) – 0,364%, при  $g$  (192 кол/сек) — 0,323%, при  $c'$  (256 кол/сек) – 0,230%.

Произведенные лично Клюнднером исследования показали в среднем приблизительно тот же процент неточности слуха – 0,35%; при  $c'$  (128 Кол/сек) – 0,761%, при  $g$  (192 кол/сек) – 0,437%, при  $c'$  (256 кол/сек) – 0,257%.

Исследование К. Шеффера и А. Гутмана по вопросу о возможности уловить разницу между двумя звуками установило,

что при одновременном звучании двух тонов требуется сравнительно большое их отклонение друг от друга по высоте, чтобы считать их нечисто звучащими.

Эта разница должна соответствовать от  $1/4$  до  $1/2$  тона. Графические исследования Гутмана установили, что только при разнице от  $+1\%$  до  $-1\%$  в количестве колебаний двух звуков можно установить ухом, что один звук ниже другого.

Еще целый ряд исследований по вопросу о точности интонации при пении и тонкости человеческого слуха, произведенных в последние годы, показали лишь относительную тонкость человеческого слуха и недостаточно точную интонацию при пении, сопровождаемом игрой на музыкальном инструменте.

Между прочим, из приведенных исследований становится ясным, почему при стробоскопии весьма трудно добиться картины неподвижного стояния голосовых связок.

Образованная колебаниями голосовых связок звуковая волна поступает в верхний отрезок дыхательных путей, который считается резонатором голоса. Как мы уже знаем, звук человеческого голоса, подобно звукам всех музыкальных инструментов, представляет собой смесь разных тонов (основной тон и обертоны), причем от количества, порядка и интенсивности обертонов, в конечном счете, и зависит его тембр.

Под влиянием резонанса ротоглоточной полости звуковая масса, имеющая в своем составе большое количество обертонов, значительно усиливается и меняется по тембру, приобретая окраску той или иной гласной. Оформление издаваемого голосовыми связками звука в различные гласные осуществляется благодаря способности ротоглоточной полости изменять свою форму и объем, а также благодаря исключительной подвижности языка и других входящих в ее состав органов и их различным напряжениям.

В виду того, что надставная трубка голосового аппарата представляет собою ряд полостей, из которых некоторые (ротовая и глоточная) обладают мягкими подвижными стенками и могут всячески изменять свою форму и объем, следовательно – и собственный тон, то и принято считать, что надгортанные полости могут, в зависимости от их „настройки“, изменять и усиливать отдельные обертоны звука человеческого голоса и тем придавать ему соответственную окраску (тембр).

Своеобразный взгляд на функционирование надгортанных полостей голосового аппарата (полости рта и глотки) выдвинул в последнее время Тарно. В совместной с Гюссоном работе<sup>1</sup> он говорит о взаимодействии (взаимоподдержке), существующем

---

<sup>1</sup>Tarneaud et Husson. Rückdoppelungserscheinungen am Stimmorgan; „Rev. Fr. Phon.“,

между обеими органически и функционально связанными системами – голосовыми связками и резонаторным аппаратом. Нарушение этой связи отрицательно влияет на работу голосовых связок и, следовательно, на акустический эффект.

Если, говорит Тарно, две могущие колебаться системы тесно связаны между собою, то в каждой из них возникают либо насильственные, либо сродственные колебания (резонанс). Надставная трубка голосового аппарата функционирует (вернее, должна функционировать) в качестве настоящего резонатора, возбуждающего колебания голосовых связок. Если этот резонатор не может влиять на период колебаний голосовых связок (высоту звука), то на форму колебаний он должен оказывать заметное влияние. В доказательство справедливости своей мысли автор приводит так называемый „парадоксальный феномен“, заключающийся в следующем: при высоком стоянии гортани во время фонации Тарно стробоскопически (см. ниже) наблюдал очень большую амплитуду колебаний голосовых связок, причем высокие обертоны фонированного звука были выражены слабо, и совершенно не было вибраций черепной коробки. Наоборот, при низком положении гортани амплитуда колебаний связок была сравнительно невелика, но зато обертоны были выражены значительно сильнее, а вибрации черепа были заметны. Отсюда Тарно делает заключение о влиянии надставной трубки на колебания связок, а в связи с этим и на получающийся акустический эффект.

По мнению Тарно, наиболее благоприятные взаимоотношения получаются в том случае, когда собственный тон надставной трубки совпадает с высотой фонированного тона, который она, надставная трубка, при таких условиях в состоянии усилить при самой незначительной работе ее стенок. По мере удаления высоты тона ротоглоточной полости от высоты тона голосовых связок, резонатор будет оказывать уже меньшее, а затем уже не положительное, а отрицательное влияние на колебания голосовых связок.

Высота тона голоса на границе регистров имеет „критическую частоту“, иначе говоря, на этих тонах взаимодействии между голосовыми связками и резонаторными полостями получается наименее благоприятное.

Тарно, далее, отмечает, что нарушение правильности взаимоотношений между связками и ротоглоточной полостью может явиться следствием ряда анатомических факторов: излишне больших размеров ротовой полости, чрезмерно длинной или слишком короткой небной занавески, а также погрешностей чисто вокального порядка – вытягивания гортани кверху, суживания зева, пения в несоответствующей голосу tessiture, неправильного

„сглаживания" регистров и т. д. Правильность взаимоотношений может страдать и от воспалительных процессов во рту и глотке.

Вопрос о влиянии поверхностей, образующих полость глотки и рта, на тембр звука является весьма мало освещенным. Рессель<sup>2</sup> считает, что этот фактор играет большую роль в образовании согласных и гласных. Действительно, придавая языку или губам соответствующее положение и упругость, можно заставить их вибрировать под действием проходящего тока воздуха (согласные *б, н, з, ж, р*). Подобное же влияние весьма вероятно и при образовании гласных.

Вопрос, поднятый Ресселем, весьма актуален, но пока мало изучен. Коттон<sup>3</sup>, исследуя резонанс мягкостенных резонаторов из мяса и смоченной ваты, нашел сильное увеличение затухания и повышение собственной частоты резонатора.

Итак, обычно проводится полная почти аналогия между резонаторной трубкой духовых инструментов и надгортанными полостями голосового аппарата, а на основании этого и принято считать, что тембр голоса образуется преимущественно именно в этих полостях и ими главным образом определяется.

Надо, однако, сказать, что аналогия между резонаторными трубками музыкальных инструментов и надставной трубкой голосового аппарата является *argior'*ной, научно недостаточно обоснованной; этим и можно объяснить необычайную противоречивость взглядов отдельных авторов на значение той или иной полости для тембра голоса.

До последних лет вопрос о резонаторной функции надгортанных полостей рассматривался целым рядом исследователей, главным образом, при изучении *речевой функции* голосового аппарата и преимущественно только в этом плане. Систематических же исследований, посвященных изучению тембра голоса и, главным образом, *певческого голоса* и механизму его образования, было сделано мало.

Но и в настоящее время надо считать, что вопрос о тембре голоса певцов, о месте его образования, а также о значении для него надставной трубки в целом и отдельных ее частей является недостаточно выясненным и требует дальнейшего изучения.

Полость рта является, кроме того, резонатором с большим отверстием во внешнее пространство, т. е. излучателем звука (своего рода рупором).

Если небная занавеска, отделяющая носовую полость от ротоглоточной, недостаточно плотно прилегает к задней стенке глотки, то звучащий ток воздуха устремляется в нос. В таком

---

<sup>2</sup> O. Russel, *Speech and voice*, New-York, 1931; "Journ. Acoust. Soc." 1934

<sup>3</sup> J. Cotton, "Journ. Acoust. Soc", 1934.



случае носовая полость начинает принимать участие в окраске звука, который приобретает специфический гнусавый оттенок, обычно свойственный лишь ряду согласных и полугласных звуков (м, н, б, д, з).

Вопрос о резонаторной функции носа вызвал большие разногласия среди исследователей. Так, одни настаивают на огромном значении для голоса носовой полости (Рети,<sup>4</sup> Шписс<sup>5</sup>, Гутцман<sup>6</sup>, Фрешельс<sup>7</sup>). По их мнению, голос благодаря резонированию звука в носовой полости приобретает силу, сочность, звучность и способность нестись вперед; наоборот, при отсутствии этого резонанса звук является тусклым, „мертвым“, лишенным красок. Рети отмечает, что певец без хорошего носового резонанса невольно форсирует свой голос для придания ему силы, так как иначе голос не будет слышен в большом помещении. Если певец не пользуется носовым резонатором, он не может справиться с дыханием, лицо его краснеет, голосовые связки перенапрягаются и скоро утомляются.

Другие авторы либо совершенно отрицают значение для голоса резонанса в носовой полости, либо полагают, что значение это ничтожно.

Так, Лермое<sup>8</sup> считает нос ограниченным резонатором, могущим, в виду неспособности его менять форму, усиливать лишь самое небольшое количество обертонов. По Желле<sup>9</sup>, звучность голоса будто бы не нарушается от отсутствия носового резонанса, так как чем выше и сильнее звук, тем носоглотка более замыкается мягким небом – и тем менее реагирует заключенный в носовой полости воздух. Катценштейн<sup>10</sup> сомневается в значении носа как резонатора, базируясь на том, что при зажимании ноздрей звук мало меняется в своем характере.

Некоторые авторы (Ботей<sup>11</sup> и др.) придают значение носовому резонатору только для определенного типа голосов, а доктор Л.Д.Работнов<sup>12</sup> в своей работе, опубликованной в 1925 г., находит, что носовая полость у лучших певцов не только не является частью голосового аппарата, но что включение носа как резонатора весьма неблагоприятно отражается на звучности и

---

<sup>4</sup> Rethi, Über Nasenresonanz. Die Stimme. 1912; R e t h i, Zur Kenntnis der motorischen Innervation des weichen Gaumens, Wien. Med. Woche", 1911.

<sup>5</sup> S p i e s s, Arch. f. Laryngologie, 1901.

<sup>6</sup> Gutzmann, „Stimmbildung und Stimmpflege“, 1920.

<sup>7</sup> Fröschels, Zur Frage der Nasenresonanz. III Internat. Verhandl., 1911.

<sup>8</sup> Gougenheim et Lermoyez, Physiologie de la voix et du chant, 1895

<sup>9</sup> Gellé. Les deux voies de la phonation et le jeu du voile de palais, „Arch internat. du Laryng.“, 1908.

<sup>10</sup> Katzenstein, Beitr. z. Anat., Physiologie uad Therapie des Ohres, der Nase und des Halses.

<sup>11</sup> Botey, Maladies de la voix chez les chanteurs, 1899.

<sup>12</sup> Работнов Л. Д. О функции мягкого неба при пении, „Русская ото-ларингология“, № 5-6, 1905.

окраске голоса<sup>13</sup>. Он утверждает, что искривление носовой перегородки и другие аномалии носовой полости, если они не сопровождаются никакими воспалительными явлениями в верхних дыхательных путях, не могут оказывать вредного влияния на голосообразование.

Разногласие среди исследователей вызывает также вопрос о резонаторном значении придаточных полостей носа для голоса. Одни авторы утверждают, что придаточные полости усиливают звук; другие – что они придают ему приятный тембр, некоторые же совершенно отрицают какое-либо их значение.

Музехольд, например, на основании рассмотрения анатомического расположения носа и придаточных полостей, приходит к заключению, что в придаточных полостях не может быть возбужден резонанс под влиянием колеблющегося воздушного тока, проходящего через носовую полость, так как выходные отверстия этих полостей очень малы и обыкновенно даже и при непатологическом состоянии заполнены слизью; таким образом, по его мнению, эти полости являются выключенными из участия в колебании воздушного объема носовой полости.

Мнение Музехольда разделяет Гисвейн, полагающий, что скрытое положение отверстий, ведущих в придаточные полости, и в особенности их незначительные размеры превращают эти полости в замкнутые в самих себе резонаторы, а потому смотреть на них как на резонаторы, способные усиливать и выделять входящие в состав звука обертоны, он не видит оснований.

Резонаторное значение грудной клетки для голоса никогда не вызывало сомнений у исследователей. Процесс пения почти всегда, а особенно на нижних регистрах, сопровождается особым дрожанием грудной клетки, которое ощущается самим поющим, и может быть объективно установлено приложенной к его груди рукой или чувствительным механизмом. Это дрожание есть результат резонанса, т.е. усиления звука.

Гисвейн<sup>14</sup> считает, что в грудной полости может резонировать только бронхиальное дерево. Легочная же ткань, как губчатая, является, по его мнению, скорее тушителем звука, нежели его усилителем.

Объем разговорного голоса обычно охватывает в среднем не более 3-4 тонов, несмотря на то, что в разговоре можно пользоваться почти всем объемом человеческого голоса.

По наблюдениям Паульсена, голос мужчины охватывает в разговорной речи звуки от *A* до *E*, женский и детский голос –

---

<sup>13</sup> То же самое Л. Работнов утверждает в своей последней работе (Физиология и патология голоса певцов, Музгиз, 1932).

<sup>14</sup> Giesswein, „Ueber Brustresonanz,“ Vernaldi. d. Ges. Halsärzte in Nürnberg. 1921

звуки от *a* до *e*, а по исследованиям Грютцнера высота тона в речи нередко колеблется в пределах до целой октавы.

По Веберу, во всякой произнесенной фразе имеется основной тон. Начинается фраза обыкновенно на квинту от основного тона и затем приближается к нему через интервалы секунд и терций.

Кривые разговорного голоса отличаются от кривых певческого голоса постоянными падениями и подъемами.

