

РАУЛЬ ЮССОН

ПЕВЧЕСКИЙ ГОЛОС

ИССЛЕДОВАНИЕ
ОСНОВНЫХ
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ
И АКУСТИЧЕСКИХ
ЯВЛЕНИЙ
ПЕВЧЕСКОГО
ГОЛОСА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МУЗЫКА»
МОСКВА 1974

Книга Рауля Юссона «Певческий голос», дополненная некоторыми разделами его диссертации «Исследование основных физиологических и акустических явлений певческого голоса», выходит впервые на русском языке. Труды Юссона приобрели за рубежом и в Советском Союзе заслуженную и широкую известность. В предлагаемой читателю книге дан анализ всех основных методов постановки голоса и различных типов вокальной техники с объективных позиций акустики и физиологии. Поэтому в качестве введения книге предпослана статья Е. Рудакова «Рауль Юссон и его исследования», в популярной форме раскрывающая основные научные идеи Юссона и его отношение к вопросам вокального искусства. Публикуемые работы вызовут интерес широких кругов педагогов-вокалистов, а также исполнителей.

Ю 90925—141
026(01)—74 596—74

© Издательство «Музыка», 74 г. Перевод. Введение

РАУЛЬ ЮССОН И ЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Введение

Труды выдающегося французского ученого Рауля Юссона в 50-е годы XX века приобрели всемирную известность и вызвали множество плодотворных исследований, посвященных механизмам голосообразования. С 1924 года им было опубликовано более 180 исследовательских работ, книга «Певческий голос» (1960), большой труд «Физиология фонации» (1962) и две диссертации. За первую диссертацию, «Исследование основных физиологических и акустических явлений певческого голоса» (1950), Юссону была присуждена степень доктора естественных наук, а за вторую — «Теоретические и экспериментальные исследования гортанной сирены и дополнения к теории рупора» (1965) — степень доктора физических наук. Последняя работа — наиболее интересное и перспективное приложение математического аппарата современной физики к изучению процессов фонации.

Юссон был основателем и генеральным секретарем Французской ассоциации по изучению фонации и языка, читал лекции в Сорбонне, а последние годы жизни занимал еще высокий руководящий пост в Национальном центре научных исследований.

Интерес Юссона к проблеме вокального искусства не является случайностью, так как он был не только пытливым ученым, но и весьма одаренным оперным певцом, получившим профессиональное образование в консерватории Нанси.

Рауль Юссон родился в 1901 году в небольшом городке Корсно в Вогезах. Мать его была родом из Эльзаса, а отец — из Лотарингии. Вогезы и Лотарингия — это края горнорудной промышленности, тяжелого и напряженного труда, своего рода символ сурового и упорного трудолюбия. Поэтому не случайно доктор Э. Гард, характеризуя своего друга Юссона, не забывает упомянуть о его вогезском происхождении: «Это был самородок, стихийное творение природы, многогранный талант, соединенный с глубокими знаниями, культурой, любознательностью, точным и подчас парадоксальным мышлением. Видно, это редкое соединение качеств позволило Юссону создать работы, приковавшие своей глубиной и значением внимание научного мира. Возможно, вогезское происхождение Юссона подчас заставляло его прятать под личиной суровости свое исключительное добродушие и чувствительность. Но близкие к нему люди постоянно ощущали человеческую теплоту, которую он излучал».

Семья Юссонов жила на скромные заработки отца, работавшего педагогом в средней школе. Мировая война 1914 года явилась переломным моментом в

безмятежной провинциальной жизни Рауля: весной 1914 года умерла его мать, а через несколько месяцев отец был мобилизован в армию. Заботу о воспитании мальчика взяли на себя жившие в Нанси родители его матери. Хотя после войны отец Рауля женился вторично и не оказывал влияния на жизненный путь сына, все же и 50 лет спустя воспоминания Юссона о родителях всегда были окрашены теплыми интонациями.

«У нас во Франции всегда высоко ценили искусство и культуру русского народа и смотрели на Россию как на «великую сестру» маленькой Франции. Мой отец и моя мать разделяли эти общие чувства, и когда я в 1901 году появился на свет, то мне дали два имени: одно французское — Рауль, а другое типично русское — Николай. Итак, я зовусь Николай Рауль Юссон». Искреннее восхищение Россией, положением науки в Советском Союзе является лейтмотивом многих писем Юссона. На героический полет Юрия Гагарина в космос в апреле 1961 года Юссон откликнулся немедленно: «Прежде всего я хочу Вам сказать, с каким огромным восторгом народ моей страны встретил подвиг Юрия Гагарина и Ваших ученых. Ваши достижения в области освоения космического пространства абсолютно ни с чем не сравнимы. Я не знаю никого в СССР, с кем бы еще я мог поделиться своей радостью»¹.

Сложившиеся еще в детстве симпатии Юссона к России, видимо, определили и его политические позиции во время второй мировой войны: в годы фашистской оккупации Франции он примкнул к движению Сопротивления и пять лет, с 1940 по 1945 год, провел в гитлеровских тюрьмах.

