

Доктор медицинских наук
И.И.ЛЕВИДОВ

**ПЕВЧЕСКИЙ ГОЛОС
В ЗДОРОВОМ И БОЛЬНОМ СОСТОЯНИИ**

ИСКУССТВО
Ленинград 1939 Москва

(оглавление на последней странице!!!)

ОТ АВТОРА

Предлагаемая книга ставит своей задачей изложение в сжатой форме тех имеющихся в настоящее время научных данных о певческом голосе, знание которых непосредственно или косвенно важно для вокалистов. Параллельно в ней сообщены результаты моих личных экспериментов и наблюдений в области развития и воспитания голоса вокалиста. Я считал также необходимым описать те формы заболеваний голосового аппарата, которые являются прямым или косвенным следствием нерациональной постановки голоса и неправильного голосового режима певцов, а также и профилактические мероприятия против этих заболеваний.

Хочу надеяться, что эта работа окажется полезной не только для вокалистов, но в меньшей степени также и для врачей-ларингологов. Эти врачи чаще всего стоят далеко от вопросов вокального искусства, но, тем не менее, им нередко приходится оказывать помощь певцам.

Большинство моих исследований в области физиологии и патологии голосового аппарата, вошедших в эту работу, было произведено при кафедре болезней уха, горла и носа Ленинградского Государственного ордена Ленина Института усовершенствования врачей им С. М. Кирова и при доцентуре фониатрии данной кафедры. В моей работе я неизменно пользовался консультациями директора кафедры заслуженного деятеля науки профессора Л. Т. Левина, которому и приношу свою глубокую благодарность.

Вопросы, касающиеся физиологии и патологии детского голоса, разрабатывались мной параллельно в Секции охраны и воспитания детского голоса Ленинградского Дворца пионеров.

Считаю своим долгом выразить глубокую признательность также А. П. Щапову за ценные указания и помощь в настоящей работе.

ВВЕДЕНИЕ

Пение является одним из самых излюбленных и распространенных видов музыкального искусства. Тяга к нему обычно обнаруживается с самого раннего детства. Уже с 3—4-летнего возраста дети при повторном слушании какой-нибудь песни обычно начинают подпевать мелодию (иногда только шевелить губами: последнее означает, что ребенок скоро запоет). Полное отсутствие такой реакции наблюдается сравнительно редко - обычно в тех случаях, когда песня слишком трудна или по какой-либо иной причине не доходит до ребят. Дети более старшего возраста уже самостоятельно пытаются повторить несколько раз прослушанную песню.

Особенно любят петь дети, у которых проявляются зачатки певческого голоса и музыкальных способностей. То же самое надо сказать и в отношении взрослых. Почти у всех, кто обладает хотя бы самыми скромными вокальными данными и музыкальным слухом, эта потребность выражается в разнообразных формах музыкальной самодеятельности, чаще всего в стремлении к пению, сольному или хоровому.

Пение, по сравнению с другими видами музыкального искусства, имеет в себе ряд своеобразных особенностей. Эти особенности, между прочим, вытекают из того, что „инструмент" певца - его голосовой аппарат - чрезвычайно сложен по своему устройству и труден для объективного наблюдения и изучения даже при применении специальных методов исследования. Еще более трудным является изучение всего процесса пения, представляющего собой чрезвычайно сложный психофизиологический акт.

Наука о голосе, к сожалению, не дает еще в настоящее время достаточного материала для построения в полной мере научной методики обучения пению. Поэтому вокальная педагогика базируется до сих пор преимущественно на эмпирически выработанных приемах воспитания голоса. Сложность явлений при певческом звукообразовании и отсутствие в полной мере научно-обоснованной методики воспитания вокалиста являются основными причинами большинства встречающихся в вокальной практике ошибок, нередко ведущих к порче, а в худших случаях даже к полному срыву голосов и разнообразным заболеваниям голосового аппарата у вокалистов.

Здесь, в первую очередь, следует остановиться на ошибках, часто наблюдаемых у начинающих самодеятельных певцов. Голос у них не успел еще сформироваться, его диапазон мал, а самое воспроизведение звуков, особенно в высоком регистре, дается с трудом; представления о правильном певческом звуке, естественно, у них тоже еще нет. Вполне понятно, что в процессе

приспособления голоса к исполнению какой-либо хоровой партии, песни, романса или арии молодой певец не в состоянии пользоваться экономными, правильными и целесообразными движениями органов голосообразования. Чтобы при этом преодолеть встречающиеся трудности и достигнуть звучности голоса, молодые певцы, не зная естественных возможностей своего голосового аппарата, часто насилуют и перегружают его. В результате они либо прямо срывают голос, либо, в лучшем случае, приобретают ряд вредных навыков, отрицательно отражающихся на качестве голосового материала. Сюда относятся тремолирование звука, напряженный, носовой или горловой его характер, гримасы лица при пении, напряженное состояние всего тела, набухание вен на шее, крикливость звука, плохая дикция и т. д.

Многие такого рода дефекты являются результатом неправильного пения и нерационального режима голоса в детском возрасте, в частности – у мальчиков во время мутации голоса, а также и в до- и послемутационном периоде. Будучи крайне восприимчивы и склонны к подражанию, дети часто перенимают у взрослых и старших товарищей их манеру пения, причем встречающиеся технические трудности преодолеваются ими в большинстве случаев путем вредных напряжений голосового аппарата или его отдельных частей.

Дети обыкновенно стараются петь возможно более громко (перекричать товарища), значительно громче, чем это по силам их хрупкому голосовому аппарату.

В результате крикливого пения, исполнения непосильных вещей, а также „взрослой манеры" пения, дети вплетают в звучание своего голоса чуждые детской природе элементы. Таким образом, они приобретают ряд дурных вокальных навыков, портящих истинную природу голоса ребенка, его, так сказать, первичную основу.

Произведенные мною стробоскопические наблюдения гортани у поющих детей часто показывали неестественный, несвойственный детскому голосу (преимущественно фальцет ног о, головного типа), сплошь грудной характер колебаний, присущий, главным образом, голосу взрослых. Вместе с тем, у поющих детей нередко приходится наблюдать те же различные болезненные состояния голосового аппарата, что и у взрослых певцов, начиная от обычного воспаления голосовых связок и до типичных „певческих узелков". Эти заболевания, несомненно, связаны с неправильным пением и нерациональным голосовым режимом.

В результате этого, хрупкие детские голоса часто гибнут, не успев расцвести. Между тем, в природе детского голоса уже

заложены зачатки того исключительного многообразия тембровых оттенков и индивидуальных особенностей, которыми так богат человеческий вокальный голос.

Теперь становится понятным, почему поступающая в руки вокальных педагогов молодежь нередко обнаруживает голоса, лишенные свежести, имеющие в себе те или иные крепко укоренившиеся дефекты. Вокальный педагог бьется с таким материалом, бьется иногда целыми годами, прежде чем ему удастся освободить голос от вредных наносов и наслоений.

Из изложенного становится совершенно очевидным, что для нормального развития голоса певца раньше всего необходимо создать здоровый режим голоса (в широком смысле этого понятия) – начиная от детского возраста и вплоть до начала профессионального обучения.

Вторая группа причин, тормозящих правильное воспитание певца, как уже было сказано, лежит в отсутствии научно разработанной вокальной методики. Объективные данные науки о голосе на настоящем этапе ее развития не могут во всех случаях быть непосредственно использованы в певческой практике. Однако, знание основных законов функционирования голосового аппарата должно помочь вокалистам избежать ряда ошибок, тем более что опубликованные за последние годы исследования физиологии и патологии голоса в значительной мере подвинули вперед объективное изучение его природы. Наряду с анализом звука, в практике экспериментальной фонетики и фониатрии получила широкое распространение стробоскопия – метод, благодаря которому можно наблюдать самые колебания голосовых связок. Материалы, добытые этими исследованиями, дают возможность гораздо глубже, чем раньше, а нередко и совсем по-новому поставить целый ряд методических вопросов.

Таким образом, становится ясным, что современная вокальная педагогика должна основываться на синтезе своего богатого практического опыта и положительных научных данных акустики, анатомии и физиологии голосового аппарата.

Интенсивный рост советской художественной культуры, приобщение широких масс трудящихся к искусству и, в частности, к пению, получившему у нас исключительно большое распространение, а с другой стороны, огромная потребность в кадрах полноценных певцов-профессионалов диктуют необходимость чрезвычайно бережного отношения к голосу поющих и рационального подхода к воспитанию будущего певца-профессионала.

В наших условиях имеются все предпосылки для сохранения и культивирования голосового материала, которым так богата наша социалистическая родина. Во многих самодеятельных коллективах уже созданы кружки сольного пения, где ведется серьезная систематическая работа, где одаренная молодежь органически включается в вокальное искусство, и где, следовательно, насаждается настоящая вокальная культура.

В последние годы возникла и уже получила практическое осуществление идея охраны и планомерной культуры детского голоса, что не замедлило сказаться в благоприятном смысле на характере постановки школьного и внешкольного детского пения, следовательно, и на развитии голоса у наших детей.

Идея охраны и воспитания детского голоса встретила широкий отклик в среде педагогов, ведущих детское пение в школах, и в широких музыкально-общественных кругах. В январе 1933 г. в Москве состоялось первое Всероссийское совещание по вокальной работе с детьми, на котором намечен ряд мероприятий в направлении рационализации детского пения в школе и во внешкольных детских организациях.

Если на фоне общего расцвета музыкального исполнительства в Советском Союзе, выдвинувшего целые плеяды новых талантливых исполнителей, выделяется тот факт, что вокальное искусство еще не дало (за единичными исключениями) таких мастеров, которых можно было бы поставить наравне с нашими лучшими представителями, например, в области пианизма или скрипичной игры, то нет никакого сомнения в том, что с ростом вокальной культуры в нашей стране мы будем иметь столь же богатые кадры талантливых, владеющих высокой техникой и мастерством исполнения вокалистов.