Индивидуальная высота разговорного голоса соответствует обычно середине (приблизительно), а по Гутцману – нижней границе охватываемой голосом шкалы тонов.

Разговорный и певческий голос у одного и того же лица не всегда схожи. За некрасивым разговорным голосом часто скрывается прекрасный певческий голос, так же как и наоборот, — при прекрасного тембра разговорном голосе певческий звук может оказаться весьма неприятным по тембру.

Из числа звуков, вообще производимых человеческой гортанью, т.е. с числом колебаний от 42 до 1708 (F1— a3), в пении употребляются только звуки с числом колебаний 80—1034 (E—c3), т.е. приблизительно 4 октавы, но бывают значительные отступления как в одну, так и в другую сторону. Обыкновенно голоса у певцов охватывают в среднем две октавы.

Детский голос гораздо менее богат звуковым объемом; до шестого года жизни голос у девочек простирается приблизительно от *f'* до *h'*, у мальчиков от *e'* до *A'*. На шестом году он равен септимере, от восьмого до десятого – октаве; затем он понемногу увеличивается.



Гутцман дает следующую схему развития объема голоса у детей (рис. 30).

Как известно, у певцов различаются следующие типы (характер) голоса: мужские: бас, баритон, тенор; женские: контральто, меццо-сопрано и сопрано. Из них каждый выше предыдущего приблизительно на одну терцию. Женские голоса вообще звучат на октаву выше мужского (рис. 31).

Человеческий голос тесно, органически связан со словом, но все же голос и речь с акустической точки зрения значительно разнятся друг от друга. Существует голос без речи – визг младенца, мелодия без текста. Точно так же существует речь без голоса — шепот. Последний образуется только в резонаторной трубке, гортань при нем бездействительна. Голосовые связки только очень мало сходятся, чтобы вызвать легкое трение выдыхаемой струи воздуха об их края, придающее шепоту некоторую

звучность. Кроме того, при шепоте можно произносить слова как при вдыхании, так и при выдыхании, между тем как громкая разговорная речь звучит только при выдыхании.

Акустически речь состоит из шумов, к которым могут (громкая речь), но не обязательно должны (шепот), присоединяться звуки, образуемые в гортани. Из соединения образуемых в выходной трубке шумов речи со звуками гортани, обладающими определенной высотой, получаются разговорная речь и



Рис. 31. Диапазоны певческого голоса.

переложенная в музыку речь – пение.

Речь образуется в результате соединения гласных и согласных звуков; полученные отсюда слоги образуют односложные, а затем и многосложные слова.

Два основных элемента речи – гласные и согласные звуки – образуются следующим образом.

Каждой гласной соответствует особое расположение органов рта (языка, губ, мягкого неба и т. д.). Благодаря этому один и тот же издаваемый гортанью звук получает во рту характерную для той или иной гласной окраску.

Наибольший объем полость рта имеет при звуке *a*, меньший – при звуках *e*, *y*, *o*, самый маленький – при *и*.



Рис. 32. Форма ротовой полости при разных гласных и согласных.

Язык при *и* в средней своей части приподнят и почти соприкасается с небом; кончик его касается нижних зубов. Гортань стоит выше, чем при всех остальных гласных.

При *e* челюсти раскрыты больше, чем при *и*. Губы несколько растянуты к углам рта. Язык тоже приподнят в

средней своей части, но меньше, чем при *и*.

При *а* челюсти раскрыты. Язык лежит свободно, плоско, с продольным углублением на спинке. Гортань ниже, чем при *е*.

При *о* рот принимает округленную форму. Язык несколько приподнят в корне. Гортань еще ниже, чем при *а*.

При *у* губы вытянуты вперед в виде воронки. Язык немного отодвигается назад и в задней части несколько приподнимается.

Гортань имеет самое низкое, по сравнению с другими гласными, положение (рис. 32 и 33).

Механизм образования гласных Гельмгольц объясняет таким образом: звук, издаваемый голосовыми связками и имеющий в своем составе большое количество обертонов, поступает в полость рта и глотки, которые представляют собою сложной формы резонатор, усиливающий все обертоны, лежащие близко от его собственной резонансной частоты (собственного, или характеристического тона). При произнесении гласных *у*, *о*, *а* рот представляет собою одиночный резонатор, т.е. имеющий один собственный тон, при произнесении же гласных *е* и *и* – резонатор двойной.

Задняя часть его – большего объема, передняя же мала по объему и узка. Оба связанные между собою резонатора разделяются сужением, образуемым корнем языка и мягкими небом.

Задний резонатор усиливает нижние обертоны, передний – высокие. Таким образом, по Гельмгольцу, составные части звука гласных являются гармоническими обертонами основного тона, даваемого связками.

Число их колебаний в целое число раз превышает число колебаний основного тона голосовых связок. Но в то же время Гельмгольц считает, что наполняющая ротовую полость воздушная масса может быть приведена в соколебание достаточно сильными колебаниями воздуха, которые не имеют такого же периода, как

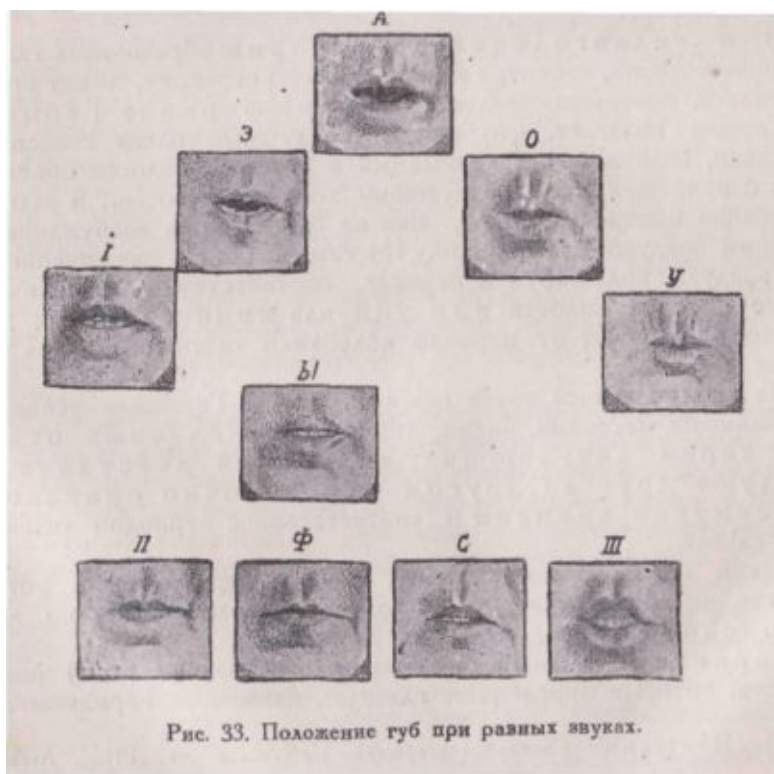


Рис. 33. Положение губ при разных звуках.

собственные тоны полости. Поэтому гласная может возникнуть и в том случае, если основной тон не находится в гармоническом отношении с характеристическим для каждой гласной собственным тоном ротовой полости.

Гельмгольц<sup>15</sup> нашел следующие характеристические тоны для различных гласных:

	1-й характеристический тон гласных	2-й характеристический тон гласных
1. У . . . . .	176 кол/сек	—
2. У <sup>о</sup> . . . . .	352 "	—
3. О . . . . .	466 "	—
4. А . . . . .	932 "	—
5. А <sup>о</sup> . . . . .	594 "	1584 кол/сек
6. Е . . . . .	352 "	1864 "
7. И . . . . .	176 "	2376 "

При расчете этой таблицы тон нормального камертона а' принят равным 440 колебаниям в секунду.

Гельмгольц попытался проверить свою теорию путем получения синтетических гласных в результате суммирования ряда гармонических тонов. Аппарат Гельмгольца представлял собой ряд из восьми камертонов с резонаторами, настроенных на гармоники тона 128 кол\сек от 1-й до 8-й гармоники (1792 кол/сек) и возбуждаемых действием переменного тока с частотой 128 кол\сек (от камертонного прерывателя). Подбирая силу гармоник путем регулирования отверстий резонаторов, удалось получить звуки, подобные гласным а, о, у, е, но воспроизведение их было очень несовершенно, что объясняется недостатком количества верхних обертонов и их слабостью.

Этой гельмгольцевской теории образования гласных, в основе которой, несмотря на приведенную оговорку, лежит принцип резонанса, противопоставляется теория формант Германа<sup>16</sup>.

Герман полагает, что каждый воздушный толчок, создаваемый связками, возбуждает заключенный в ротовой полости объем воздуха с присущей ему (воздушному толчку) частотой, и затем эти колебания быстро затухают, пока не будут вновь возбуждены следующим воздушным толчком. Но самый объем заключенного во рту воздуха колеблется в периоде, соответствующем величине и форме ротовой полости при той или иной гласной, и несколько не зависит от периода колебаний основного звука голосовых связок.

Из кривых записи звука гласных, снятых Германом усовершенствованными методами, видно, что в звуке гласных отдельные серии затухающих колебаний действительно следуют

<sup>15</sup> Н. Н e l m h o l t z, Die Lehre von den Tonempfindungen, Braunschweig, 1862.

<sup>16</sup> L. Hermann, Phonographische Untersuchungen, „Pflug. Arch.“, 47, § 45

друг за другом через точно одинаковые промежутки времени в соответствии с периодом основного тона связок.

Таким образом, по Герману, воздух, наполняющий ротовую полость, не приводится звуком голоса в соколебание, но лишь сотрясается током выдыхаемого воздуха.

Характеристические звуки (собственные тона) ротовой полости, которые определяют гласную, названные Германом „формантами“<sup>17</sup> гласной, не обязательно должны быть гармоническими обертонами звука голосовых связок.

Между сторонниками теории Гельмгольца и Германа велась и ведется иногда и до сих пор горячая полемика, хотя обе теории, как это указал Релей, в сущности, друг другу не противоречат.

Дело в том, что форма кривой, найденная Германом (чередование затухающих синусоид), может быть разложена по теореме Фурье на ряд гармонических составляющих. Области усиления гармоник, по Герману, могут и не совпасть ни с одним из гармонических обертонов звука, издаваемого голосовыми связками, что не мешает, однако, всем составляющим тонам оставаться гармоническими. Форма звуковой кривой, вытекающая из теории Гельмгольца, не ограничена ничем; она может быть в частном случае такой, как находит Герман, но может иметь и другую форму.

Таким образом, взгляд Гельмгольца более общий – он охватывает тот частный случай, который берет Герман. Физическая концепция явления обеих теорий друг другу не противоречит. Говорить ли о звучании пульсирующей кривой с частотой основного тона звука (Герман) или о сочетании ряда гармоник, которые в сумме дают той же формы кривую (Гельмголец), — является безразличным.

Во всяком случае, механизм образования гласных при шепоте может быть истолкован только в духе теории Германа, так как при шепоте регулярные периодические толчки связок отсутствуют, и резонансные полости могут быть приведены лишь в свободные колебания под действием трения струи воздуха при усиленном выдохе. При шепотной речи возбуждение собственных колебаний ротоглоточной полости все время возобновляется, и из состава шума преимущественно усиливаются компоненты, лежащие в области форманты (формант) той или иной гласной; таким образом, возникают звуки, подобные звукам гласных, но, конечно,

---

<sup>17</sup> Термин форманта быстро привился в науке, но теперь он применяется не только как название определенного тона, характерного для данной гласной (основной характеристический тон), а как обозначение так называемых „характеристических областей“ резонанса, в которых усиливается ряд близких друг к другу по высоте гармоник (обертонов, призвуков), определяющих акустические свойства той или иной гласной.

не являющиеся точно периодическим процессом. В речи и пении резонансные полости могут участвовать в звукообразовании двояко: с одной стороны, усиливая те или другие гармоники основного тона связок, совпадающие с формантой (формантами) гласных, а с другой — они возбуждаются к самостоятельным колебаниям и дают призвуки, вообще говоря, негармонические с тоном связок, характеризующие (формирующие) ту или иную гласную.

Достаточно совершенное воспроизведение гласных удалось ряду авторов путем подражания естественному возбуждению звука в гортани и видоизменения тембра резонаторами. Так, Мараж<sup>18</sup> построил ряд резонаторов-масок, имитирующих объем и форму рта для разных гласных, и возбуждал их звучание при помощи

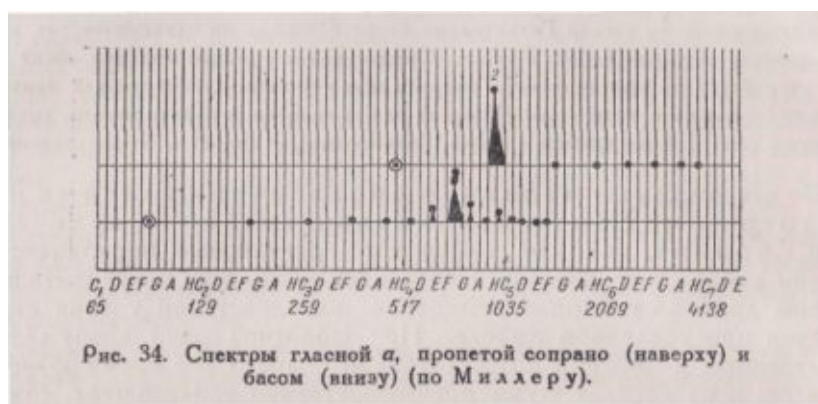


Рис. 34. Спектры гласной *a*, пропетой сопрано (наверху) и басом (внизу) (по Миллеру).

искусственной гортани, действующей сжатым воздухом.

Дальнейшим серьезным шагом вперед в изучении звуков речи была работа Дейтона Миллера<sup>19</sup>, который с

помощью „фондейка" произвел чрезвычайно полное исследование гласных для различных голосов и на различных высотах.

Гармонический анализ всех записанных кривых Миллер представил в очень удобной графической форме, которая позднее получила название „звуковых спектров". На рис. 34 представлены, например, спектр гласной *a*, пропетой сопрано на высоте 488 кол\сек и басом на высоте 92 кол\сек, причем по оси абсцисс отложены в логарифмическом масштабе высоты тонов, а по оси ординат — сила звука отдельных гармоник в виде пирамидок. Из спектра гласной *a* у баса видно, что 7-я, 8-я, 9-я и 11-я гармоники сравнительно сильны, особенно выделяется 8-я гармоника —

732 кол/сек. Интенсивность основного тона и всех гармоник до 6-й по данному анализу так мала, что на чертеже отмечена быть не могла.

На рис. 35 изображен общий статистический результат анализа различных гласных, вытекающий из работы Миллера. Кривые, нанесенные на чертеже, представляют собой среднее положение резонансных областей или формант, в которых усиливаются обертоны различных гласных, произносимых на

<sup>18</sup> Marage, The Science of Musical Sounds, New-York, см. стр.246, 1922.

<sup>19</sup> D. Miller Physiologie de la voix, Paris, 1911.



разных высотах и разными голосами. Гласные  $a$ ,  $oa^{20}$  (среднее между  $a$  и  $o$ ),  $o$  и  $y$ . на какой бы высоте они ни произносились, всегда имеют одну определенную область усиления обертонов; для  $a$  она — самая высокая, около 1000 кол\сек ( $do'''$ ), для  $y$  — самая низкая, около 300 кол\сек. Каждая из гласных  $ae$ ,  $e$ ,  $ei$  имеет две характеристические области — одну низкую и одну высокую; для  $u$ , например, они лежат около 300 и 3000 кол\сек.

Запись и анализ гласных, произнесенных шепотом, т.е. без участия голосовых связок, показали наличие приблизительно тех же формант для различных гласных, что очень важно для теории голосообразования.



Рис. 35. Области резонирования (форманты) различных гласных (по Миллеру).

Из того же рис. 35 мы видим, что гласная  $u$  отличается от  $y$  только тем, что у нее добавляется высокая область резонирования (около 3000 кол\сек); такого же рода разница между гласной  $ei$  и  $o$ , а также  $e$  и  $oa$ . Если

посредством фильтра срезать область частот выше 1500 кол\сек, то гласные  $u$ ,  $ei$ ,  $e$  должны превратиться в  $y$ ,  $o$ ,  $oa$ . Это наблюдение действительно сделано на опыте Штумпфом<sup>21</sup> при помощи интерференц-аппарата (акустического фильтра) и Вагнером<sup>22</sup> при помощи электрических фильтров<sup>23</sup>.

Чрезвычайно важным для теории образования гласных оказалось открытие Педжета<sup>24</sup>, который, анализируя звук гласных на слух, пришел к выводу, что все гласные обладают двойной формантой. (Раньше принималось существование двойной форманты лишь у гласных  $e$  и  $u$ .) Педжет подтвердил свое заключение на опыте искусственного воспроизведения гласных при помощи двойных резонаторов сложной формы (рис. 36), подбираемых эмпирически путем подражания форме полости рта и глотки. Возбуждение „голоса" производится искусственной гортанью, которая представляет собою резиновую полосу,

<sup>20</sup> Двойными буквами показаны гласные промежуточного характера, например, между  $a$  и  $e$  или  $e$  и  $u$ .

<sup>21</sup> C. Stumpf, Die Sprachlaute, Berlin, 1.9.26.

<sup>22</sup> K. W. Wagner, E. T. Z., 45, S. 451, 1924.

<sup>23</sup> Факт восприятия слухом разницы между различными гласными, которые отличаются лишь абсолютной высотой составляющих тонов, говорит за то, что слух каждого человека до известной степени является абсолютным и что лицам с хорошим музыкальным слухом это свойство присуще лишь в большей степени

<sup>24</sup> R. Peget, "Proc. Roy. Soc." (A), 102, p. 752, 1923.

натянутую в узкой щели (пищик). Резонаторы могут стоять последовательно друг с другом или параллельно. Пищик может лежать сзади обоих резонаторов или в промежутке между ними.

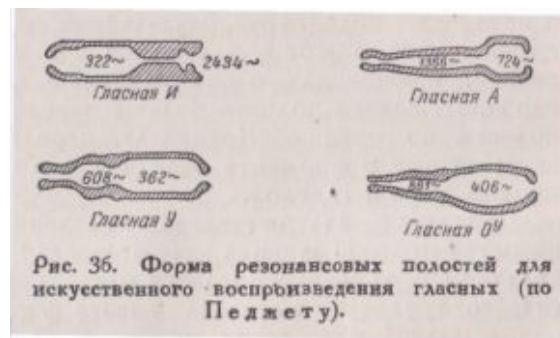


Рис. 36. Форма резонансовых полостей для искусственного воспроизведения гласных (по Педжету).

Практическое развитие идей Педжета сделано Риссом<sup>25</sup> в лабораториях компании Белла в Америке. Рисс сконструировал аппарат, названный им „искусственной гортанью“ и предназначенный для воспроизведения звуков речи лицами, лишенными возможности пользоваться гортанью вследствие тех или иных заболеваний. Дыхание происходит через отверстие в трахее, минуя глотку и рот.



Рис. 37. Искусственная „гортань“ (по Риссу).

В искусственной гортани (рис. 37) воздух из легких подводится через капсулю, вставленную в трахею, к пищику и далее поступает через трубку глубоко в полость рта. Пользуясь своими легкими для возбуждения звука пищика и изменяя по желанию высоту его тона, больной артикулирует гласные путем изменения объема и формы ротоглоточной полости: Получая одновременно характерные для согласных шумы (путем трения воздуха в суженной передней части рта), он может относительно легко научиться „говорить“ при помощи этого аппарата, причем получается довольно ясная, отчетливая речь.<sup>26</sup>

Теория, развитая Крендаллом<sup>27</sup>, показывает, что наличие двух областей резонанса при образовании всех гласных вполне можно объяснить возбуждением вынужденных колебаний в двух связанных резонирующих полостях: задней — полости глотки и передней — полости рта, разделенных сужением, образуемым корнем языка и мягким небом. Для звуков *у, о, а* — передняя полость больше задней, причем для *а* она наибольшая, для звуков же *е, еи, и*, наоборот, задняя полость больше передней. Главная резонансная полость, по мнению Крендалла, передняя, так как она излучает звук; потому и форманта передней полости более характерна для каждой данной гласной.

Произведя анатомические измерения размеров резонансных полостей и сообщающих их отверстий и сопоставив полученные

<sup>25</sup> Riesz, „Journ. Acoust.Soc.“, 1, p. 273, 193).

<sup>26</sup> По тому же принципу автором, И. Левидовым, сконструирован аппарат для восстановления речи у лиц с вырезанной гортанью (Доклад и демонстрация в пироговском хирургическом обществе в 1928 г. и на заседании Русского отоларингологического общества, „Русская ото-рино-ларингология“, стр. 613, 1928.

<sup>27</sup> J. C rand all, „Bell. Syst. Techn. Journ“. 6, p. 110, 1927.

величины с размером ротового отверстия, Крендалл путем математического расчета вычислил высоту формант связанных резонаторов, в полной мере совпавшую с данными анализа гласных.

Очень подробный анализ гласных произвел Штейнберг<sup>28</sup>, причем он исследовал постепенное изменение формант от периода к периоду. Анализы исследования показали наличие у всех гласных отчетливой третьей области резонанса – 2500 кол\сек, а у некоторых гласных (например, короткое *и*) – области 3200 кол\сек.

Тингаузом<sup>29</sup> из анализа спектров для всех гласных, кроме *у* и *о*, найдено по четыре форманты вместо известных ранее двух. Две верхние форманты близки друг к другу, и разделение их часто затруднительно.

Следует указать, что и Крендалл тоже обнаружил в звуке гласных для некоторых голосов дополнительные резонансные частоты, не носящие устойчивого характера, которые он назвал рассеянными (*scattered*) частотами. Третью форманту нашли также японские физики Обата и Тезима.<sup>30</sup>

Систематического исследования и анализа звука певческого голоса с достаточно совершенной аппаратурой мы до последнего времени не имели.<sup>31</sup>

Первые попытки исследования певческого голоса путем записи кривых были сделаны французским врачом Маражем<sup>32</sup>. Однако техника записи в аппарате Маража настолько несовершенна, что совсем невозможно произвести анализ полученных им кривых. На основании его записей можно судить лишь о динамике голоса, т.е. об изменениях силы голоса, о начале звучания (атака звука), о наличии или отсутствии вибраций и т.п., но никак не о тембре. Для вокальной практики, однако, исследования Маража представляют некоторый интерес. Отдельные записи певческих звуков приведены в книге Д.Миллера<sup>33</sup>, но сделать из них заключения о специфике певческого звука затруднительно.

В результате довольно детального исследования тембра певческого голоса, произведенного С.И. Ржевкиным совместно с В.С. Казанским при помощи акустического

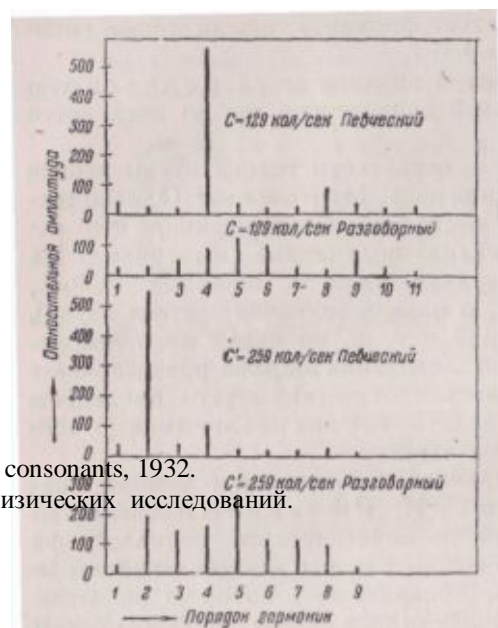


Рис. 38. Области резонирования разговорного и певческого голоса (по Казанскому и Ржевкину).;

<sup>28</sup> J. Steinberg, „Journ. Acoust. Soc“, 6, p. 16, 1934.

<sup>29</sup> E. Thienhaus, „Zschr. f. Techn.“, 15 S. 637· 1934.

<sup>30</sup> Obata and, and Tesima, On the properties of japanese vowels and consonants, 1932.

<sup>31</sup> По книге С. Н. Ржевкина, Слух и речь в свете современных физических исследований.

<sup>32</sup> Marage, Physiologie de la voix, Paris, 1911.

<sup>33</sup> D. Miller, The science of musical sounds, New-York, 1922.

осциллографа Казанского<sup>34</sup>, удалось получить некоторые новые данные о характере певческого звука. К сожалению, аппаратура, с которой работали эти авторы, не могла дать хорошей записи выше 2000 кол/сек, и потому результаты имеют лишь ограниченное значение. Первая несомненная отмеченная ими особенность певческого звука — это чрезвычайно резкое усиление резонирования обертонов в некоторой узкой области, тогда как в разговорном звуке усиление обертонов наблюдается в значительно более широкой области. Интересно отметить затем, что в правильно поставленном певческом звуке почти для всех гласных и при различных высотах основного тона наблюдается обычно резкое усиление обертонов в одной и той же, по абсолютной высоте, области тонов.

Особенно характерна для певческого звука область 517 кол\сек, которую можно назвать певческой формантой. Она характерна для «округленного» певческого звука, несколько напоминающего гласную *a* с примесью *o*. Таким образом, как это отмечают авторы, становится понятным, почему хорошо выработанные голоса имеют сходный «певческий» тембр у всех певцов и на всех гласных. Совершенно очевидно, что как раз с этим обстоятельством связан менее резко выраженный, по сравнению с речью, характер гласных в певческом голосе.

Ржевкиным совместно с В. С. Казанским<sup>35</sup> обнаружен еще весьма важный факт уменьшения декремента затухания для певческих голосов в 3-4 раза по сравнению с разговорными. На рис. 38 приведены для иллюстрации две пары полученных ими спектров певческого и разговорного голосов на высоте 129 и 259 кол\сек. Острота кривой, проведенной через вершины линий звукового спектра, характеризует степень затухания резонаторов.

Резкое уменьшение затухания для певческого звука может, по мнению названных авторов, быть объяснено или увеличением упругости стенок вследствие напряжения мышц, или закрытием носоглотки путем поднятия небной занавески. Отличие «открытого» звука от «закрытого» (на высоких нотах) сказывается в том, что в первом получают преобладание основного тона и дополнительное усиление области около 1000 кол\сек, во втором — усиление октавной гармоник. Закрытый звук по своему характеру несколько напоминает гласную *y*, что вполне соответствует результатам произведенных анализов. В фальцете отмечается усиление 3-й гармоник. Приведенные записи показали, что в певческом звуке на всех гласных и у всех голосов имеются еще очень сильные высокие обертоны порядка 3000

---

<sup>34</sup> В. С. Казанский, Журн. прикл. физ., 4, стр.37, 1927.

<sup>35</sup> С. Н. Р ж е в к и и, Слух и речь в свете современных физических исследований, 1936.