ГЛАВА I

КРАТКИЙ ОЧЕРК АКУСТИКИ, АНАТОМИИ И ФИЗИОЛОГИИ ГОЛОСОВОГО АППАРАТА

Голосовой аппарат человека – очень сложный по своей конструкции орган – наделен чрезвычайно своеобразными физическими и физиологическими свойствами. Для понимания его работы необходимо знать основы акустики. Поэтому изучение его работы я начну с описания общих законов звукообразования, а затем перейду к наложению физиолого-акустических особенностей голосового аппарата.

Явление *звука* состоит в том, что некое упругое тело – натянутая струна, металлическая пластинка, столб воздуха в трубке, голосовые связки гортани и т. д. – под влиянием толчка приходит в колебательное движение и вызывает колебание окружающего воздуха. Движение это подобно движению часового маятника и состоит из четырех *фаз*: звучащее тело сначала отклоняется до определенного предела от своего нормального положения, затем возвращается обратно, снова отклоняется в противоположную сторону и, наконец, вторично приходит к среднему положению, чтобы повторить описанное движение много раз.

Время, затраченное на одно полное колебание, называется *периодом колебания*. Период колебания может быть большим, если тело колеблется медленнее, и меньшим, если эти колебания часты. От числа колебаний звучащего тела в секунду зависит высота звука. Чем меньшее число колебаний в секунду совершает звучащее тело, тем ниже будет звук, и, наоборот, звук будет тем выше, чем менее короткие промежутки времени разделяют отдельные колебания.

Простейший прибор для измерения числа колебаний звучащего тела в единицу времени и, следовательно, определяющий высоту звука, называется *сиреной*.

Сирена в простейшей форме представляет собою диск с маленькими отверстиями у края, расположенными по кругу. Диск этот заставляют вращаться и в то же время из узкой трубочки пускают сильную струю воздуха на ряд отверстий диска. Когда мимо конца трубочки проходит отверстие диска, воздух проходит сквозь него. Когда же проходит промежуток между отверстиями диска, струя воздуха за диск не попадает. Таким образом, струя воздуха все время прерывается, отчего воздух приходит в колебание и получается звук (*рис. 1*). Зная число оборотов диска в секунду и число дырочек в диске, можно определить (вычислить) высоту звука.

Наше ухо неспособно слышать все возможные в природе звуки. Существует предел для слышания низких и высоких звуков.

Большинство людей слышит звуки, имеющие от 20 до 20 000 колебаний в секунду. В сравнительно немногих случаях (для лиц, обладающих исключительным слухом) эти пределы составляют от 16 до 40000 колебаний в секунду.

Нижнее *ля* фортепиано имеет 27,5 колебаний в 1 секунду, а верхнее *до* – 4096 колебаний. Маленькие флейты – пикколо дают верхний предел для звуков, употребляемых в музыке, - около 4700 колебаний.



Звуковые колебания могут быть **равномерными (периодическими)**, и **неравномерными (непериодическими)**. Последние дают **шумы** – сложные звуки, состоящие из хаотического смещения различных, изменчивых по высоте колебаний, в отличие от звуков (музыкальных), вызываемых периодическими колебаниями, например, звуков камертона, скрипки, рояля, голоса певца.

Сначала движение воздуха, вызванное колеблющимся телом, попадает из ушной раковины через слуховой проход (рис. 2,) на эластичную мембрану – барабанную перепонку (рис 2,5), которую приводит в движение. Затем барабанная перепонка передает толчок трем небольшим косточкам – так называемым *молоточку, наковальне и стремени* (рис. 2,6); последнее, своим основанием



Рис. 2. Восприятие звука.

1—источник звука. 2—звуковые волны. 3—ушная раковина. 4—слуховой проход. 5—барабанная перепонка. 6—слуховые косточки. 7—слуховой нерв. 8—лабиринт.

находящееся уже во внутреннем ухе. приводит в движение особую, наполняющую лабиринт (рис.2.) жидкость, а вместе с нею и помещающиеся в улитке *кортиевы волокна*,

являющиеся конечными разветвлениями слухового нерва (рис.2,7). Отсюда раздражение слухового нерва сообщается мозговым центрам.

В музыкальных звуках ясно и определенно звучит основной тон, имеющий определенную высоту. В шуме же (со всеми его разновидностями, как-то: шорохом, треском, скрипом, шелестом и т.д.) высоту его определить трудно, а в большинстве случаев и совсем невозможно. Строгой и резкой разницы между шумами и звуками провести нельзя. Во многих шумах иногда удается

определить высоту, а некоторые звуки при известных условиях воспринимаются и определяются как шумы. Так, например, в завывании ветра иногда слышатся отдельные тоны, а случайное, беспорядочное одновременное звучание нескольких музыкальных инструментов, создающее произвольное, хаотическое смешение музыкальных звуков, затрудняющее возможность ориентироваться во всей звучащей массе и слышать каждый инструмент в отдельности, превращает их в шум.

От размера размаха, или, как обычно говорят, **амплитуды** колебания тела, зависит сила звука: чем размах колебания больше, тем звук сильнее. Например, при *piano* струна скрипки колеблется очень слабо, делая очень маленькие размахи. Когда же размах струны силен (амплитуда ее велика), то и звук получается сильный, громкий. Нарастание интенсивности звука и есть известное музыкантам *crescendo*, ослабление же – *diminuendo*.

Рис. тони жап



Звуки всех музыкальных инструментов, так же как и человеческого голоса, имеют

каждый свою определенную окраску, свои характерные особенности звучания, отличающие их один от другого. Эта окраска звука называется его **тембром**.



Сущность тембра заключается в следующем: звуки всех музыкальных инструментов представляют собой совокупность отдельных простых тонов, т.е. тонов, не поддающихся дальнейшему разложению. Самый низкий из них в данном звуке называется основным. Он и определяет высоту всего сложного звука. Все же более высокие составные части звука называются по отношению к основному его тону **обертонами**, или **гармониками**. Таким образом, тембр звука зависит от отдельных простых тонов, входящих в его состав, и от взаимного отношения, которое существует между этими тонами, с точки зрения их расположения и интенсивности.

Сила и преобладание тех или иных обертонов в разных звуках бывают различны, и это обстоятельство и придает каждому отдельному звуку присущую ему характерную окраску, или тембр. Происхождение обертонов объясняется тем, что всякое способное к звучанию тело, выведенное из состояния равновесия, колеблется не только целиком, но и отдельными своими отрезками (рис. 3 и 4). Каждый звучащий отрезок колеблющегося тела имеет свою форму колебания, соответствующую простому тону; сливаясь при

совместном звучании, отдельные тоны дают общую форму колебания, которая уже и определяет тембр данного звука.

Форма простого колебания, дающего основной тон данного звука, графически изображается в виде так называемой синусоидальной кривой, подъемы которой и впадины симметричны, одинаковой ширины и плавно, постепенно закруглены (рис. 5, *A* и *B*). Кривые обертонов, также являющихся простыми тонами, представляют такие же формы волн, столь же симметричные, но меньшие по длине. Несколько простых колебаний, будучи сложены вместе, дают уже не простую симметричную кривую (синусоиду), а сложную, которая и является графическим изображением тембра данного звука как сложного акустического явления (рис. 5, *C*).

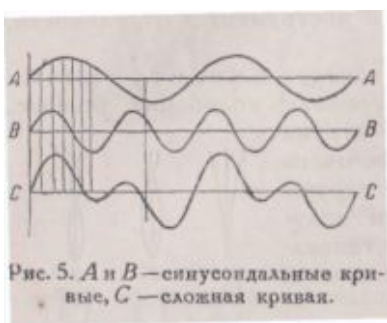


Рис. 5. *A* и *B* — синусоидальные кривые, *C* — сложная кривая.

Входящие в состав звука обертоны находятся не в случайных, а в определенных (гармонических) отношениях между собой и к своему основному тону, а именно: число их колебаний в 2, 3, 4, 5 и т. д. раз больше числа колебаний основного тона. Так, например, к звуку *C* обертоны по числу колебаний будут следующие:

1-й обертон — октава с	в 2	раза больше колебаний
2-й " — ее квинта g	в 3	" " "
3-й " — двойная октава . с'	в 4	" " "
4-й " — ее терция e'	в 5	" " " и т. д.

Входящие в состав звука простые тоны называются еще его **частичными тонами**. В этом случае первым частичным тоном считают основной тон, 1-й обертон — 2-м частичным тоном и т. д. (рис. 6).

Гармонические обертоны составляют необходимую принадлежность всякого музыкального звука. Наибольшим количеством гармонических обертонов обладает человеческий голос (*Гельмгольц*), почему он и представляет самый совершенный „музыкальный инструмент“.



Звук распространяется в пространстве посредством упругой среды, чаще всего посредством воздуха. Звучащее тело в момент своего колебательного движения вовлекает в него и соседние частицы воздуха. Благодаря этому те из частиц, которые находятся впереди движения звучащего тела, отталкиваются им, и в слое воздуха оказывается таких частиц больше, т.е. плотность воздуха

здесь увеличивается. Сжатый воздух, внутри которого давление больше, чем в окружающем пространстве, стремится расшириться.

Это же самое происходит в том уплотненном слое воздуха, который образуется вследствие начального воздушного толчка. В нем имеется избыток давления, и молекулы поэтому стремятся разойтись во все стороны. Часть молекул отойдет назад, другая же часть устремится, вследствие все того же избытка давления, вперед. Там, где только что был избыток давления и где молекулы были уплотнены, молекул будет уже меньше, чем это должно быть в норме; следовательно, и давление будет меньше нормального. Теперь в этом месте уже окажется слой разреженного воздуха. Те молекулы воздуха, которые, уходя от избытка давления, продвинулись вперед, создадут такое же уплотнение воздуха еще дальше. Слой сжатого воздуха как будто побежит во все стороны. Так возникают в воздухе звуковые волны. Уплотнение воздуха при образовании звука можно сравнить со сблизившимися между собою витками пружины, по которой ударили кулаком (рис. 7).