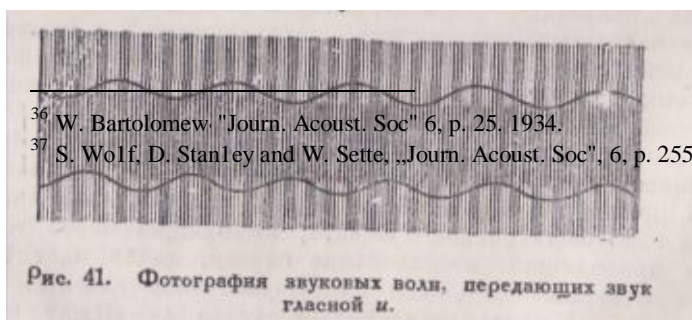
кол/сек, которые, очевидно, характерны для певческого тембра. Особенно характерно наличие обертонов в области 3000 кол\сек для певческого тембра с „металлическим" оттенком.

Недавно появилась очень обстоятельная работа, проливающая много света на структуру певческого голоса.

Бартоломью<sup>36</sup> при помощи высококачественной аппаратуры (неискаженная запись до 8000 кол\сек) произвел около 1000 записей голосов различных певцов (40 мужчин и 40 женщин). Он пришел к заключению, что характерными особенностями хорошего; правильно поставленного певческого голоса являются: 1) низкая форманта в области 300 кол/сек, 2) „высокая певческая форманта" в области около 2800 кол/сек для мужских и около 3200 — для женских голосов и 3) сила звука, лежащая выше нормы, (Все эти выводы, в общем, подтверждают результаты, полученные Ржевкиным и Казанским.) Общую силу звука Бартоломью приписывает ширине раскрытия глотки, указывая, что неопытные певцы всегда сжимают глотку и опускают надгортанник, благодаря чему возникновение звука крайне затруднено.

Для менее совершенных голосов верхняя форманта лежит выше, часто доходя до 6000 кол/сек. Далее, Бартоломью установил, что положение певческой форманты остается примерно одинаковым для всех типов голосов, для всех гласных и на всех высотах. Между прочим, автор допускает, что верхняя форманта может возникать также в гортани и уже содержаться в первичном звуке связок. Возникновение ее в таком случае может быть приписано резонансу гортани, которая представляет закрытую с обоих концов трубку длиной около 3 см (от связок до надгортанника), что соответствует тону около 2800 кол/сек.

Вывод о сосредоточении энергии звука в спектре правильно поставленного голоса в области „высоких певческих формант" еще раз подтвержден также Вольфом, Стенли и Сетте<sup>37</sup> при помощи спектрометра Гикмана. Между прочим, названные авторы отмечают, что высокая форманта лежит в пределах 2500—2700 кол\сек. Неприятные, резкие голоса дают форманту 3500 кол\сек и выше. Плохие голоса показывают более резкие области резонанса в виду того, что они не дают вибрато, в „темном" звуке на ноте do (260 кол/сек) энергия преобладает на основном тоне, в нормальном певческом звуке — на октаве (520 кол\сек) и в „белом", крикливом звуке — еще выше, в области 4-й гармоники— 1000 кол\сек (рис. 39, 40, 41). Обнаружение в хорошо поставленном голосе специальных „певческих" формант, которые определяют „блеск" голоса,



<sup>36</sup> W. Bartolomew "Journ. Acoust. Soc" 6, p. 25, 1934.

<sup>37</sup> S. Wolf, D. Stanley and W. Sette, „Journ. Acoust. Soc", 6, p. 255, 1935.

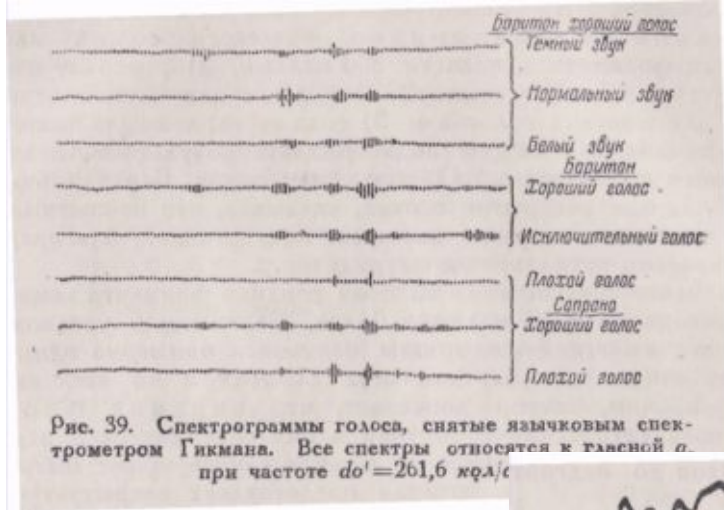


Рис. 39. Спектрограммы голоса, снятые язычковым спектрометром Гикмана. Все спектры относятся к гласной *a* при частоте  $do' = 261,6$  кГц/с

или, как часто выражаются, его „металличность“, а также способность голоса „нестись“ вдаль, является весьма существенным шагом к

познанию певческого голоса, дающим совершенно новое направление вокально-педагогической мысли.

Образование полугласных *л*, *м* и *н* объясняется возбуждением собственных колебаний полости рта и носа под влиянием струи воздуха, присоединяющихся к вибрациям воздуха, вызванным колебаниями голосовых связок. Воздух, выходящий через голосовую щель и приводящий в колебание связки, далее идет не через широкое отверстие рта, как при образовании гласных, а через более или менее узкое отверстие (в случае *л* — между языком и зубами, в случае *м* — через нос, в случае *н* — через нос и сжатые зубы) и потому может привести в колебание, путем вдувания, полости, через которые он проходит.



Рис. 40. Звуковые кривые разных гласных (*a*, *e*, *u*). Мембраной служила тонкая мыльная пленка, в центре которой держится очень маленький железный кусочек.

Согласные образуются таким образом: на пути выдыхаемого воздуха некоторые органы ротовой полости смыкаются между собою, и струе воздуха приходится преодолевать образовавшееся таким образом препятствие. В результате получается трение воздуха, дающее шумы.

Смыкание бывает полное, как, например, при буквах *п*, *б*, *д*, *т*, *ц*, *ч*, *к*, *г*, и неполное — при буквах *в*, *з*, *с*, *ж*, *р*, *ш*, *х*, *ф*. По месту столкновения воздушной струи с органами выходной трубки они разделяются на группы.

Препятствие может быть образовано в передней, средней или задней частях ротовой полости.

В передней части струя выдыхаемого воздуха может встретить сомкнутые между собою губы; это вызывает образование звуков *б*, *п*.

При неполном смыкании губ — *в*, *ф*.

Если при сомкнутых губах струя воздуха пройдет через нос, образуется звук *м*.

Согласные *б, п, в, ф, м* называются губными. В средней части ротовой полости от смыкания кончика языка с верхними зубами или с передней частью твердого неба получаются следующие согласные звуки: *д, т, ц, з, с, ж, л, ш, щ, р*, называемые язычными (язычно-зубными и язычно-небными).

Если при смыкании кончика языка с передней частью твердого неба струя воздуха пойдет через нос, то образуется звук *н*.

В задней части ротовой полости, при смыкании корня языка с мягким небом, образуются звуки *г, к, х* (небные согласные). Тут же образуются неправильно произнесенное (картавое) *р* и носовое *н* (французское произношение).

Согласные *м* и *н*, при произнесении которых воздух проходит через нос, называются носовыми.

Кроме анатомического деления согласных, принято еще различать их по роду возникновения, например, дрожащие – *р*; звуки с трением или придыханием: *ф, в, с, ж, г* (с придыханием, как немецкое *А*); взрывные: *п, б* (в губном проходе); *д, т* (в зубном проходе), *к, г* (в небном проходе).

Запись кривых при помощи конденсаторного микрофона позволила Тренделенбургу, Крендаллу и Бакгаузу получить кривые согласных *л, м, п, р, б, т, ч, к, в, ж, з*; оказалось, что в некоторой своей части согласные имеют ясно выраженную периодичность, соответствующую тону голосовых связок, лежащему в основе этих согласных; но, кроме того, кривые всегда



указывают на присутствие колебаний высокого периода, явно не гармонических с основным тоном, так как картина мелких колебаний,

укладывающихся на каждом периоде кривой, для разных периодов оказывается различной (рис. 42). Согласные *д, н, м* дают почти точно-периодическую кривую, и их совершенно правильно называют полугласными. Кроме того, в звуке согласных имеется сплошной спектр, т.е. шум. Для *в* он резко локализован около 7000 кол\сек, для *з* и *ж* занимает широкую полосу частот. Гармонический спектр *ж* почти тождествен со спектром гласной *о* в немецком произношении. Анализ звука согласных в период их постепенного перехода к гласной осуществил Бакгауз для следующих слогов: *ге, бе, де, ба, да, ке, ха, хе*. Он дает постепенный гармонический анализ согласной с момента начала ее до перехода в гласную и показывает таким образом всю динамику процесса изменения

звука. Характерным для согласной является, прежде всего, шум определенного тембра, сопровождающий переходный период; кроме того, весьма существенна длительность стадии установления звука гласной. Бакгауз устанавливает в той же работе интереснейший факт, а именно, что звук большинства музыкальных инструментов узнается только по характеру начальной или конечной стадии звучания (процесс установления). Установившиеся части звука различных инструментов (смычковых, духовых) легко смешиваются.

Наоборот, для гласных установившаяся часть звука вполне отчетливо узнается. Процессы установления чистых гласных протекают очень быстро и не являются чем-либо характерным для различных гласных. Различные согласные можно рассматривать как характерные процессы установления гласных или перехода их друг в друга. Характерные особенности согласных лежат не только в них самих, но и в длительности процесса установления следующих за ними гласных. Тембральный состав звука (спектр) в переходной стадии играет, видимо, малую роль.

Следует считать, что физический анализ согласных находится еще в самой начальной стадии. Характерные особенности различных согласных так незначительны, что лежат на границе чувствительности слуха, который легко различает разницу там, где физический анализ зачастую беспомощен.

\*\*\*

Гортань в детском возрасте развивается медленно, постепенно, параллельно росту всего организма, одинаково как у мальчиков, так и у девочек, и в это время не имеет каких-либо отличий, характерных для одного или другого пола. Только позже, с наступлением половой зрелости, детская гортань начинает быстро увеличиваться в размере.

У мальчиков наступают ясные, бросающиеся в глаза, анатомические изменения гортанного скелета. Гортанные хрящи и в особенности легко доступный наблюдению щитовидный хрящ быстро увеличиваются в размерах, передний угол гортани начинает выпячиваться вперед, образуя выпуклость на передней поверхности шеи (Адамово яблоко). Все другие отделы гортани также растут быстро в это время и в короткий срок достигают своих значительных, характерных для мужской гортани, размеров. Наибольшая разница между размером мужской и женской гортани выражается в величине переднезаднего размера. В связи с этим у мальчиков в переходном возрасте голосовые связки обнаруживают усиленный и быстрый рост. Так, в 12-13 лет длина голосовых связок у них равняется 13-14 мм; в периоде созревания голосового аппарата длина связок увеличивается на 6-8 мм, а к 25-летнему возрасту достигает длины в 24-25 мм.



У девочек переходного возраста голосовые связки растут значительно медленнее, более постепенно и не особенно вырастают в длину. Этим объясняется, согласно взгляду некоторых авторов, мало заметные изменения в голосе девочек при переходе его в голос взрослой женщины.

Мужская гортань в переходном возрасте увеличивается на целых две трети, а женская только на половину.

По вопросу о времени наступления мутации (перемены, ломки) голоса у мальчиков, обычно совпадающей с периодом полового созревания, данные специальной литературы несколько расходятся у разных авторов, что объясняется, невидимому, неодинаковым сроком наступления половой зрелости в разных климатах. Так, в северных странах мутация наступает сравнительно поздно, но зато протекает более резко, тогда как в более южных странах, где период полового созревания наступает рано, явления мутации голоса проявляются значительно раньше.

В нашем климате мутация у мальчиков протекает между 15 и 19 годами, но наблюдаются случаи и более раннего созревания голоса (в 13—14 лет и даже раньше).

Изменения в голосовом аппарате мальчиков, параллельно с сильным ростом гортани, выражаются в понижении диапазона голоса и в изменении его тембра. Голос из дисканта или альты переходит в тенор, баритон или бас.

Хотя имеются отдельные наблюдения, что дискант наиболее часто переходит в бас, а альт в тенор или баритон, однако закономерности в этом вопросе до сих пор установить не удалось.

Переход из голоса мальчика в голос взрослого обычно совершается более или менее резко. Голос во время перелома понижается почти на октаву. В то время как слух и воля стремятся сохранить высоту детского голоса, голосовые связки, вследствие изменившихся размеров (увеличение в длину, ширину и толщину), производят гораздо более низкие звуки. Поэтому голос в периоде мутации у мальчиков непостоянен, срывается и обнаруживает самые неожиданные переходы от низких тонов к высоким (как говорят, голос „киксует“, „соскакивает“). Юноши иногда долго не могут привыкнуть к новому положению голоса и нередко даже избегают пользоваться им, стесняясь необходимости говорить непривычным для них низким голосом.

Мутационный период, т. е. период полного перехода из детского в мужской голос, может длиться от нескольких недель (4-6), месяцев (3-6), до 2-3, а иногда и до 5 лет. Наиболее часто он продолжается приблизительно около одного года.

Не всегда перемена певческого и разговорного голоса наступает одновременно: иногда запаздывает одна, иногда другая.

После перемены голоса гортань продолжает расти; голос, однако, в дальнейшем изменяется уже мало. Он только развивается еще в отношении силы и полноты диапазона (у мужчин приблизительно до 30-го года).

Если в периоде мутации мальчик басит, то из этого вовсе еще не следует, что у него будет именно бас. Наиболее часто наблюдается постепенное повышение голоса. Голос, казавшийся после окончания мутации басом, может в дальнейшем оформиться в баритон или даже тенор.

Бывает и наоборот: когда уже после окончания мутации голос делается постепенно все более и более низким и постепенно переходит из тенора в баритон или бас.

Формы протекания мутации у мальчиков весьма разнообразны.

Так, нередко случаи, когда голос меняется очень медленно, почти незаметно как для них самих, так и для окружающих; лишь изредка наблюдается небольшая хрипота и утомляемость голоса; при такой форме протекания мутации элементы мужского звучания постепенно вплетаются в детское. Голос становится более содержательным как в речи, так и в пении; последнее не представляет собой значительных затруднений в течение всего мутационного периода.<sup>38</sup> Такая форма мутации у мальчиков напоминает собою процесс роста и изменений в голосе девочек переходного возраста.

В других случаях (что встречается наиболее часто) у мальчиков при пении и даже в речи голос вдруг начинает срываться; при этом неожиданно появляются ноты басового тембра, нередко грубого, лающего характера, внезапно перескакивающие на фистулу. Такое „киксование“, „соскакивание“ звуков в пении и речи, слабо выраженное в первом периоде мутации, в дальнейшем начинает появляться все чаще и чаще, затем уже реже и слабее, пока детский тембр мало-помалу целиком не заменится мужским.

Далее, встречается такая форма мутации, когда мягкий голос мальчика внезапно приобретает грубый характер; появляется резкая охриплость голоса, доходящая иногда до полного безгласия. Когда охриплость через некоторый, сравнительно короткий, срок исчезает, у мальчика (юноши) оказывается уже вполне сформировавшийся мужской голос.

---

<sup>38</sup> Из организованного Секцией охраны детского голоса Ленинградского Дома художественного воспитания детей анкетного опроса певцов – артистов ленинградских академических оперных театров и певцов – артистов Госэстрады о формах протекания у них мутации создается впечатление, что у певцов, обладающих наилучшими по качеству голосами, наиболее часто имела место именно такая (сравнительно спокойная, малозаметная) форма мутации голоса.

В литературе отмечаются случаи исключительно быстрой смены голоса: мальчик, еще накануне разговаривавший детским голосом, на другой день уже обнаруживает голос взрослого мужчины.

При наступлении мутации у мальчиков, в случае быстрого протекания процесса, голос сразу становится ниже (приблизительно, на октаву), а при медленном протекании— понижается постепенно.

Во втором случае, по мере появления нижних нот, более или менее соответственно исчезают верхние ноты, причем последние к концу мутационного периода приобретают особый характер полумужских-полуженских. Для удержания звука на привычной высоте (в речи) или нужной высоте (в пении) мальчики, у которых началась мутация голоса, начинают предъявлять повышенные требования к активности голосовых связок; если в первом периоде мутации это им еще удастся и они могут издавать звук прежним детским голосом, то это делается с значительным и внешне заметным усилием. Через некоторое время они чисто детским голосом говорить и петь уже совсем не могут.

Связь всех изменений в голосовом аппарате с половым развитием мальчиков настолько тесна, что достаточно каких-либо причин, мешающих половому созреванию мальчика, чтобы и развитие гортани и голоса значительно замедлилось или даже вовсе остановилось. Так, имеются наблюдения, что у мальчиков, много болевших в детстве, слабо развитых физически, половое созревание значительно запаздывает, а вместе с тем сильно отстает в развитии и голосовой аппарат сравнительно с ростом его у здоровых детей, оставаясь на степени развития детской гортани; в этом случае голос может остаться инфантильным (недоразвитым, детским) и у взрослого.

Формы ненормального протекания мутации очень разнообразны. Они могут явиться следствием целого ряда причин, вызывающих те или иные расстройства, в физической или психической сфере детей, а иногда и в той и в другой сфере.-

Так, к мутационным расстройствам относятся:

- ◆ Затянувшаяся мутация, когда смена голоса тянется на протяжении многих лет (3—5—7 и даже больше).
- ◆ Упорно держащийся фальцет вызывается нарушением координации в работе голосовых и передних мышц гортани, когда превалирует деятельность последних; при этой форме мутационного расстройства у юноши вырабатывается очень высокий, неприятный, пискливый голос. Расстройства координации в некоторых случаях бывают выражены настолько резко, что речь

сопровождается судорожными сокращениями наружных мышц гортани.

Остро протекающая мутация сопровождается столь бурными явлениями в отправлениях голоса, что юноши совершенно отказываются разговаривать и общаться с окружающими.

Замаскированные расстройства в мутационном периоде. Видимых явлений мутации в голосе еще нет; голос звучит еще как будто совсем по-детски. В то же время у юноши появляются приступы кашля, которые ничем не могут быть объяснены.

По мнению некоторых авторов, такое явление может быть вызвано слишком долгим пребыванием в хоре мальчиков, у которых уже проявляются признаки наступающей или наступившей мутации, но которые, однако, продолжают петь чисто детским голосом. С другой стороны, подобные явления могут быть вызваны длительным пением мальчиков „под голос взрослого мужчины“. И в том и в другом случае налицо, несомненно, имеется резкое перенапряжение голосового аппарата, вызывающее у мальчиков (подростков) неудержимый рефлексорный кашель.

Преждевременная мутация, когда у мальчиков в 11, 12 и даже в 10 лет появляется низкое, грубое звучание голоса, совершенно несоответственное детям этого возраста.

Такое явление может быть как следствием преждевременного наступления половой зрелости, так и результатом длительной, чрезмерно напряженной работы голосового аппарата (крик, форсированное пение, пение в высокой тесситуре и т. д.).

Запоздалая мутация. Сюда относятся случаи мутации голоса, проявляющейся значительно позже наступления половой зрелости (через 3-4 года и более). В этих случаях гортань приходит к зрелости последним органом, связанным с половым созреванием.

Вторичная мутация — когда уже в зрелом возрасте в голосе внезапно вторично обнаруживаются явления мутации (резко бросающиеся в глаза тембровые изменения голоса).

Наряду с изменениями в скелете гортани и функциональными переменами в голосе, в мутационном периоде у мальчиков наблюдается ряд болезненных изменений в полости гортани. Обычно констатируется краснота всей слизистой оболочки гортани, наиболее резко выраженная на истинных голосовых связках, блестящий сухожильный оттенок которых совершенно исчезает и заменяется цветом розовым, красным, серо-розовым или желто-красным.

Это явление некоторой как бы сочности и красноты, характерное вообще для всякого катарального заболевания слизистых оболочек, обычно у мальчиков при мутации, протекающей даже совершенно нормально. По мнению некоторых авторов, оно должно рассматриваться не как воспалительное

состояние, а как физиологическая гиперемия (краснота), являющаяся спутником всякого воспалительного процесса, характеризующегося усиленным ростом (что мы имеем в голосовом аппарате мальчиков в мутационном периоде). Однако эти авторы добавляют, что такая физиологическая гиперемия представляет собою благоприятную почву для развития настоящего катара гортани в мутационном периоде при нерациональном, неосторожном обращении с голосом.

Другие авторы, наоборот, склонны рассматривать указанную красноту голосовых связок во время мутации голоса как настоящий воспалительный процесс (которому даже присваивают название *мутационный ларингит*), сопровождающий все случаи мутации у мальчиков, но могущий еще более усилиться и даже принять резкие формы при неосторожном обращении с голосом в мутационном периоде.

Некоторые авторы констатируют в периоде мутации у мальчиков чрезмерно сильное напряжение голосовых связок при произведении высоких тонов и, наоборот, чрезмерное расслабление связок при переходе к низким. Так или иначе, период мутации сопровождается у мальчиков рядом изменений в гортани, которые могут принять резко болезненные формы. Изменения эти, даже в том случае, когда они не выходят за пределы известной нормы, в большинстве случаев могут быть установлены путем ларингоскопического или стробоскопического (см. ниже) исследования, что дает обычно врачу-специалисту возможность объективно установить начало мутации и конец ее, а также наблюдать за ее протеканием в течение всего мутационного периода.

Согласно моим наблюдениям, мутационному периоду у мальчиков в большинстве случаев предшествует некий предмутационный период, длящийся обычно несколько месяцев. В течение этого времени в голосе мальчиков начинают появляться некоторые признаки приближающейся мутации, вначале очень слабые, но затем постепенно усиливающиеся. Главные признаки — быстрая утомляемость голоса и нежелание петь, а иногда еще не совсем чистая интонация при пении. Ларингоскопия часто обнаруживает явления: незначительно выраженного катара гортани (слизь на связках).

Как мне удалось установить, мутация голоса у мальчиков тоже обычно не кончается сразу. Несколько месяцев, а иногда и больше, длится период, который я назвал бы *послемутационным*. Он характеризуется тем, что при полной смене голоса, когда последний звучит уже совсем по-взрослому, и диапазон как будто уже вполне установился, а пение для юноши не представляет никаких особых затруднений, — катаральные явления в гортани

упорно держатся; даже после непродолжительного пения можно констатировать интенсивное покраснение голосовых связок и обилие вязкой слизи.

Что касается перемен в голосе девочек переходного периода, то большинство авторов (поскольку я мог усмотреть из литературы) этому вопросу уделяет очень мало внимания, обычно ограничиваясь общими замечаниями, что у девочек „мутация“ развертывается несравненно менее заметно, чем у мальчиков, а в подавляющем большинстве случаев проходит и совершенно незамеченной как самими детьми, так и их родителями и воспитателями, что у девочек она наступает обычно на год раньше, чем у мальчиков, и т.п. По указанию некоторых авторов, мутация у девочек наступает с появлением первых менструаций и выражается в незначительном уменьшении выносливости голоса, а также в потере 1-2 крайних, верхних нот; кроме того, голос делается менее звонким, приобретая, одновременно большую силу; лишь в редких случаях отмечается некоторое быстро проходящее ощущение неловкости в гортани. Этим, в сущности говоря, ограничиваются наблюдения над функциональными переменами в голосе девочек переходного возраста.

Болезненных явлений в самой гортани (голосовых связках) в большинстве случаев у девочек переходного возраста не наблюдается, если не считать некоторых отдельных указаний на розовую окраску голосовых связок, будто бы несколько превосходящую по своей интенсивности обычный их цвет.

Я лично имел возможность наблюдать девочек в возрасте 10-17 лет (т.е. как раз в переходном возрасте) сначала в экспериментальных группах Секции охраны и воспитания детского голоса Ленинградского Дома художественного воспитания детей, а затем и в классах сольного пения в Ленинградском Дворце пионеров.

Несмотря на систематическое наблюдение над пением этих девочек и изучение состояния их голосового аппарата (всеми доступными объективными методами исследования), несмотря на наводящие вопросы об их ощущениях при пении, я в течение пяти лет не мог констатировать каких-либо ненормальных явлений ни в голосовом аппарате девочек переходного периода, ни в характере звучания их голоса, которые могли быть связаны с мутацией голоса. Лишь в 2-3 случаях (из 3000 прослушанных и просмотренных мною за этот период девочек) мне пришлось наблюдать гипотоническое (расслабленное) состояние голосовых связок и выслушать жалобы на затруднения при пении.

Мои наблюдения показывают, что у девочек переходного возраста голос меняется исподволь, постепенно теряя свойства

детского тембра и приобретая элементы женского тембра, совершенно незаметно вплетающиеся в звучание голоса.

В большинстве случаев не замечают происходящих в голосе перемен и сами девочки переходного возраста, переживающие, судя по характеру звучания их голоса (полудетский-полуженский), „мутационный период" и, тем не менее, продолжающие петь, не испытывая при этом никаких затруднений. Здесь процесс мутации носит эволюционный характер, без особых скачков, заметных метаморфоз, изменений в диапазоне, резких перемен в тембре, ненормальных ощущений или болезненных явлений в гортани и т.п.

Анкетный опрос артисток ленинградских академических оперных театров показал, что ни одна певица не могла отметить каких-либо ненормальных явлений в своем голосе в переходном возрасте. В соответствующей графе анкеты певицы обычно писали: „ненормальных явлений в голосе не наблюдала", „пела без какого-либо перерыва", а в редких случаях: „мутации не помню", „мутации не было, пела без затруднений все время".

Разница между явлениями, имеющими место в голосовом аппарате и голосе у мальчиков и девочек в переходном возрасте, выступает настолько ярко, что перемены, происходящие в голосе девочек переходного периода, вернее было бы, по моему мнению, определять термином эволюция голоса, в отличие от „мутации", которой должен обозначаться только резко проявляющийся перелом голоса у мальчиков.

С возрастом в голосовом аппарате происходят значительные изменения, резко сказывающиеся на выносливости голоса и качестве звука. У пожилых людей хрящи гортани постепенно окостеневают в значительной части, мускулы гортани истончаются и слабеют, вследствие чего голосовые связки не так плотно сходятся при издавании звука, как у молодых индивидуумов. Голос в старости слабеет, изменяется его тембр, появляется треморирование звука, ослабевают или даже совсем пропадают отдельные регистры (раньше всего верхний); звук приобретает трескучий характер, теряется кантилена и т. д.

Правильное пользование голосом, рациональный голосовой режим, правильный общий жизненный режим, систематическая, регулярная тренировка голоса могут не только предупредить преждевременное изнашивание голоса, но даже в известной мере задержать физиологическое старение голосового аппарата и голоса.