Чем быстрее колеблется тело, тем чаще воздух получает толчки, и звуковые волны становятся более короткими; чем реже колебания, тем волны длиннее. Таким образом, движение воздуха при распространении звука тоже колебательное, т.е. частицы воздуха все время остаются на своем месте, совершая вокруг него больших или меньших размеров колебания.

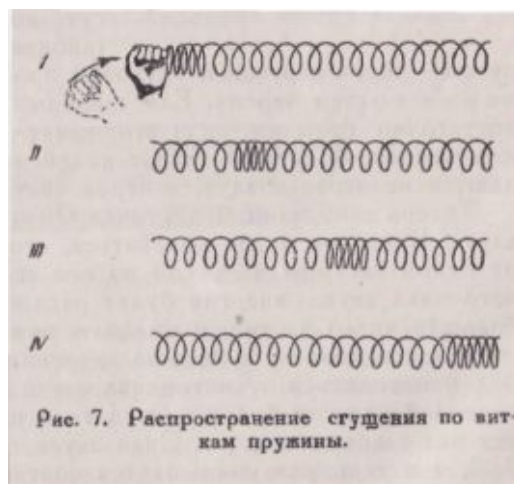


Рис. 7. Распространение сгущения по виткам пружины.

Каждая отдельная звуковая волна получается от одного полного колебания. Сколько в секунду совершается колебаний звучащего предмета, столько же пойдет от него в каждую секунду сгущений и сопутствующих им разрежений воздуха. Благодаря этому звуковые воздушные волны, несущие звуки от разных звуковых источников, далеко не одинаковы. В самом деле, камертон с очень высоким тоном, в секунду делающий, например, 1000 колебаний, пошлет в секунду 1000 волн, с. большой быстротой следующих друг за другом. Другой камертон с низким тоном, например, в 100 колебаний в секунду, пошлет только 100 волн, которые, само собою разумеется, пойдут в 10 раз реже.

Но что это значит – „волны идут чаще" или „реже"? Эту же самую мысль можно передать другими словами так: расстояния между сгущениями (т.е. то, что называется „длиной волны") в одном случае в 10 раз меньше, чем в другом. Обычно в физике так

и говорят: *источник низкого звука посылает всегда волны большей длины, чем источник высокого звука.*

Для примера приведем несколько данных, которые показывают, какова зависимость длины звуковой волны от числа колебаний в секунду. Так, низкий голос (бас) посылает от себя волны длиной приблизительно от 5 до 0.5 метра, а высокий (сопрано) может быть источником звуковых волн с длиной приблизительно от 1 метра и всего только до 32 сантиметров. Таким же образом, как и через воздух, происходит распространение звука в твердых телах, например, в длинном металлическом пруте: представляя себе данное тело разбитым на ряд мельчайших частиц (молекул), можно предположить, что молекулы то уплотняются, то разрежаются под действием вибрирующего источника звука. Между прочим, этим объясняется тот факт, что звуки могут доходить до внутреннего уха (**лабиринта**) не только этим обычным путем – через наружный слуховой проход, но и передаваться также через кости черепа. Если слышимый звук камертона становится достаточно громким, если его ножку приставить к зубам, ко лбу или темени. В данном случае колебания ножек камертона передаются не через воздух, а через кости головы.

Теперь вообразим, что в точке 0 (рис. 8) у нас помещен источник звука. Когда он будет колебаться, его энергия будет передаваться от одной частицы к другой во все стороны. По мере удаления от источника звука энергия будет распределяться на все большее и большее число частиц, и на долю каждой частицы будет приходиться все меньше и меньше энергии. Поэтому, чем дальше мы будем находиться от источника звука 0, тем меньшее количество звуковой энергии будет поступать в наше ухо, а потому звук будет все слабее и слабее. Сила звука с увеличением расстояния в 2, 3, 4 и т. д. раз уменьшается соответственно в четыре, в девять, в шестнадцать и т. д. раз, т. е. сила звука изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния от источника звука.

Стоячие волны образуются как результат столкновения двух волн, идущих друг к другу навстречу. Проще всего получить их при отражении волны. Возьмем в руки один конец веревки (еще лучше – резиновой трубки), закрепленной неподвижно другим своим концом (рис. 9). Встряхнем рукой конец веревки; тогда по веревке будут передаваться



Рис. 8. Ослабление звука с расстоянием.

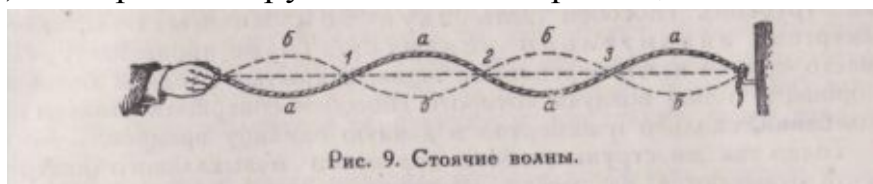


Рис. 9. Стоячие волны.

колебания, и по ней побежит волна. Такая волна называется **бегущей**, или **проходящей**. Волна дойдет до закрепленного конца, отразится здесь и пойдет обратно (**отраженная волна**).

Если мы будем непрерывно колебать рукой конец веревки, то одна волна будет следовать за другой. Волны бегущие соединяются с волнами отраженными и образуют стоячую волну. Веревка будет занимать последовательно все положения между крайними положениями а, а, а — б, б, б.

Некоторые точки (1, 2, 3) на веревке будут всегда оставаться неподвижными; такие точки называются узлами. Чем чаще будут колебания веревки, тем больше будет узлов. Вся веревка разбивается узлами на несколько одинаковых колеблющихся частей. В то время как один из этих участков идет вверх (горб), соседний участок отклоняется вниз (впадина). Совокупность горба и впадины называется волной.

Каждый участок (горб или впадина) составляет пол волны. Итак, расстояние между двумя узлами равняется половине длины волны. Наибольшие отклонения веревки будут обнаруживаться и точках а, а ... б, б..., лежащих на середине между узлами; эти точки называются пучностями.



Стоячие волны в воздухе можно обнаружить на следующем опыте. Возьмем стеклянную трубку, закрытую с одного конца (рис. 10), насыплем в нее небольшой слой сухих мелких пробочных опилок, а еще лучше – порошка ликоподия (детской присыпки). образуем теперь перед открытым концом трубки сильный высокий звук, например, свистком). В трубке образуются стоячие волны: порошок в пучностях встряхивается, в узлах же останется в покое, и в результате получаются пылевые фигуры, по которым можно судить о длине стоячих волн.

Способное к звучанию упругое тело воспринимает колебания, приносимые ему волнами звучащего тела, и само начинает колебаться под их влиянием, если период колебаний, иначе говоря, длина приносимых извне звуковых волн, вполне совпадает с периодом свойственных данному телу колебаний.

Явление это называется резонансом. Так, например, если держать звучащий камертон над узкой трубкой, объем воздуха в которой может быть произвольно изменен при помощи столба воды, то в том случае, когда уровень воды ограничит такой объем воздуха, который, колеблясь самостоятельно (например, если дуть

над трубкой), способен дать звук той же высоты, звук камертона значительно усилится. То же произойдет, если вместо трубки взять деревянный ящик, открытый с одной боковой стороны и объем воздуха которого способен совершать столько же колебаний, сколько и камертон в данную единицу времени.

Точно так же струны любого струнного музыкального инструмента отзываются на любой одинаковый с ними по высоте звук, изданный другим источником звука.

Имеется еще и такой вид резонанса, когда тело начинает вибрировать (колебаться) под влиянием звуков различной высоты (т.е. под влиянием звуков, не совпадающих с его собственным периодом колебаний). В таком случае слабо звучащее тело, будучи соединено с большими поверхностями, которые под влиянием звучащего тела сами начинают совершать такие же колебания и этим сообщают движение большим массам воздуха, обнаруживает значительно более сильное звучание. Так, например, слабо звучащий камертон, слышимый только у самого уха, начинает звучать сильно, если его поставить на стол. Волокна дерева приходят в вибрацию, которая передается воздуху; отсюда и усиление звука камертона, который становится слышимым на значительном расстоянии от уха. То же происходит и со струной, натянутой между металлическими гвоздями, вбитыми в стену. Если стена деревянная (или же струна приведена в соединение с каким-нибудь резонатором), то звук сразу резко усиливается.

По принципу резонаторов, где резонируют отдельные объемы воздуха, Гельмгольцем устроены особой конструкции резонаторы, называемые его именем (рис. 11). Они имеют шарообразную форму, делаются из стекла или латуни; у них два отверстия: одно



Рис. 11. Резонатор Гельмгольца.

узкое, конической формы – вкладывается в ухо; второе, более широкое, цилиндрической формы; через него звуковая волна поступает в резонатор. Продувая воздушную струю около широкого отверстия такого резонатора, мы услышим определенной высоты тон; это и будет свойственный данному резонатору тон, или так называемый собственный его тон. Если этот самый тон издается каким-нибудь инструментом, резонатор будет на него отзываться. Из состава сложных звуков резонатор Гельмгольца будет выбирать лишь свой тон и отзываться только на него: этим путем можно проанализировать звук и определить, есть ли в его составе тон резонатора или нет.