## **ГЛАВА II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОЛОСОВОГО АППАРАТА**

Образование звука человеческого голоса обусловлено сложной работой голосового аппарата. Работу эту можно изучать либо путем простого наблюдения, либо путем эксперимента. Каждый из этих двух методов очень ценен сам по себе, и в то же время оба они дополняют друг друга.

При простом наблюдении зрение дает возможность изучать движения грудной клетки, гортани и артикуляционных органов, а осязание дает представление о положении того или другого органа голосового аппарата, степени напряжения отдельных органов и мышц, о вибрировании органов или отделов голосового аппарата и т.п.



Все же при таком методе изучения процесса голосообразования и особенно тех его моментов, которые протекают с большой быстротой, из поля зрения могут исчезнуть весьма важные детали. Поэтому изучение двигательного процесса экспериментальными методами дает более надежные и точные результаты (вплоть до изучения самых тонких деталей движения) уже по одному тому, что таким путем получается возможность более или менее длительного наблюдения протекающих процессов в особых, специально для этого созданных условиях. С другой стороны, простое наблюдение дает направление для успешной постановки и проведения эксперимента.

Эксперимент обыкновенно проводится при помощи специальной аппаратуры, осуществляющей возможность фиксирования тех или иных двигательных процессов, т.е. получения вполне объективных данных. В тех же случаях, когда фиксирование явится неосуществимым, оно заменяется записью.

Ниже вкратце описаны наиболее распространенные и существенные методы изучения движений органов голосового аппарата при пении.

#### **А) Исследование движений гортани (ларингоскопия)**

Гортань расположена таким образом, что ее длинная ось, продолженная кверху, образует с полостью рта приблизительно прямой угол; поэтому непосредственно видеть гортань (голосовые связки) через рот невозможно. Чтобы сделать гортань видимой, нужно в угол скрещения этих осей поместить зеркало, в котором и появится ее отражение. Такой метод наблюдения гортани носит название непрямой ларингоскопии. Метод ларингоскопии введен композитором и учителем пения Гарсиа в 1855 г.

При ларингоскопии исследуемого просят широко открыть рот и слегка отклонить голову назад. Световой рефлекс с лобного рефлектора, прикрепленного повязкой или обручем ко лбу исследуемого, наводится на основание язычка, где он должен быть фиксирован в течение всего исследования. Исследуемого просят высунуть язык, кончик которого, обернутый кусочком марли или носовым платком, во время наблюдения удерживается рукой исследуемого. Можно поручить и самому больному держать язык (рис. 43).



При высывании языка происходит поднятие подъязычной кости, а за ней и щитовидного хряща, соединенного с подъязычной костью. Таким образом, при

высовывании языка вся гортань поднимается кверху и подходит ближе к гортанному зеркалу. Поднятию гортани способствует также фонирование звуков *э* и *и*, при котором надгортанник несколько отклоняется кпереди и этим делает гортань более видимой.

При ларингоскопии (рис. 44) видны все внутренние отделы и органы гортани: надгортанник, ложные голосовые связки, Морганиевы желудочки, истинные голосовые связки, подвязочное пространство и трахея (иногда до самого ее разделения на бронхи). Ларингоскопия показывает положение голосовых связок при дыхании и фонации (рис. 45), а потому может обнаружить всякие отступления от

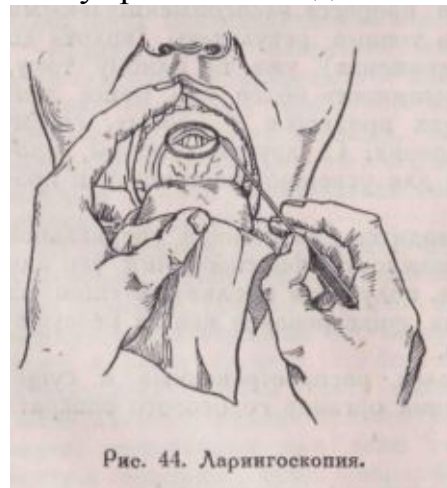


Рис. 44. Ларингоскопия.

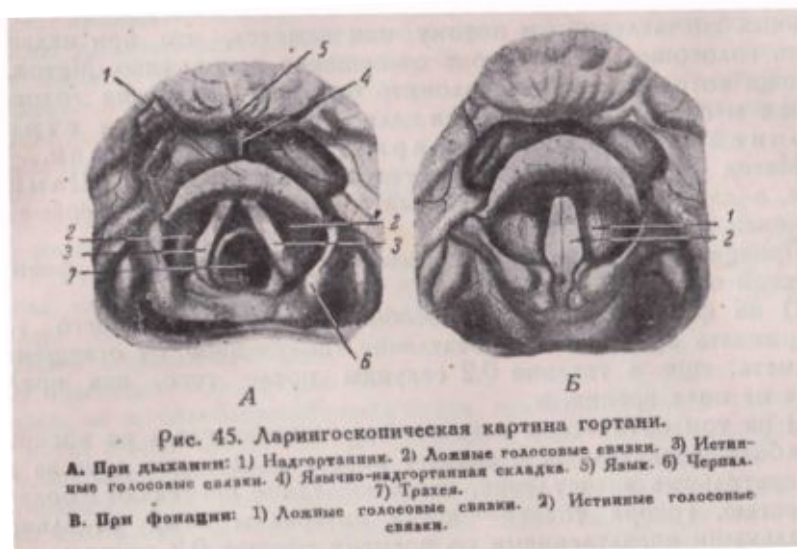


Рис. 45. Ларингоскопическая картина гортани.  
 А. При дыхании: 1) Надгортанник. 2) Ложные голосовые связки. 3) Истинные голосовые связки. 4) Язычно-надгортанная складка. 5) Язык. 6) Черпак. 7) Трахея.  
 В. При фонации: 1) Ложные голосовые связки. 2) Истинные голосовые связки.

нормы в их движениях, а также патологические процессы во всех отделах гортани. Для получения более четкой ларингоскопической картины предложены лобный рефлектор с двумя отверстиями, дающий

возможность наблюдать гортань обоими глазами, а также увеличивающие гортанные зеркала.

Исследуемый может сам видеть свою гортань: для этого он должен во время ларингоскопического исследования смотреть в ларингоскопическое зеркало, помещенное впереди рефлектора, надетого на голову исследующего (рис. 46).



Рис. 46.

## **Б) Исследование колебаний голосовых связок (стробоскопия)**

Для исследования функции голосовых связок необходимо наблюдать за их колебаниями: равномерно ли вибрируют обе связки, колеблется ли вся связка или только ее часть, не изменяется ли характер вибрации связок в связи с высотой тона и т.д.

Увидеть колебания голосовых связок в ларингоскопическом зеркале невозможно в виду быстрого следования одного колебания за другим: наш глаз не воспринимает такой быстрой смены зрительных впечатлений, и потому нам кажется, что при издавании звука голосовые связки стоят совершенно неподвижно. Метод, при помощи которого можно разложить быстрые колебания голосовых связок и сделать их видимыми для глаза, называется стробоскопией или еще точнее — ларингостробоскопией.

Метод стробоскопии изобретен в 1834 (1832) г. Шампфером, а для наблюдения колебаний голосовых связок впервые был применен Эртелем в 1878 г.

Принцип стробоскопии основывается на двух законах физиологической оптики:

1) на физиологической способности сетчатки нашего глаза задерживать зрительное впечатление, полученное от освещенного предмета, еще в течение 0,2 секунды после того, как предмет исчез из поля зрения, и

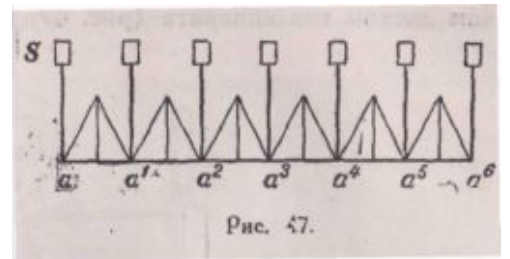
2) на том оптическом законе, что сетчатка глаза не воспринимает больше отдельно, а сливает вместе следующие друг за другом зрительные впечатления, когда последние протекают с большой скоростью, говоря точнее — когда интервалы между отдельными зрительными впечатлениями по времени меньше 0,2 секунды.

На основании этого именно (последнего) закона мы при рассматривании голосовых связок в ларингоскоп при фонации не видим колебаний голосовых связок, так как последние протекают в несравненно более быстром темпе. Так, басовое E1 имеет 81 колебание в секунду, a1 — 435 кол/сек, а сопрановое c3 — 1034 кол/сек. Следовательно, для того чтобы увидеть колебания, надо их искусственно замедлить, притом замедлить настолько, чтобы можно было их наблюдать во всех деталях.

Сущность стробоскопии заключается в следующем. При рассматривании какого-либо неподвижного предмета через отверстия вращающегося диска (причем глаз будет прикрываться

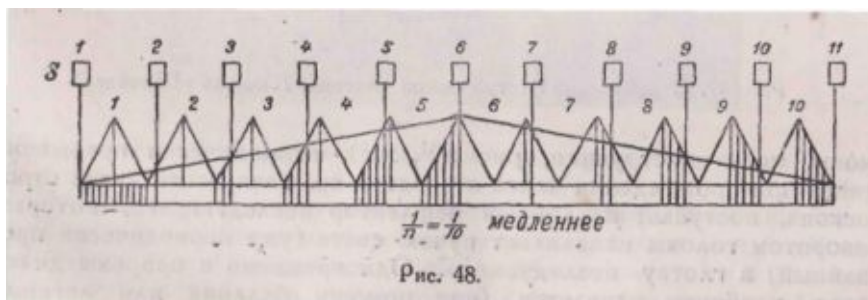
промежутками между отверстиями не дольше, чем в течение  $1/5$  секунды) мы от предмета получим непрерывное впечатление. Такое же непрерывное впечатление, но уже впечатление непрерывного движения, мы получим и от предмета, находящегося в движении, когда он между двумя прикрытиями меняет свое положение, так как зрительные впечатления, следуя одно за другим, сливаются в новое движение – искусственное, кажущееся, но уже замедленное.

Но и находящийся в периодическом движении предмет может казаться неподвижным, если мы сквозь отверстие диска будем видеть его в те моменты, когда он будет находиться в одной и той же фазе совершаемого им периодического движения. Это будет иметь место в тех случаях, когда период колебаний вибрирующего тела и период пробега прорезов в диске мимо глаза будут абсолютно совпадать. Такое положение можно схематически изобразить (по Музехольду), разделив ось абсцисс на некоторое количество равных частей, чтобы этим изобразить равные промежутки времени, через которые повторяется одна и та же фаза движения (рис. 47).



Если время, в течение которого точка  $a$  переместится до  $a'$ , совпадет со временем, пока последующий разрез диска пробежит мимо нашего глаза, мы все время будем видеть только точку  $a$ . Остальные же фазы движения будут скрыты от нашего глаза промежутками между отверстиями диска, и предмет будет нам казаться все время стоящим неподвижно.

Но если мы станем наблюдать колеблющийся предмет в отдельные моменты как бы остановившимся, то мы еще не получим представления о форме его колебания. Последнее станет возможным, если колебания объекта будут представляться в замедленном виде. Этого мы можем достигнуть в том случае, если незначительно замедлить вращение диска стробоскопа, т.е. если число полученных зрительных впечатлений будет несколько меньше, чем число колебаний вибрирующего тела. Если мы предположим, что промежутки между перерывами света по времени на  $1/10$  длиннее периода равномерного колебания



рассматриваемого предмета, то при прохождении перед глазом второго отверстия покажется точка второго колебания, отстоящая на  $1/10$  долю вперед от начала колебания, при третьем отверстии — точка 3-го колебания, отстоящая на  $2/10$  вперед, при четвертом — на  $3/10$  и т.д. Шестое отверстие застанет 6-е колебание посередине, когда оно протекло на  $5/10$ , т.е. в наивысшей точке поднятия (рис. 48), и только в конце 10-го колебания одиннадцатое отверстие снова застанет начальную фазу  $a$ .

Если мы соединим точки движения, которые показывались в отдельных отверстиях, то получим искусственно замедленное колебание, составленное из последовательного ряда фаз, заимствованных у каждого из одиннадцати колебаний. Искусственно замедленное колебание можно получить также путем ускорения вращения диска стробоскопа.



Рис. 49. Стробоскопия (стробоскоп системы Кальция—Шнейдер).

Вначале примитивный по своей конструкции, стробоскоп постепенно подвергался

усовершенствованию, как со стороны оптики, так и со стороны техники, так что в настоящее время он является аппаратом, пользование которым не представляет собою особых затруднений. При пользовании стробоскопами последних конструкций стробоскопия сводится, в сущности говоря, к обычной ларингоскопии.

#### ***Техника ларингостробоскопии такова:***

Свет от электрической лампы, помещенной за стробоскопическим диском вне аппарата (рис. 49) или внутри аппарата (стробоскопы моей конструкции, рис. 50<sup>39</sup>, 51<sup>40</sup>), периодически прерывающийся при прохождении через отверстия вращающегося диска стробоскопа, поступает на лобный рефлектор исследуемого, который поворотом головы направляет пучок света (уже периодически прерванный) в глотку исследуемого. Одновременно в прорезы диска через трубочку вдувается (при помощи баллона или легкими исследуемого) воздух, отчего получается тон сирены, высота которого зависит от скорости вращения диска стробоскопа<sup>41</sup>. Исследуемый производит тон в унисон звуку сирены. В этот момент в зев вводится ларингоскопическое зеркало, в котором выступают более или менее медленные, совершенно явственно различаемые колебания голосовых связок. Наблюдение колебаний производится при различной скорости вращения диска, регулируемой специальным реостатом, следовательно, на тонах различной высоты.

Появление видимых колебаний при фонировании в унисон тону стробоскопической сирены объясняется тем обстоятельством, что при пении в тон любого звука певцы обычно поют не абсолютно точно, иначе говоря, несколько детонируют или дистонируют, в результате чего получается некоторая, очень незначительная, разница между периодом колебаний голосовых связок и периодом перерывов света в стробоскопе. А это



Рис. 50. Стробоскопия (стробоскоп системы автора—№ 2).

<sup>39</sup> Стробоскоп системы И. И. Левидова. Демонстрирован на съезде отоларингологов в Одессе в 1929 г. Напечатано в трудах съезда в 1930 г.

<sup>40</sup> Цилиндро-стробоскоп системы И. И. Левидова. «Советская оториноларингология», 1935.

<sup>41</sup> В сконструированном автором стробоскопе звук сирены понижается автоматически.

обстоятельство и обуславливает (как это видно из предлагаемой схемы) появление стробоскопической картины медленных колебаний голосовых связок.

"Появлению колебаний при пении в унисон звуку стробоскопа содействует также неустойчивое равновесие голосовых связок при фонации (см. стр. 39).

В некоторых случаях, требующих особенно точного исследования, прибегают еще к следующему способу стробоскопии.

Раньше всего добиваются кажущейся полной остановки голосовых связок. Достигается это путем настройки стробоскопа под тон, издаваемый голосовыми связками (поддерживаемый звуком какого-либо музыкального инструмента — фортепиано, скрипки и. т. д.). В тот момент, когда связки кажутся остановившимися и полной неподвижности (не колеблются), посредством реостата производится минимальное замедление в движении диска стробоскопа в то время, как исследуемый продолжает производить тон прежней высоты. Минимальное замедление необходимо потому, что при этом условии искусственное колебание будет протекать настолько медленно, что можно будет рассмотреть форму колебаний голосовых связок, вид голосовой щели, поверхность связок — словом, все колебательное движение во всех его деталях. Если же замедление движения диска будет значительно, получатся быстрые, мелькающие колебания, и рассмотреть форму колебаний голосовых связок в таком случае уже не удастся.

Если техника стробоскопии очень проста, то чтение стробоскопической картины является значительно более сложным. Здесь требуется большой навык, умение различать отдельные, иногда очень тонкие, детали колебательного процесса, а это может быть достигнуто лишь путем длительного упражнения при условии большого терпения и настойчивости со стороны исследующего.

В 1932 г. Поллак Рудин и Леопольд Штейн изобрели стробоскоп, имеющий особенностью своей конструкции

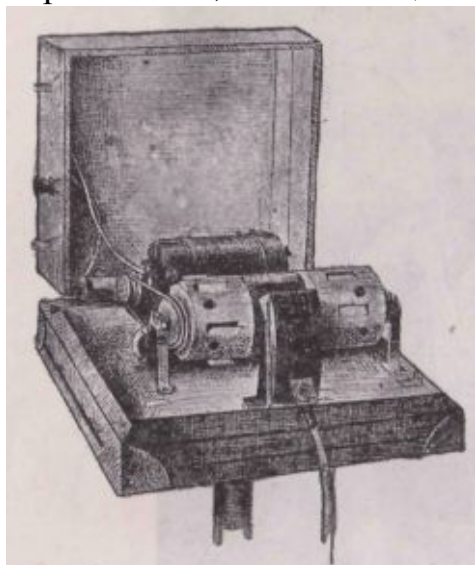


Рис. 51. Цилиндро-стробоскоп системы автора.

применение исключительно электрических процессов. Источником света служит лампа звуковой частоты, получающая свет при помощи электронной трубки из генератора колебаний. При помощи наушников или громкоговорителя можно в любой момент услышать установленную частоту звука. Аппарат представляет собою принципиальное нововведение в области ларингостробоскопии.

### В) Исследование точности интонирования

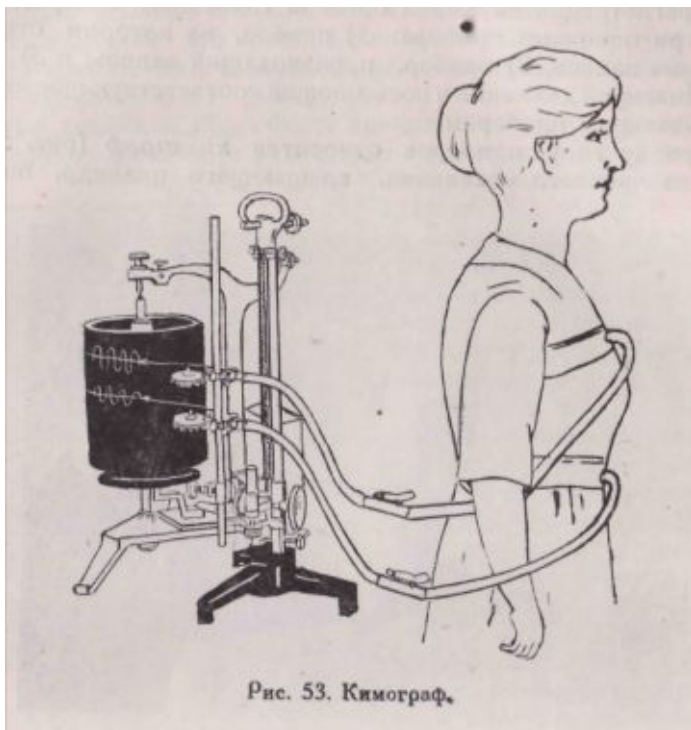
Принцип стробоскопии положен также в основу устройства аппаратов для изучения высоты производимого человеческим голосом звука. В этих аппаратах колебания звука переводятся на мембрану, а затем на ацетиленовую лампу или газовую горелку. Вращающийся диск разделен на некоторое количество кругов, из которых каждый в свою очередь имеет ряд секторов — 24, 27, 30, 32 и т. д. Каждый круг имеет свой цвет.



Число секторов соответствует математическим соотношениям диатонической шкалы. При точном интонировании тот или иной круг кажется стоящим неподвижно. Обороты диска измеряются тахометром (измеритель

оборотов), При помощи которого можно вычислить положение октав. Эти аппараты могут быть использованы на уроках пения (рис. 52).

Для регистрации движений органов голосового аппарата



применяются три основных прибора: 1) прибор, на котором отпечатлевается сама запись, 2) прибор, производящий запись, и 3) прибор, воспринимающий движения и посылающий соответствующие импульсы к записывающим приборам,

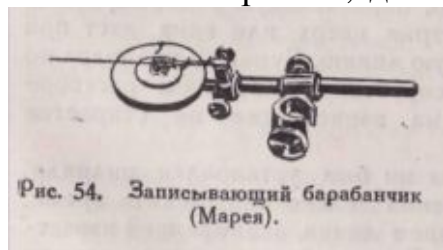
К первому типу приборов относится кимограф (рис. 53). Он состоит из часового механизма, вращающего



цилиндр, покрытый гладкой, слегка закопченной бумагой. Всякое неподвижное острие, касающееся поверхности цилиндра, будет при вращении последнего прочерчивать тонкую прямую линию, параллельную боковым краям цилиндра; всякое же отклонение острия вверх или вниз даст при вращении цилиндра некоторую кривую линию. Бумага с цилиндра по окончании записи снимается и фиксируется в спиртовом растворе лака; когда она высохнет, то сама запись уже не стирается и рисунок сохраняется.

На какой бы скорости вращения ни был установлен цилиндр, благодаря равномерности его движения можно определить время, затрачиваемое на прочерчивание острием линии, занимающей известную часть окружности цилиндра. Единицей сравнения служат вибрации камертона, делающего определенное число колебаний в секунду, например 100, записываемые на той же закопченной ленте.

Так как колебания камертона равны между собой, то можно принять длину каждой вибрации за меру времени, которая в записи: камертона, делающего 100 кол/сек, равна 1/100 секунды.



Второй тип прибора, производящего уже самую запись на бумаге, представляет так называемый воздушный барабанчик, (рис. 54) представляющий собою плоскую металлическую чашечку, затянутую мембраной (обыкновенной резиной). В центре мембраны укреплен стерженек, служащий для поддержания рычажка, один конец которого соединен шарниром с неподвижной рукояткой чашечки, а другой, свободный, служит для насадки какого-либо легкого и достаточно длинного острия – так называемого перышка, касающегося цилиндра. Наконец, полость воздушного барабанчика имеет отводную металлическую трубку, на которую надевается каучуковая трубка и которая проводит в полость барабанчика все изменения воздушной среды, происходящие от движения того или иного органа голосового аппарата. Таким образом, сгущение воздуха или разрежение его будет соответственно вытягивать или втягивать мембрану барабанчика, а вместе с нею и двигать в ту или иную сторону записывающий рычажок, который повторяет все движения мембраны и воспроизводит их в виде кривой на поверхности вращающегося цилиндра.

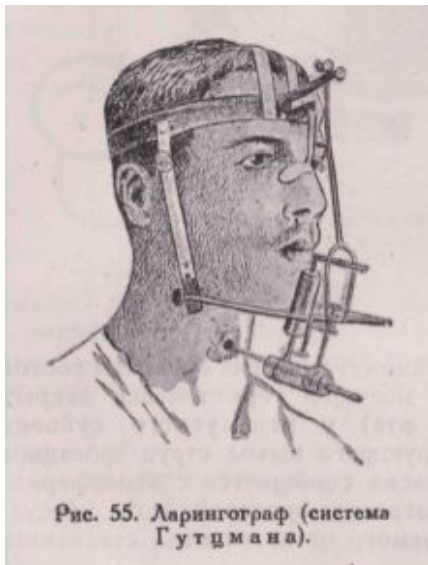
Благодаря длине записывающего пера даже слабые движения оставляют на цилиндре след, вполне доступный для наблюдения и исследования.

Что касается третьего типа прибора, т.е. непосредственно воспринимающего движения органа, то устройство его

соответствует форме того органа, с которым он приходит в соприкосновение.

### Г) Исследование движений гортани (ларингография)

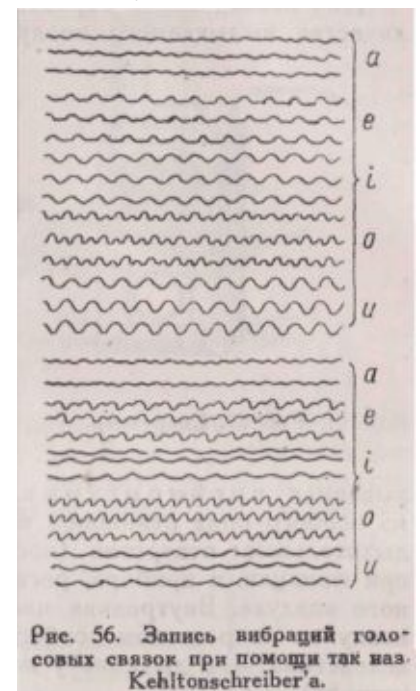
Изучение движений гортани в пении ведется в двух направлениях: исследуются передвижения гортани целиком и движения (колебания) голосовых связок.



Графическая запись передвижений гортани осуществляется при помощи ларингографа, (см. рис. 55), дающего возможность регистрировать как поднятие и опускание гортани, так и движения ее вперед и назад. Принцип устройства ларингографов следующий: к щитовидному хрящу прикрепляется при помощи специального приспособления **пелот** (устроенный в виде капсулы), передвигающийся вместе со щитовидным хрящом и сообщающий свои движения двум воздушным барабанчикам, пишущие перья которых фиксируют оба рода движений на закопченной бумаге кимографа. Прибор, служащий для регистрации колебаний голосовых связок, воспринимает и записывает вибрации голосовых связок, передающиеся хрящам гортани настолько заметно, что они легко ощущаются прижатым к гортани пальцем. Капсула, приложенная к щитовидному хрящу, передает вибрации через резиновую трубку записывающему барабанчику, оставляющему на закопченной бумаге вращающегося цилиндра кимографа соответствующую кривую (рис. 56).

Графическая запись передвижений гортани осуществляется при помощи ларингографа, (см. рис. 55), дающего возможность регистрировать как поднятие и опускание гортани, так и движения ее вперед и назад. Принцип устройства ларингографов следующий: к

щитовидному хрящу прикрепляется при помощи специального приспособления **пелот** (устроенный



### Д) Исследование процесса дыхания при пении

Для исследования количества вдыхаемого и выдыхаемого воздуха (легочная емкость) служит так называемый спирометр, представляющий собою металлический ящик или цилиндр, в который через мундштук вдувается выдыхаемый воздух, а самое исследование называется спирометрией. Специальный механизм отмечает количество выдохнутого воздуха на шкале или циферблате. Передвижение стрелки на одно деление указывает на выход воздуха в размере одного куб. сантиметра (рис. 57.)



Рис. 57. Спирометр.



Рис. 58. Пнеймометр.

Для исследования характера выдыхания (напора воздуха) и количества выдыхаемого воздуха при пении, применяется так называемая **пнеймометрия**.

*Пнеймометрические аппараты* состоят из особого рода резиновой маски, могущей герметически закрыть дыхательные отверстия (носа и рта) у испытуемого субъекта при фонации, и прибора, регистрирующего выход струи фонационного воздуха. Внутренняя часть маски сообщается с атмосферным воздухом посредством особого отверстия, проделанного в капсуле, вследствие чего дыхание у испытуемого остается мало стесненным (рис 58).