Чтобы подойти к решению вопроса о сущности явления резонанса, попытаемся сначала ответить на более простой вопрос: почему натянутая струна совершает колебания определенной

частоты. Она совершает определенное число колебаний и секунду потому, что она обладает определенными силами упругости и определенной инерцией. Если у двух струн одинаковая инерция, но разная упругость (например, одна струна натянута сильнее, а другая слабее), то они будут совершать свои колебания с разной частотой. Точно так же, если силы упругости двух струн одинаковы, а их массы (а стало быть, и инерция) различны, то число колебаний в секунду у них также будет неодинаково.

Точно так же и масса воздуха, которая заключена внутри резонатора, тоже обладает определенной инерцией и определенной упругостью, которые придают ей способность приходить в колебания только одной определенной частоты; говоря про такие колебания избранной частоты, с которой они совершаются у струны, камертона, у ограниченной стенками массы воздуха, их называют **собственными колебаниями** этого камертона, массы воздуха и т.д.

Предположим, что в нашем распоряжении имеется некая масса воздуха, заключенная в сосуд. Эта масса воздуха, в зависимости от размеров и формы сосуда и, кроме того, от величины его отверстия, может совершать собственные колебания, например 1000 раз в секунду. Представим себе, что до этого резонатора доходят такие акустические волны, частота которых та же самая, что и частота собственных колебаний воздуха в сосуде (резонаторе), т.е. что в каждую секунду к нему придет тоже ровно 1000 волн.

Подтолкнутые первой волной частицы воздуха, заключенного в сосуде (резонаторе) начнут совершать свои колебания с определенной тенденцией сделать в секунду 1000 колебаний. Но так как в секунду подходит к резонатору столько же волн, то каждая из них подтолкнет воздушные частицы, находящиеся внутри резонатора, в полном ритме с их собственными колебаниями. Таким образом, колебания, доходящие к резонатору от постороннего источника звука, совпадут с его, резонатора, собственными колебаниями, и, сложившись одни с другими, вызовут значительно большие размахи воздушных частиц, а это значительно усилит звук в резонаторе.

Не то будет, конечно, если издастся звук иного тона (иной высоты), чем тот звук, который может издавать сам резонатор. В таком случае какие-нибудь из двух складывающихся колебаний – либо те, которые принесены волнами со стороны, либо его, резонатора, собственные колебания, будут совершаться чаще других. Тогда получится разнотона между подталкиваниями воздушного объема резонатора воздушными волнами, идущими извне, и его собственными вибрациями, в результате чего

воздушный объем резонатора раскачаться не сможет и звука не даст.

В отношении резонанса применяются еще понятия **острый резонанс** и **неострый резонанс**.

Под первым термином подразумевается следующее: если какой-нибудь резонатор, отвечающий, положим, на частоту в 200 колебаний, будет все же отзываться, хотя и слабее, на частоты, несколько отличающиеся от указанной, т.е. если, например, он откликнется и на 160 и на 240 колебаний, то такой резонанс называется *неострым*.

Но если резонатор отзывается на 200 колебаний и совсем не реагирует на тона, даже очень близкие по частоте, например, ни на 205, ни на 195 колебаний, то говорят, что это случай очень *острого* резонанса.

Чтобы понять, чем обуславливается острота резонанса, надо мысленно проследить за взаимоотношением тех двух видов вибраций – собственных колебаний резонатора и колебаний, принесенных к нему извне, – сложением которых и создается резонанс.

Представим себе сначала такой случай: собственные колебания какого-либо резонатора очень быстро исчезают; если их не поддерживать, то спустя одно, самое большее – два колебания, они уже прекращаются или, как про них говорят, затухают. Про такие резонаторы говорят, что они имеют большой декремент затухания.

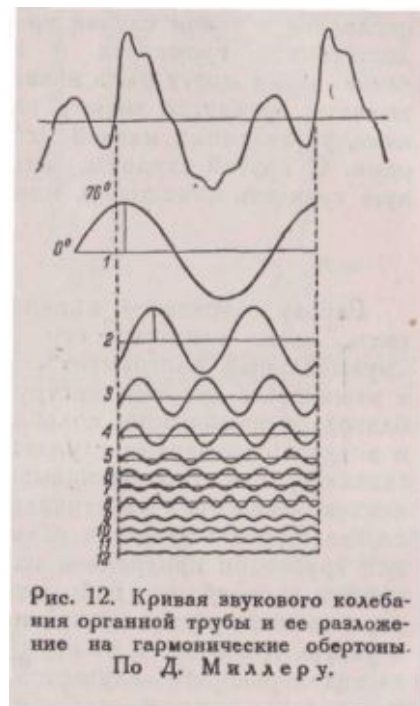
Как будет реагировать такой резонатор на какие-нибудь воздушные звуковые волны, дошедшие до него хотя бы, например, от голосовых связок певца? Придет ли он в колебание только в том случае, когда частота волны и его собственная частота одинаковы, или для его дрожаний это условие не обязательно? Правильным будет, конечно, второе утверждение: он, будет колебаться под действием волн всякой частоты, потому что для него безразлично, через какие промежутки времени он будет получать толчки от проходящих к нему звуковых волн. В самом деле, к тому времени, когда до резонатора дойдет второй воздушный толчок, его собственные колебания уже затухнут и не окажут никакого препятствия возникновению второго колебания. То же самое будет и со всеми последующими воздушными толчками.

Совсем не так будет происходить дело с тем резонатором, у которого собственные колебания могут длиться порядочное время – который обладает малым затуханием или малым декрементом затухания. От первого же воздушного толчка у такого резонатора начнутся собственные колебания. Если доходящие до него воздушные толчки идут с иной частотой, нежели совершаются его собственные колебания, то второй воздушный толчок не попадет в

такт со все еще продолжающимися собственными колебаниями резонатора – с его вторым по счету собственным колебанием. Значит, эти движения будут мешать одно другому, в результате чего не будет вовсе никакого движения, и такой резонатор на колебания не откликнется вовсе. Отсюда можно вывести следующее: *если собственные колебания резонатора продолжительны – долго не затухают, то он обладает острым резонансом и не откликается даже на те звуки, которые, хотя бы совсем ничтожно, отличаются по высоте от его собственного тона. Чем скорее затухают его собственные колебания, тем менее острым резонансом он обладает. И, наконец, если затухание резонатора очень велико, т. е. собственные колебания его прекращаются тотчас же по своем возникновении, то этот резонатор, в сущности говоря, не имеет права называться резонатором в полном смысле этого понятия, потому что он приходит в колебание под влиянием звуков любой высоты.*

Более сложным, нежели способ разложения звука при помощи резонаторов Гельмгольца, но зато очень тонким, является метод разложения звука на основании так называемой теоремы Фурье; при помощи этой теоремы каждое периодическое колебание сложной формы может быть разложено на ряд простых (гармонических) колебаний (обертонов), амплитуды и частоты которых определяют качество тембра.

При известной тренировке можно научиться различать (дифференцировать) на слух гармонические обертоны, входящие в состав сложного тембра, конечно, если они не очень слабы и не замаскированы более сильными. Некоторые музыканты выработали в себе эту способность в сильной степени. На рис. 12 приведена кривая звукового колебания органной трубы и ее разложение на ряд гармонических обертонов вплоть до 12-го. Эти обертоны могут быть поочередно выделены слухом, если на них концентрировать внимание. Для такой концентрации внимания достаточно, например, взять коротко на рояле (или другом инструменте) тон, соответствующий искомому обертону. Это напоминание легко позволяет заметить искомый обертон в общей звуковой массе.



Отражение звука в своих законах аналогично этому явлению в области света. Звуковая волна или часть ее, распространяющаяся в прямом направлении (по аналогии со светом, назовем ее

звуковым лучом), встречая на своем пути какую-либо поверхность, отражается от нее, отбрасывается ею, подобно тому, как снеговой луч зеркалом, причем угол падения равен углу отражения. На применении этого закона основано устройство рупоров и слуховых труб, которые отражают звуковые лучи, в рупорах, направляя их параллельно друг другу, т. е. препятствуя возможности рассеяться, в слуховых же трубах, собирая в одной точке.

В закрытых помещениях (комнатах и залах) звуковые волны не могут уйти дальше стен: большая часть их отражается от стен и остается в том же помещении. Вследствие этого звуки в закрытых помещениях звучат громче и дольше слышны, чем на открытом воздухе.

Это явление, обычно неправильно называемое резонансом, никакого отношения к явлению резонанса не имеет. Хорошая акустика помещений зависит только от так называемой **реверберации**, или **отзвука**, имеющих в своей основе отражение звука и являющихся коротким эхо. Искусственное уменьшение реверберации отрицательно влияет на звуки, так как последние в таком случае чрезвычайно быстро гаснут и не имеют достаточной громкости и ясности. В музыкальном отношении такие звуки могут быть названы бледными, мертвыми. Певцы и музыканты прекрасно знают, как трудно петь или играть в помещениях, уставленных мягкой мебелью, завешанных порттьерами и коврами. С другой стороны, излишняя реверберация создает известную гулкость помещения, мешающую ясности звука и слова.

Работу голосового аппарата лучше всего можно себе представить, если, согласно его структуре, рассматривать его как „музыкальный инструмент". Голосовой аппарат обычно относят к язычковым духовым инструментам, у которых звук получается благодаря комбинации колебаний упругого твердого тела – язычка и воздуха; примерами служат: кларнет, фагот, гобой, язычковая органная трубка. Колеблющимся твердым телом в такого рода инструментах является эластичная металлическая или камышевая пластинка (одна или две), так называемый язычок. В кларнете и в органной трубке он прикреплен на одном конце и вибрирует свободным концом в отверстии небольшой рамки; в гобое язычок состоит из двух тонких тростниковых пластинок, вставленных одним концом в узкую трубочку, и т. п. В инструмент при помощи мехов или легких играющего вдувается струя воздуха, стремящаяся выйти через щель между язычком и рамкой или между двумя пластинками язычка. Под давлением потока воздуха язычок начинает колебаться, периодически закрывает щель и останавливает воздушную струю. Получается звук определенной высоты. У некоторых инструментов можно регулировать высоту

тона путем изменения длины язычка при помощи специального приспособления. Металлическую пластинку, служащую в таких инструментах язычком, можно заменить эластичной мембраной, например, резиновой пластинкой или животной перепонкой.

Подобный „инструмент" с мембранообразным язычком представляет собою и человеческий голосовой аппарат. Роль мехов в нем играют легкие; мембранообразный язычок – голосовые связки, а функцию надставной трубки (резонатора) выполняет верхний отрезок дыхательных путей, состоящий из полостей рта и носа. Таким образом, оказывается, что в человеческом голосовом аппарате имеются налицо все части для функционирования его как язычкового духового инструмента (рис.13).

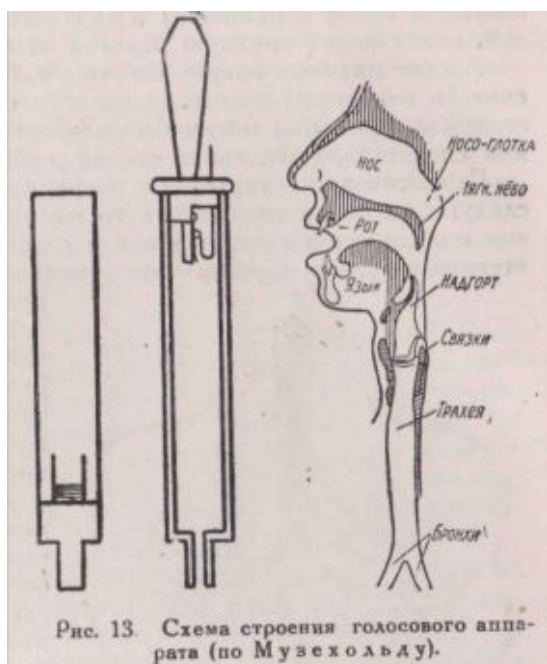


Рис. 13. Схема строения голосового аппарата (по Музею Хольду).

И все же аналогия между голосовым аппаратом человека и духовыми инструментами с язычками скорее внешнего, чем внутреннего характера, так как звуковой процесс в них протекает различно. Так, в духовых инструментах, например в органной трубке, высота звука определяется главным образом воздушным объемом резонирующей ее части, а вибрации язычка уже приспособляются к ее вибрациям, или, говоря в общем, вибрации язычка и резонирующего воздуха взаимно приспособляются друг к другу.

В человеческом же голосовом аппарате высота звука устанавливается исключительно голосовыми связками, а вышерасположенные резонаторные полости, как их обыкновенно называют, на высоту звука никакого влияния не оказывают.

Попытки установить некоторое влияние надставной трубки на высоту издаваемого голосовыми связками звука оказались несостоятельными. Надставной трубке, как резонатору, в акустическом процессе, имеющем место в голосовом аппарате, принадлежит совсем особая роль, в связи с тем, что в ротовой полости звук голоса приобретает окраску гласной и что человеческий голос органически связан со словом.

Легкие. Функцию мехов в голосовом аппарате выполняют **легкие** (рис. 14,4). Они представляют собою губкообразный орган, по

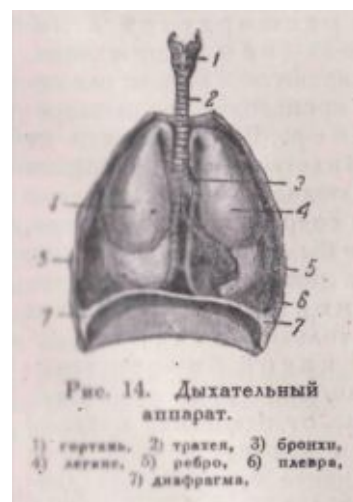
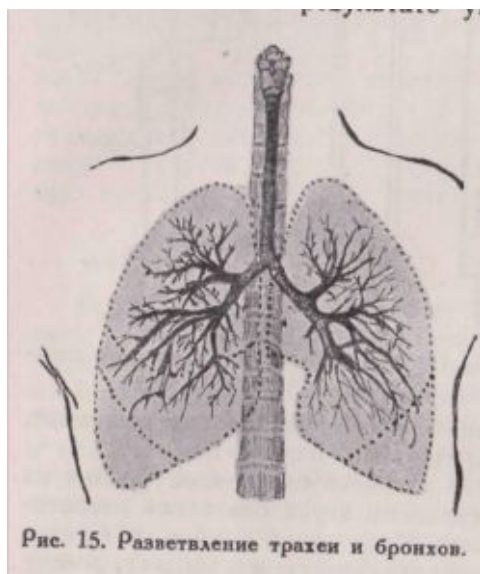


Рис. 14. Дыхательный аппарат.

1) гортань, 2) трахея, 3) бронхи, 4) легкие, 5) ребра, 6) плевро, 7) диафрагма.

форме похожий на две трехгранные пирамиды, состоящие из мельчайших пузырьков, или **альвеол**. Стенки этих пузырьков очень тонки и эластичны. В них помещается сеть кровеносных сосудов. Здесь-то и происходит обмен газов между кровью и вдыхаемым воздухом. Каждый пузырек сообщается с истоками мельчайших трубочек – **бронхиол**, которые, сливаясь, образуют **бронхи**, переходящие затем в **трахею**, оканчивающуюся **гортанью** (рис. 15), где расположены **голосовые связки**. Легкие, заключены в **грудной клетке**, а снизу ограничены **диафрагмой**, мышечной перегородкой, отделяющей грудную полость от брюшной (рис. 14,7).



Легкие лишены какой бы то ни было активности (если не считать некоторой эластической тяги самой легочной ткани), благодаря которой они могли бы расширяться, вбирая в себя воздух, или спадаться, выталкивая его из себя.

Герметически вставленные в грудную клетку, легкие пассивно следуют за ее движениями, в то же время, изменяясь в своем объеме под действием сокращения и расслабления диафрагмы. Воздух втекает в легкие в результате уменьшения внутреннего давления при их расширении. При спокойном выдохе воздух вытесняется из легких в результате расслабления дыхательных мышц. При активном выдохе воздух выталкивается сокращением ряда мышц, опускающих грудную клетку (внутренние межреберные, некоторые спинные, поперечная грудная), и в большей степени благодаря давлению брюшного пресса, выжимающего воздух из легких, при постепенном расслаблении и поднятии вверх диафрагмы.

Легкие могут расширяться во всех направлениях. При поднятии грудной кости грудная клетка расширяется в переднезаднем направлении, в этом же направлении, следуя за нею, расширяются и легкие; расширение легких в поперечном направлении происходит при расширении грудной клетки путем поднятия ребер. В зависимости от того, в какой преимущественно части грудной клетки происходит такое расширение, будут раздаваться и легкие: в области нижних, средних или верхних ребер. Купол диафрагмы при ее сокращении опускается, вследствие чего легкое удлиняется. В каком бы направлении легкие, следуя за расширением грудной клетки и за движениями диафрагмы, ни расширялись, они одновременно изменяют свой объем и в других направлениях. Вопрос только в степени

расширения легких в том или ином участке. В какой бы части грудной клетки ни произошло расширение легких, в ее движениях участвует и диафрагма. Чем выше от основания грудной клетки происходит расширение легких, тем меньшее участие принимает диафрагма, или, наоборот, чем активнее будет работа диафрагмы, тем активнее будет расширяться легкое в близлежащих к ней отрезках. Как частота и глубина дыхательных движений, так и различные формы расширения легких при дыхании, или, иначе говоря, вид или тип дыхания, находятся в зависимости от целого ряда условий: температуры воздуха, климата, положения тела, труда, конституциональных особенностей, возрастных и половых отличий, социально-бытовых условий, состояния здоровья, психики и т. д. Более сложными становятся формы дыхания при выполнении легкими функции мехов голосового аппарата.

Дыхание в жизни есть акт произвольный, рефлекторный, но вместе с тем все же могущий до некоторой степени быть подчиненным волевому импульсу (задержка дыхания, искусственное учащение дыхания, регулирование дыхания при речи и пении и т. д.). Дыхание состоит из двух неравномерных фаз: более кратковременного – вдоха и более длительного – выдоха, разделенных кратковременным покоем.

Количество воздуха, которое можно выдохнуть после глубокого вдоха, составляет 3500-4500 куб. см. Это же количество может быть использовано для форсированной фонации. При процессе спокойного дыхания вдыхается и выдыхается обычно лишь 500 куб. см. дополнительного воздуха. Примерно такое же количество может быть форсированно выдохнуто по окончании нормального выдоха (запасный воздух). После этого в легких все же остается еще около 1000 куб. см остаточного воздуха.

Давление в трахее при спокойном дыхании меняется всего на +1 см. водяного столба, при фонации оно достигает до 20 см. При форсированной фонации у певцов и при крике, особенно на высоких нотах, вероятно, получаются большие величины давления, но надежных данных и этом отношении не имеется. Произвести точные измерения очень трудно, так как единственные пути для этого – разрез трахеи (трахеотомия) и вставление специальной капсулы – для выяснения давления воздуха в трахее при пении неприменимы.

Расход воздуха при пении составляет 50-100 куб. см в секунду. При фальцете связки не смыкаются плотно, и расход воздуха больше, чем при грудном голосе, где имеет место плотное смыкание связок. Обученный певец достигает более экономного расхода воздуха.

Стенлей и Шелдон¹ показывают, что при обычном непоставленном голосе расход дыхания растет с силой звука примерно так: при пиано – 100, при средней силе – 200, при форте – 300 куб. см в секунду. Обученный же певец дает почти обратную картину: при пиано – 400, при средней силе – 100 и при форте – 200 куб. см в секунду.