Прибор, в который поступает выдыхаемый при фонации воздух, снабжен газовыми часами, указывающими количество выдыхаемого воздуха, или специальным манометром.



Рис. 59. Пнеймометрическая запись при помощи так наз. Atemvolumenmesser'a.

В приборе, применяемом для пнеймометрической записи, носящем название Atemvolumenmesser, выдыхаемый воздух поступает в легко расправляющийся под его напором мех,

причем количество выдохнутого воздуха и скорость его вытекания отмечаются на специальной шкале (рис. 59).

Утечка воздуха при пении, как следствие недостаточно плотного смыкания голосовых связок (такой воздух носит название „дикого“), констатируется



Рис. 60. Аппарат для регистрации утечки воздуха при пении.

посредством стеклянного цилиндра длиной в 50—60 см с диаметром в 8—10 см, внутри которого, посередине, на волоске висит небольшой кусочек слюды (рис. 60). В отверстие неподвижно стоящего цилиндра вплотную поются гласные на разной высоте, начиная с низких и кончая самыми верхними. Если утечки воздуха нет, листок слюды продолжает висеть спокойно, в противном

случае он поворачивается или производит беспорядочные движения.

Более точные сведения об утечке воздуха можно получить при помощи графического метода исследования на кимографе. В одну ноздрю вставляется олива, соединенная с резиновой трубкой и записывающим барабаном (рис. 61). Если другую ноздрю закрыть пальцем, то носовая полость, просвет трубки и полость записывающего барабанчика представляют собою одно замкнутое пространство, которое сообщается с наружным воздухом только через



Рис. 61. Аппарат для записи утечки воздуха при пении.

носоглотку; малейшее изменение воздушного давления в полости носа вызывает втягивание или вздувание мембраны барабанчика, а вместе с тем поднятие или опускание записывающего пера. Если утечки нет, то перо пишет совершенно прямую линию, на которой заметна лишь некоторая волнистость, соответствующая звуковым колебаниям воздуха в носовой полости. При наличии утечки записывающее перо поднимается кверху на разную высоту в зависимости от силы напора вытекающего воздуха и, вследствие неравномерности давления, пишет ломаную линию.

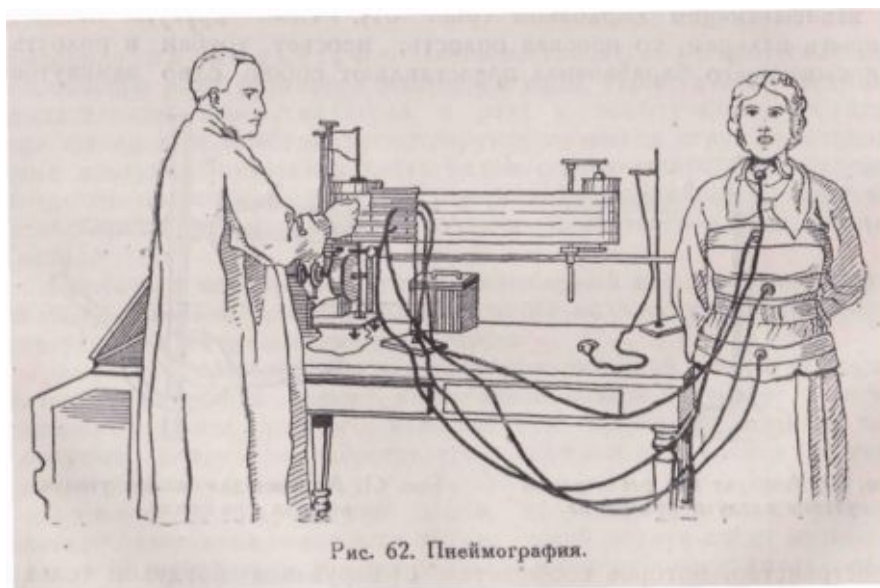
Так как воздух может попасть в носоглотку и нос лишь при том условии, если мягкое небо неплотно прилегает к задней стенке глотки, а большая часть воздушной массы устремляется в рот, то наблюдение утечки можно вести» также через рот.

Для графического определения утечки воздуха через рот к ротовому отверстию поющего прилаживается особый амбушюр, или воронка, приспособленный к очертанию и размеру ротового отверстия. Вершина амбушюра соединяется резиновой трубкой с записывающим аппаратом или манометром. Кривые, полученные

таким образом, обычно дают полное почти совпадение в своих формах с кривыми носа, но лишь держатся на значительно большей высоте; этим подтверждается, что источник прохождения (утечки) воздуха через оба отверстия (носовое и ротовое) находится в одном месте – голосовой щели.

### Е) Исследование движений стенок дыхательного аппарата (пнеймография)

Для изучения изменения грудной клетки на разных ее уровнях и стенок живота при пении служит особый прибор, называемый *пнеймографом*. Он состоит из мягкой гуттаперчевой



трубки (около 4 см в диаметре), заключенной в нерастяжимый плотный полотняный футляр, к концам которого пришиты нерастягиваемые тесемки для опоясывания и фиксирования пнеймографа на

том или ином участке туловища. Из середины гуттаперчевой трубки отходит перпендикулярно отводная резиновая трубка малого диаметра, соединяющаяся с записывающим барабанчиком. При вдыхании трубка пнеймографа, стесняемая в своем футляре, выдавливает известное количество воздуха в отводящую трубку, вследствие чего находящийся в последней воздух уплотняется, а это вызывает соответственное вытягивание мембраны записывающего барабанчика и отклонение в ту же сторону пишущего рычажка (рис. 62).

На основании получаемых на кимографической ленте кривых (линий) можно проследить во всех деталях и проанализировать дыхание исследуемого. Каждое расширение грудной клетки и живота отмечается на бумаге вращающегося кимографа восходящей линией, а спадение – нисходящей (рис. 63).

Обыкновенно при исследовании дыхания пользуются тремя пнеймографами: один надевается на уровне сосков, другой — подложечки, а третий — на животе.

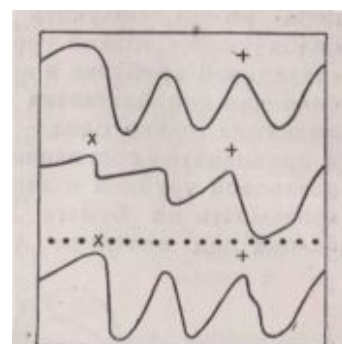


Рис. 63. Пнеймографическая запись.

Данные записи показывают частоту дыхания, продолжительность вдоха и выдоха, глубину их, движения отдельных участков дыхательного аппарата, что позволяет достаточно точно определить тип дыхания того или иного певца.

### **Ж) Исследование движений органов артикуляционного аппарата**

Объективное исследование органов надставной трубки во время пения представляется делом очень трудным и может касаться лишь тех частей, которые проявляют заметно выраженную активность.

Носовая полость, а также носоглотка во время фонации не претерпевают никаких видимых изменений, так как стенки их за отсутствием мышц остаются неподвижными. Мягкое небо регулирует сообщение между ртом и носом; прижимаясь к задней стенке глотки, оно может совсем изолировать их друг от друга. При разных условиях голосообразования положение мягкого неба может быть очень разнообразным; вопрос о функции его при фонации сводится преимущественно к определению, насколько оно позволяет звуковым волнам проникать в носовую полость. Точных методов исследования функции мягкого неба при пении не имеется; однако некоторое представление о его деятельности можно получить, во-первых, на основании графических записей движений задней стенки, мягкого неба регистрирующими приборами, во-вторых, путем измерения давления воздуха в носовой полости во время фонации и, наконец, методом выслушивания звуковых явлений в носу.

Графический метод исследования движений мягкого неба при пении заключается в том, что последние посредством разных приспособлений передаются записывающему перу, которое дает линейное изображение этих движений на закопченной бумаге кимографа. Один из способов заключается в том, что через нижний носовой ход в носоглотку вводится легкий металлический рычажок до соприкосновения его с задней стенкой небной занавески; перо, прикрепленное к рычагу, записывает колебания последнего при каждом движении мягкого неба. Способ этот грубый и не дает надежных результатов. Более точные данные о движениях мягкого неба можно получить путем исследования его при помощи баллончика из тонкой резины (Работнов), который вводится на стеклянной трубочке в носоглотку через ноздрю. Раздутый воздухом баллончик соприкасается со всеми стенками носоглотки, из которых подвижна только одна — нижняя (мягкое небо), если она находится в приподнятом состоянии. Если стеклянную трубку баллона соединить резиновой трубкой с

записывающей капсулей, то ее рычаг может записывать на бумаге кимографа изменения колебаний объема баллона под влиянием движений единственной подвижной стенки носоглотки — мягкого неба.

Сила замыкания носоглотки определяется тем сопротивлением мышц мягкого неба, которое они могут оказывать вдвухому через нос воздуху. В одну ноздрю (при другой закрытой) плотно вставляется олива, соединенная одновременно с коленом манометра. При сжимании баллона воздух сразу устремляется в нос и в манометр. Максимальная высота подъема ртутного столба будет свидетельствовать о силе замыкания носоглотки (рис. 64). Метод выслушивания носовой полости основан на том, что в случае проникновения звуковых волн в нос через носоглотку, они хорошо слышны через резиновую трубку, один конец которой вставляется в ухо исследуемого, а другой — в ноздрю поющего.



Если мягкое небо не закрывает вход в носоглотку, то в трубке слышны резкие шумы, носящие характер жужжания, свиста или сложного треска.

В некоторых случаях эти шумы очень сильны и производят неприятное ощущение в ухе, в других они еле-еле прослушиваются, и это свидетельствует о том, что звуковые волны, вследствие узости щели позади мягкого неба, слабо проникают в нос. Максимальное звучание в трубке получается в момент произнесения носовых звуков. Описываемый метод дает более или менее точные показания о функции мягкого неба.

Исследование движений языка, губ, нижней челюсти при пении обычно производится преимущественно простым наблюдением, так как точных методов для изучения работы (положения, а главным образом, степени напряженности) этих органов в настоящее время еще нет.

Вокальная практика также не выработала еще каких-либо норм для подвижных мускульных органов надставной трубки.

Наблюдение показывает, что, несмотря на по существу одинаковые условия голосообразования у певцов, отверстие рта и язык принимают у разных субъектов самые различные формы, причем разница в положении этих органов при выполнении одних и тех же фонационных, задач бывает настолько значительно выраженной, что обычно с трудом удается подметить общие черты в движениях



Рис. 65. Палатограмма. Отпечаток мягкого неба при произнесении согласной к.

артикулирующих органов, характеризующих правильное звукоизвлечение.

Особенно явственно выступает разница уклада губ и языка у разных певцов при произведении высоких нот.

Для объективного изучения работы языка при произнесении гласных и согласных звуков прибегают к методу так называемых



Рис. 66. То же—при произнесении т.

**палатограмм** и **лингвограмм**, т.е. к получению оттисков с тех мест, где язык приходит в соприкосновение с твердым небом. Для получения оттисков с неба (палатограммы, рис. 65 и 66) язык покрывается с помощью кисточки густо разведенной тушью, после чего произносится тот или иной звук или звукосочетание; в таком случае те места неба, которых коснулся язык, закрашиваются тушью. Теперь остается лишь зарисовать след отпечатка на бумаге

или, что еще лучше, на заранее заготовленном шаблоне.

Способ получения палатограмм при помощи искусственного неба значительно проще. Зубным врачом изготавливается из алюминия, каучука и пр. искусственное небо исследуемого субъекта. Затем это небо пудрится, вводится в рот и прикладывается к небу. При произнесении того или иного звука, а также при фонации той или иной гласной или артикулирования согласных язык слизывает пудру с неба на тех местах, которых он коснулся; после этого искусственное небо осторожно вынимается, и следы отпечатка зарисовываются на подготовленном заранее шаблоне.



Рис. 67. Лингвограмма. Отпечаток языка при произнесении согласной к.

Что касается **лингвограмм** (рис. 67), то они получаются без применения искусственного неба, причем тушью покрывается уже не язык, на небо испытуемого. От произнесения того или иного звука на поверхности

языка получаются черные пятна в тех местах, которыми язык касался неба. Получаемые артикуляционные отпечатки на языке затем или фотографируются или зарисовываются на шаблонах, изображающих язык.

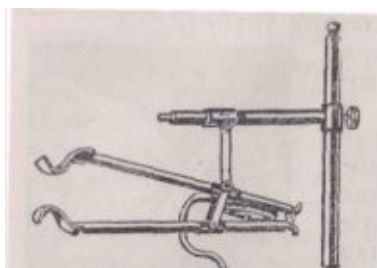


Рис. 68. Лабдиограф. Аппарат для исследования движений губ.

Движения губ исследуются при помощи **лабдиографа** — особого прибора, регистрирующего степень

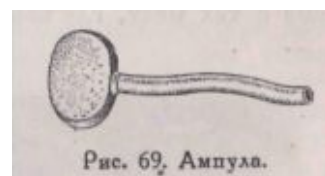


Рис. 69. Ампула.



смыкания и размыкания губ (рис. 68). Большая или меньшая степень смыкания губ изменяет плотность воздуха в барабанчике, пишущее перо которого оставляет след на вращающемся кимографе. Для изучения артикуляционных движений служат еще так называемые *ампулы* (рис. 69), представляющие собою небольшие резиновые полости разнообразной формы с отходящей от них трубочкой, которая служит для соединения с регистрирующим барабанчиком. Будучи помещены в полости рта между языком и небом на месте артикуляции, ампулы, испытывая надавливание со стороны артикулирующего языка, вызывают соответствующие движения пишущего рычажка.