Зная величину расхода воздуха в секунду и давление в трахее, можно подсчитать мощность (энергию), затрачиваемую на голосообразование.

Рисс², экспериментировавший в этой области в связи с устройством искусственной гортани, находит при фонации длительной гласной со средней силой расход воздуха 125 куб. см. в секунду и давление в 4 мм ртутного столба.

По теории, развитой Работновым³, в процессе выдоха большую роль играет сокращение произвольной гладкой мускулатуры бронхов при пении, так как,

согласно его теории, этим моментом главным образом определяется плавность выдоха, столь необходимая при пении.

Из

легочных альвеол выдыхаемый воздух по системе трубок, бронхиол и бронхов поступает в общую трубку – трахею, а затем гортань; при обыкновенном выдохе (когда голосовая щель открыта) воздушная струя беззвучно через гортань поступает в рот и выходит наружу;

при речи и пении (когда голосовая щель закрыта) производит звук.

Тем обстоятельством, что гортань



Рис. 17. Гортань сверху.

- 1) Надгортанник. 2) Щитовидный хрящ. 3) Перстневидный хрящ. 4) Первое кольцо трахеи. 5) Второе кольцо трахеи. 6) Черпаловидный хрящ. 7) Задняя перстне-черпаловидная мышца. 8) Межчерпаловидная (поперечная) мышца. 9) Косая межчерпаловидная мышца. 10) Надгортанно-черпаловидная связка. 11) Большой рожок щитовидного хряща.

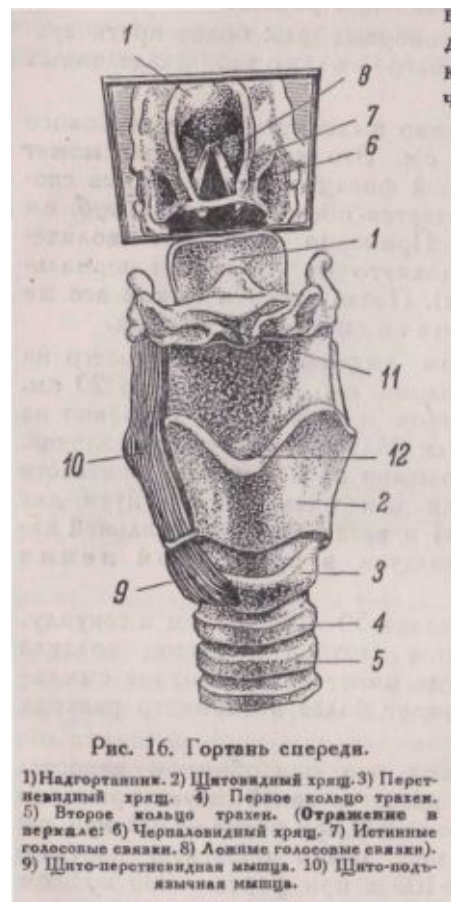


Рис. 16. Гортань спереди.

- 1) Надгортанник. 2) Щитовидный хрящ. 3) Перстневидный хрящ. 4) Первое кольцо трахеи. 5) Второе кольцо трахеи. (Отражение в зеркале: 6) Черпаловидный хрящ. 7) Истинные голосовые связки. 8) Ложные голосовые связки. 9) Щито-перстневидная мышца. 10) Щито-подъязычная мышца.

¹ D. Stanley and H. Sheldon, „Scient. American,” Dec, p. 381, 1924

² R. Riesz, „Journ. Acoust. Soc”, 1, p. 273. 1930.

³ Л.Д. Работнов, Основы физиологии и патологии голоса певцов. Музгиз, 1932

служит не только частью дыхательного органа, но и в качестве голосового инструмента, обуславливается чрезвычайная сложность ее структуры.

К тому же гортань, граничит еще с глоткой и связана с актом глотания, что еще более усложняет ее функции.

Из этого следует, что у гортани должны быть сложные приспособления, которые давали бы ей возможность выполнять свои разнообразные и тончайшие функции. Такими приспособлениями служат системы связок, суставов и мускулов, соединяющих гортань не только с ее соседними органами, но и отдельные части ее между собою. Прежде чем перейти к рассмотрению этих приспособлений, необходимо познакомиться со скелетом гортани.

Гортань состоит из трех одиночных хрящей: **гортанной крышки**, или **надгортанника**, **щитовидного** и **перстневидного хряща** и трех небольших парных хрящей: **черпаловидных**, **Санториниевых** и **Врисберговых** (последние два названы по имени исследовавших их ученых).

Ближайшим к дыхательному горлу (трахее) является перстневидный, или кольцевидный хрящ (рис. 16,3, 17,3 18,5, 19,7)

Он называется еще **основным** хрящом, потому что на нем расположен весь скелет гортани. Он напоминает кольцо с печатью; узкая полоска кольца смотрит вперед и мало чем отличается от колец дыхательного горла. Посредством связок и мускулов этот хрящ связан с нижним краем вышележащего щитовидного хряща.

Восьмиугольная пластинка кольца перстневидного хряща смотрит назад и связана внизу суставом с нижними рогами щитовидного хряща, между тем как к ее верхним углам прикреплены суставом оба черпаловидные хряща; последние представляют собою две маленькие пирамиды, каждая с двумя отростками (рис. 16,6, 17,6, 19,4). Из этих отростков два направлены вниз и кнаружи: мускульные отростки (рис. 19,7), к ним прикреплены важнейшие мускулы, открывающие и закрывающие **голосовую щель**, и два кверху и вперед: это **голосовые отростки**, к которым прикрепляются задние концы **голосовых связок**, или иначе – **голосовых губ**. Черпаловидные



Рис. 18. Гортань (передняя половина при рассмотрении ее сзади).
1) Надгортанник. 2) Ложные голосовые связки. 3) Истинные голосовые связки.
4) Щитовидный хрящ. 5) Перстневидный хрящ. 6) Кольца трахеи.

хрящи называются также *устанавливающими* хрящами, потому что от их положения зависит открывание и закрывание голосовой щели. Если смотреть на гортань спереди, то над перстневидным хрящом лежит щитовидный, составляющий основную массу гортани и защищающий ее, действительно, как щит. К внутренней поверхности щитовидного хряща, приблизительно по его середине, прикреплены передние концы голосовых связок, которые оказываются таким образом протянутыми между щитовидными и черпаловидными хрящами. По своему назначению щитовидный хрящ называется *натягивающим* хрящом, потому что его движение по направлению к перстневидному хрящу натягивает голосовые связки. По мнению некоторых исследователей, при напряжении голосовых связок неподвижным остается щитовидный хрящ, перстневидный же поднимается кверху по направлению к щитовидному.

Щитовидный хрящ состоит из двух почти четырехугольных хрящевых пластинок, скрещивающихся по средней линии шеи почти под прямым углом (рис. 16,2. 17,2, 18,4, 19,3). У мужчин этот угол равен 90° , у женщин – 120° . Это место обыкновенно называется Адамовым яблоком; Адамовым потому, что оно явственно заметно только на мужской шее. Именно тупой угол женского щитовидного хряща, большая округленность и полнота женской шеи не дают гортани так резко выступать, как у мужчин.

Гортанная крышка, надгортанник, опирается своим острым концом в верхний угол щитовидного хряща, верхним краем свободно смотрит в глотку, а наружным краем соединяется с корнем языка (рис. 16,1, 17,1, 18,1, 19,1)

Гортань лежит по середине шеи, между корнем языка и дыхательным горлом, приблизительно на высоте от 3-го до 6-го шейного позвонка, почти под самой кожей. По бокам гортани, отчасти ее покрывая, расположен ряд мускулов, осуществляющих возможность свободного ее движения как вверх, так и вниз. Мышцы эти: **щитогрудинная**, прикрепляющаяся верхним концом к щитовидному хрящу, а нижним к грудице, **грудинно - подъязычная** (между грудной и подъязычной костью) — опускает гортань в целом, и **щитоподъязычная** (между щитовидным хрящом и подъязычной костью, рис. 16,10) — поднимает гортань.

Весь остов гортани заключен в упругую перепонку, образующую в некоторых местах особые связки.

Эта перепонка, в свою очередь, выложена снаружи красной слизистой оболочкой, подобной той, которой выложена полость рта и носа. Из образуемых упругой перепонкой связок наибольшее значение имеют **истинные голосовые связки**, проходящие в виде двух белых тяжей приблизительно через середину гортани. Они берут начало в переднем углу щитовидного хряща, у небольшого

хрящевого нароста, где обе вместе прикреплены совершенно неподвижно, направляются кзади и прикрепляются там, как уже сказано выше, к обоим черпаловидным хрящам, которые приводят их в движение. Над каждой истинной голосовой связкой помещается небольшой мешочек – **Морганиев желудочек** (рис.25,*a*), в слизистой оболочке которого расположен ряд желез, увлажняющих и смягчающих слизистую оболочку голосовых связок. Морганиевы желудочки отделяют истинные голосовые связки от так называемых **ложных голосовых связок**, представляющих собой две складки слизистой оболочки, протянутые в том же направлении, как и истинные голосовые связки, но расположенные несколько выше (рис. 16,8, 18,2, 22,2 25,2)

Ложные связки прямого отношения к голосу не имеют, но в некоторых случаях все же принимают участие в голосообразовании – именно тогда, когда истинные голосовые связки почему-либо не функционируют, или при функциональных расстройствах голоса. Голосовые связки суть, однако, лишь эластические перепонки, покрывающие лежащие под ними вокальные (голосовые), или, иначе, **щиточерпаловидные мышцы**, крепко с ними спаянные. Эти мышцы, как это видно из их названия, прикрепляются там же, где и покрывающие их связки, т.е. к внутреннему углу щитовидного хряща и к голосовым отросткам черпаловидных хрящей. Таким образом, название голосовые связки неточно определяет их структуру. Поэтому в последнее время их называют также **голосовыми губами** (Музехольд).

В виду необычайной тонкости и сложности работы голосовых связок при звукообразовании включенные в них голосовые мышцы устроены очень своеобразно и чрезвычайно сложно.

Голосовые мускулы отличаются от всех других мускулов человеческого тела тем, что в глубине их начинается и кончается большое количество мускульных волокон, причем волокна идут в самых разнообразных направлениях: горизонтальном, вертикальном и косом. Благодаря такой структуре осуществляется возможность, при частичном сокращении отдельных волокон, бесконечного разнообразия форм сокращения и внутреннего напряжения голосовых связок. При сокращении отдельных пучков мышечных волокон могут колебаться (звучать) отдельные отрезки голосовых связок, подобно тому, как это имеет место при прижатии пальцем струны скрипки. Благодаря косвенному направлению отдельных пучков, поскольку они действуют самостоятельно, голосовой мускул может расслабляться в отдельных частях, в то время как другие, части будут сохранять свое напряжение, и т. д. Не остается без влияния на свойства

колебаний голосовых губ и наличие эластических волокон в голосовых связках.

Для других наиболее важных мышц гортани, имеющих прямое отношение к голосу, надо отметить мышцы: 1) *открывающие голосовую щель*, 2) *закрывающие голосовую щель* и 3) *натягивающие или напрягающие голосовые связки* (впрочем, мускулы, напрягающие голосовые связки, в известном смысле относятся также к закрывающим голосовую щель).

К первым относится мускул, соединяющий черпаловидный хрящ с перстневидным, расположенный сзади, так и называемый **черпало-перстневидным задним**; это наиболее мощная из всех внутренних мышц гортани (рис. 17,7)

Ко вторым, т. е. закрывающим голосовую щель, относятся:

1) мускул между черпаловидным и перстневидным хрящами, но расположенный сбоку, так называемый **черпало-перстневидный боковой**;

2) мускул, соединяющий сзади оба черпала, так называемый **поперечный**, или **межчерпаловидный** (рис. 17,8), и расположенный на нем перекрестный, или кривой (рис. 17,9). Наконец, натягивает голосовые связки мускул, соединяющий перстневидный и щитовидный хрящи, так называемый перстне-щитовидный, или передний мускул (рис. 16,9, 19,6)

Нервами гортань снабжается от блуждающего нерва через посредство его ветвей — **верхнегортанного** и **нижнегортанного**, или **возвратного** нервов. Верхнегортанный нерв — чувствительный, только его наружная ветвь представляет собой двигательный нерв, иннервирующий единственный мускул — именно щито-перстневидный, или передний мускул.

Нижнегортанный, нерв снабжает двигательными волокнами все внутренние мышцы гортани, за исключением щито-перстневидной, которая, как уже сказано, иннервируется от наружной ветви верхнегортанного нерва.

Центры фонаторной работы гортани еще мало изучены. Предполагается, что они находятся в разных пунктах головного и продолговатого мозга. Определенно доказано, что один из центров расположен в лобной доле мозга, в первой ее извилине.

Вся гортань в целом подвешена к подъязычной кости, а последняя связана с нижней челюстью и дном полости рта мышцами, прикрепленными одним концом к подъязычной кости, а другим — к дну полости рта и к нижней челюсти, чем и объясняется теснейшая связь между движениями нижней челюсти и языка и движениями гортани. Не менее тесно она связана также с мышцами глотки и всей полости рта.

Над гортанью расположен рот с глоткой и носоглоткой и полость носа со всеми его придаточными полостями, т.е. та часть

голосового аппарата, которая считается надставной, или резонаторной, его трубкой.

Полость глотки лежит позади полости рта и носа и имеет вид воронки, обращенной верхушкой вниз (рис. 20,15). В верхней своей части глотка сообщается с полостью носа посредством двух отверстий, так называемых **хоан** (рис. 24). Сбоку от последних находятся с каждой стороны маленькие отверстия, ведущие в Евстахиеву трубу, посредством которой ухо (барабанная полость) сообщается с глоткой (рис. 20,12). Спереди глотка сообщается с полостью рта; ниже лежит вход в гортань, непосредственно за которым находится отверстие, ведущее в пищевод.



Рис. 20. Разрез головы.

- 1) Лобная пазуха. 2) Верхняя носовая раковина.
- 3) Средняя носовая раковина. 4) Нижняя носовая раковина. 5) Верхняя губа. 6) Верхняя челюсть (твердое небо). 7) Нижняя губа. 8) Язык. 9) Основная пазуха. 10) Верхний носовой ход. 11) Средний носовой ход. 12) Отверстие Евстахиевой трубы. 13) Нижний носовой ход. 14) Мягкое небо. 15) Миндалины.
- 16) Надгортанник. 17) Истинные голосовые связки. 18) Щитовидный хрящ. 19) Перстневидный хрящ. 20) Трахея.

Если мягкое небо настолько отодвигается назад, что соприкасается с задней стенкой глотки (что, между прочим, происходит при акте глотания), то глотка разделяется на две части: верхнюю (носоглоточную), сообщающуюся с полостью носа посредством хоан, и нижнюю (глоточно-гортанную), ведущую в полость глотки и гортани.

Боковые стенки глотки образуются мускулами, расположенными в поперечном направлении и называемыми **сжимателями глотки**.

Нижний отдел этих мышц прикрепляется к боковым и задним стенкам гортани.

Переднюю стенку глотки составляет мягкое небо (рис. 20,14, 21,7), отделяющее, как выше указано, носоглотку от собственно глотки. В носоглотке, на верхней ее стенке имеется небольшая железа, иногда увеличивающаяся до того, что закрывает хоаны и мешает свободному прохождению воздуха через носовую полость; это так называемые **аденоидные разрастания**, или **аденоиды**, требующие при значительном их увеличении оперативного вмешательства.

Полость рта сверху ограничена **твердым** (рис. 20,6) и **мягким небом**, снизу — мышцами, идущими от внутренней поверхности дуги нижней челюсти, и языком, спереди — деснами и зубами, с боков, помимо десен с зубами, еще

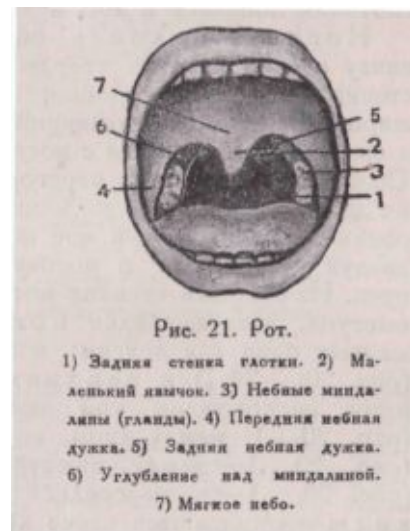


Рис. 21. Рот.

- 1) Задняя стенка глотки. 2) Маленький язычок. 3) Небные миндалины (гланды). 4) Передняя небная дужка. 5) Задняя небная дужка. 6) Углубление над миндалинной. 7) Мягкое небо.

щеками; сзади – отчасти мягким небом; сзади полость рта соединяется с глоткой.

Отверстие, соединяющее рот с глоткой, ограниченное с боков так называемыми небными дужками (рис. 21,4 и 21,5), а сверху – краем мягкого неба с маленьким язычком (рис. 21,2), называется **зевом**.

Пространство между передней поверхностью десен и губами называется **преддверием рта**.

Заостренный передний конец языка, свободно лежащий в полости рта, называется **кончиком языка**, а задняя его часть, прикасающаяся к передней поверхности надгортанника, называется его **корнем**. Нижняя поверхность языка связана при помощи складки слизистой оболочки, называемой **уздечкой**, с дном ротовой полости.

Выше было упомянуто о небных дужках. Они образуются двумя парами тонких мышц, соединяющих мягкое небо с корнем языка и с боковыми стенками глотки.

Между передними и задними небными дужками, по обе стороны зева, лежит по одной небной миндалине (**гланды**, рис. 21,3)

Мягкое небо, оканчивающееся маленьким язычком, состоит из мышц, дающих ему подвижность, возможность подниматься, натягиваться, расширяться, а при глотании совершенно отделять носоглотку от глотки. При параличе его мышц пища при глотании попадает в нос, а звук приобретает гнусавый характер.

Носовая полость образуется лицевыми костями черепа, снизу ограничивается твердым небом, а сверху – нижней костной стенкой мозговой коробки; носовая полость представляет собой широкий канал, открывающийся, спереди на лице двумя ноздрями, а сзади соединяющийся с носоглоткой через описанные выше хоаны. Полость носа делится перегородкой, состоящей из хряща и костей, на две половины. Продолжение или передний выступ этой перегородки делит наружный нос на две части – ноздри, через которые воздух и поступает в носовую полость, а затем в дыхательные пути. На боковых стенках носовой полости имеется по три костных выступа, называемых **носовыми раковинами** и расположенных один над другим: нижняя (рис. 20,4, 24,3) средняя (рис. 20,3, 24,2) и верхняя (рис. 20,2, 24,1) раковины. Между ними расположены три канала – носовые ходы: нижний (рис. 20,13) – между дном носа и нижней раковиной, средний (рис. 20,11) – между нижней и средней раковиной и верхний (рис. 20,10) – выше средней раковины. Эти каналы – **носовые ходы** – сообщаются через хоаны с носоглоткой.

С полостью носа сообщаются 4 пары так называемых придаточных полостей: 2 Гайморовы, лежащие в скуловых костях,

2 лобные – над глазницами и 2 основные, расположенные над сводом носоглотки. (Сюда же относится и решетчатый лабиринт, открывающийся в средний и верхний носовые ходы.)

Весь дыхательный тракт выстлан тонким покровом красного цвета, называемым слизистой оболочкой, в толще которой заложены маленькие железки, выделяющие ту слизь, которую эта оболочка покрыта по всей своей поверхности. Отсюда и название – **слизистая оболочка**.

Эта оболочка в области раковин особенно богата кровеносными сосудами и слизистыми железами. Наиболее истонченной слизистая оболочка является на поверхности голосовых связок.

Вдыхаемый через нос воздух освобождается, благодаря расположенным у самого входа в нос волоскам, от всяких находящихся в воздухе частиц и затем, проходя по узким проходам между раковинами, также очищается, как бы фильтруется.

Если воздух сух, то он увлажняется имеющейся в носу влагой; слишком холодный воздух здесь согревается. Дыхание через нос тем именно полезнее дыхания через рот, что в последнем случае воздух не успевает очиститься, увлажниться и согреться раньше, чем попадет в дыхательные пути.

Кроме того, дыша носом, мы при помощи окончаний обонятельного нерва, расположенных в среднем и верхнем носовых ходах, ощущаем запах. При наличии в воздухе вредных примесей мы, можем своевременно обнаружить их обонянием.

В то время как полость рта доступна непосредственному осмотру, для исследования полости носа и носоглотки, а главным образом гортани, необходимы специальные способы с применением отражающих зеркал. Только с открытием последних⁴ стало доступным и возможным построить науку о лечении болезней горла и носа и повести систематическое объективное изучение голосового аппарата.

Если ввести гортанное зеркало в рот над высунутым языком и



поместить его под язычок над входом в гортань, то в нем отразятся внутренние части гортани, обычно скрытые у основания языка и прикрытые надгортанником. То, что на самом деле находится спереди, покажется в зеркале наверху;



⁴Гортанное зеркало, ларингоскоп, изобретено знаменитым профессором, Эммануилом Гарсна в 1855г.

то, что лежит сзади, – внизу. Сверху изображение ограничено основанием языка, к которому прилегает отвернутый край надгортанника (рис. 23,1). Ниже, при дыхании, видна голосовая щель (рис. 22,5) в виде равнобедренного треугольника; по бокам голосовая щель ограничена голосовыми связками, отличающимися от прочей красной слизистой оболочки гортани своим белесоватым (перламутровым) сухожильным цветом. При произведении звука голосовая щель закрыта (рис. 23), а связки представляются в виде двух полосок, плотно примыкающих друг к другу. Через голосовую щель (при дыхательном положении) часто видна еще передняя стенка дыхательного горла (рис. 22,5)-

Для исследования носоглоточного пространства язык



Рис. 24 .Задняя риноскопия.

1) Верхняя носовая раковина. 2) Средняя носовая раковина. 3) Нижняя носовая раковина. 4) Язык. 5) Устье Евстахиевой трубы. 6) Носовая перегородка, по бокам от нее в виде овалов расположены хоаны.

шпателем (лопаточкой) или ложкой придавливается книзу, и за небную занавеску с язычком вводится маленькое гортанное зеркальце, в котором тогда видна задняя часть язычка и небной занавески, а над ними – задние носовые отверстия – хоаны, отделенные одна от другой носовой перегородкой (рис. 24,6); в глубине каждой из них видны концевые части трех раковин. С обеих сторон видны отверстия Евстахиевых труб, соединяющих глотку с ушами, а наверху – глоточный свод. При исследовании носа спереди в ноздрю вводится

носовое зеркало, благодаря которому можно видеть носовые раковины, носовые ходы и носовую перегородку.

Рассматривая голосовой аппарат человека по схеме язычковой духовой трубки, мы видим, что он обладает всеми составными частями, необходимыми для звукообразования в такого рода инструментах. Уяснив, каким образом в этих инструментах возникает звук, мы должны ознакомиться с работой гортани как звукообразующего аппарата. Образование звуков в гортани происходит следующим образом: голосовые связки, расходящиеся при дыхании и образующие равнобедренный треугольник, через который беззвучно проходит вдыхаемый и выдыхаемый воздух (рис. 22), при произведении звука настолько приближаются друг к другу соответствующими мускулами, что голосовая щель совершенно закрывается (рис. 23). Поступающая под определенным давлением из легких струя воздуха размыкает голосовые связки, которые тогда раздаются в стороны, в то же время несколько подымаясь кверху, и на миг раскрывают

голосовую щель; затем, в силу своей эластичности, а также потому, что давление в подсвязочном пространстве, вследствие утечки некоторого количества воздуха, несколько уменьшается, голосовые связки возвращаются временно в первоначальное состояние, и голосовая щель закрывается. Давление в дыхательном горле опять увеличивается, закрытая голосовая щель снова открывается, и только что описанный процесс начинается снова. Таким образом приходят в колебание как голосовые связки, так и проходящий через гортань воздух.

Тонндорф⁵ рассматривает процесс образования звука в гортани как *аэродинамический феномен*, заключающийся в том, что воздушный ток, раскрывающий голосовую щель, сам тотчас же образует силу, смыкающую голосовые связки; эта сила облегчает механическую работу связок, давая им возможность колебаться без усталости в течение многих часов.

По мнению Вейса⁶, после первых *нерегулярных* колебаний голосовых связок у голосовой щели возникают воздушные вихри, которые, главным образом, и дают энергию для колебаний голосовых связок.

Эвальд⁷ считает, что фаза смыкания голосовых связок является следствием *активных* сокращений голосовых мышц.

Тарно⁸ рассматривает голосовые связки как вибрирующий аппарат, совершающий *апериодические* колебания. Только благодаря той поддержке, которую возбужденными колебаниями голосовых связок и потому периодически вибрирующий воздух ротовой полости оказывает голосовым связкам при фонации, колебания последних приобретают необходимую периодичность, а образующейся голосовой тон – определенную музыкальную высоту.

Точка зрения Эвальда, что фаза смыкания является следствием активных сокращений голосовой мышцы, вызвала ряд возражений, сводившихся к следующему.

Электрическое раздражение голосового мускула дает максимально 20 сокращений в секунду, при фонации же период колебаний связок доходит до 1/1000 сек., точнее до 1/1034 сек. Никогда не приходилось наблюдать колебаний связок, если одновременно не было струи воздуха. Вогнутая поверхность голосовых связок при их движении вверх тоже говорит против активного сокращения голосовых мышц при фонации. Голосовая мышца содержит в себе очень мало поперечных волокон. Структура средней части голосовых связок, имеющей наибольшую

⁵ Tonndorf, Zur Physiologie des Menschlichen Stimmorgans « Zschr. für Hals-Nasen-und Ohrenheilkunde », 1929.

⁶ Weiss, Zur Functionsfrage der Stimmlippen, „Menschl. Ohrenheilkunde“ Bd. 64, 1930

⁷ Цит. по Tonndorf, Zur Physiologie u.s.w., 1929

⁸ Tarneaud et Husson, La mécanique des cordes vocales dans la phonation, « Rev. de laryng. etc. », Vol. 53. 1932

амплитуду, такова, что она совершенно исключает возможность активных колебаний связок. Движения голосовых связок происходят с точностью, не имеющей себе примеров в общей физиологии и мыслимой только в тончайших физических приборах. Простыми физическими опытами можно доказать, что прямолинейная струя воздуха только после периодических прерываний приобретает силу, которая может, например, заставить язычок духового инструмента перейти за пределы положения покоя и даже двигаться в направлении, противоположном движению воздушной струи. После первых нерегулярных колебаний голосовых связок у голосовой щели возникают воздушные вихри, поддерживающие пассивные колебания голосовых связок.

Происходящие вследствие смыкания и размыкания связок периодические сгущения и разрежения воздуха вызывают при помощи слухового аппарата звуковые впечатления. Чем сильнее струя воздуха, ударяющаяся о голосовые связки, тем больше размах, амплитуда колебаний последних, тем сильнее, следовательно,

звук.

Если произвести разрез через гортань справа налево, то можно отметить один момент, способствующий звукообразованию (рис. 25):



гортанная полость имеет здесь вид песочных часов, причем выступающие голосовые связки образуют их горлышко, а голосовая щель является как бы горлышком бутылки. Благодаря такому устройству, струя воздуха из дыхательного горла, постепенно суживаясь и заостряясь на пути к голосовым связкам, приобретает достаточную силу для того, чтобы преодолеть создаваемое сомкнутыми эластичными голосовыми связками сопротивление.

Колебания голосовых связок и заключенного в гортани воздуха образуют звуковые волны, направляющиеся в расширяющуюся кверху полость, т. е. в надставную трубку голосового аппарата.

До этого момента аналогия между гортанью и духовой язычковой трубкой была очевидна. Каким образом, однако, гортань может с помощью одного только колеблющегося язычка

(потому, что голосовые связки действуют как один двойной язычок) издавать звуки столь различной высоты? Как известно, высота звука зависит от продолжительности отдельных колебаний или, что то же самое, от длины звуковых волн. Чем короче струна (точно так же и колеблющийся столб воздуха), тем выше звук (при равном напряжении).

Чем больше струна натянута (при одинаковой длине), тем тон выше, потому что большая натянутость струны сокращает продолжительность колебания. По этому закону действуют все существующие струнные музыкальные инструменты. У тех из музыкальных инструментов, у которых звук возникает только вследствие колебаний воздуха (флейта и другие духовые музыкальные инструменты), изменение длины колеблющегося воздушного столба совершается при помощи особых боковых отверстий в трубе, закрываемых пальцами или специальными крышками. Различная длина, натяжение и, кроме того, еще и толщина струн использованы, например, у рояля, арфы, лютни, чем и объясняется своеобразная форма последних. Другие инструменты пользуются струнами различного натяжения, но постоянной основной длины, которая, однако, тоже может быть изменена нажимом пальцев, например, при игре на гитаре.