В 1921 году Юссон в Нанси закончил свое среднее образование, а позднее и консерваторию. Одаренному юноше, обладавшему пытливым аналитическим умом исследователя, к тому же музыкальными способностями и профессиональным певческим голосом, предстояло сделать выбор между искусством и наукой. Избежать мучительных раздумий при решении этой трудной дилеммы помогла ему счастливая случайность — встреча и сближение с профессором пения Альбертом Лабрие (1875—1930), который был не только выдающимся певцом и педагогом, но и талантливым ученым². Для Юссона класс профессора Лабрие оказался одновременно и школой пения, и школой физики. Ученика и учителя на много лет связала дружба, любовь к пению и страсть к научным исследованиям.

Однако Юссон быстро понял, что никакие серьезные исследования в области физики и акустики певческого голоса без глубоких знаний математики невозможны, — в 1921 году он едет в Париж, выдерживает сложнейшие конкурсные испытания и поступает в знаменитую Высшую нормальную школу, питомцами которой были наиболее выдающиеся математики и физики Франции. Позднее на бланках, научных трудах, перед учеными степенями Юссон на первое место поставит: «бывший ученик Высшей нормальной школы».

О студенческих годах Юссона имеется одно интересное воспоминание его однокурсника, директора Парижской обсерватории Поля Кудрека: «Молодой

¹ Приводимые здесь и в других разделах различные высказывания Р. Юссона извлечены из его писем к автору этой статьи. Некоторые дополнительные сведения биографического характера сообщены также в письмах доктором Э. Гардом и директором Парижской консерватории профессором П. Кудреком. Письма Р. Юссона, охватывающие последний период его жизни (1957—1967 годы), содержат обширный материал о его творческих замыслах, настроениях и личных делах. В дальнейшем выдержки из писем даются без сносок.

² См. о нем: «Певческий голос», § 119.

Юссон был высокий блондин, почти альбинос, очень подвижный, обладавший обаятельной улыбкой и заразительным смехом. Первые годы я почти ежедневно встречался с ним, наши беседы затягивались на много часов, но постепенно различные интересы отдалили нас друг от друга. Он любил шутки, остроумие, увлекался различными играми, виртуозно играл в бильярд и даже написал учебник шахматной игры. С удивительной ловкостью он показывал фокусы и нередко забавлял студентов остроумными мистификациями.

Сейчас во всем мире известна блестящая плеяда французских математиков, носящая довольно загадочное название — «школа Бурбаки». Мало кто знает, что крестным отцом этой «школы» был Рауль Юссон. Это была очередная шутка и мистификация Юссона, — добавляет П. Кудрек, — неожиданно оказавшаяся плодотворным стимулом развития современной математической мысли. Эта «шутка» Юссона пережила столетия и достойна занять место в истории науки. Поэтому расскажем о ней некоторые подробности.

Однажды Юссон, будучи еще студентом старшего курса, собрал новичков-первокурсников Нормальной школы и с важным, озабоченным видом сообщил, что он будет читать им лекции о доказательстве «теоремы Николая Бурбаки». Новички приняли его за молодого профессора и с восхищением слушали импровизации Юссона о несуществующей в действительности «теореме Бурбаки». Юссон утверждал, что над доказательством этой теоремы, так же, как и над теоремой Ферма, безуспешно бились все выдающиеся математики мира, и выразил надежду, что работа над этой теоремой будет способствовать развитию математической фантазии. Видимо, Юссон так вдохновенно импровизировал, что кружок молодых «математических фантастов» не распался, а вырос в большую математическую школу. Ныне на витринах книжных магазинов нашей страны можно увидеть объемистые математические труды с довольно странной фамилией автора — «Николай Бурбаки». Так из шутки Юссона возник этот псевдоним, под которым большая группа французских ученых выпускает энциклопедию современной математики.

В 1924 году Юссон закончил Нормальную школу и получил ученую степень «лиценциата математических наук»¹, но на этом не остановилось его формирование как научного и общественного деятеля. Занимая до 1940 года различные административные должности, Юссон начинает специализироваться в области физиологии фонации: он проводит исследования при поддержке Л. Лапика, А. Мулонге и ряда других известных ученых. Война и оккупация Франции прервали на несколько лет научную работу Юссона, и только к 1950 году он смог подвести итоги своих прошлых исследований и привлечь внимание ученых всего мира к новым проблемам физиологии фонации.

Одно из последних писем 1967 года, судя по ироническим замечаниям в адрес фонетиков и речевиков, заставляло предполагать, что Юссон собирается начать какое-то новое и, возможно, весьма обоснованное наступление на общепринятые теории. Юссон писал:

«Я теперь немного отошел от гортани и занялся исследованием речи. Эти исследования более трудны, особенно в части «церебральной». Я написал по этому вопросу достаточно пространное исследование. Сейчас я правлю корректурные листы и постараюсь прислать Вам оттиск до апреля или мая». Дальше следовало краткое изложение ошибочных концепций речевиков, которое закан-

¹ Лицензиат — ученая степень, средняя между степенью бакалавра и доктора.

чивалось фразой: «И в течение 50 лет эта чепуха переписывалась всеми последующими авторами!» В конце письма Юссон, как бы оправдываясь, добавил: «Вот видите, я опять «сокрушаю идолов»...».

Летом переписка внезапно оборвалась, и вскоре из Франции пришло известие, что в приморском курортном городке Сабль де Лон при переходе улицы Рауль Юссон был сбит проезжавшим автомобилем.

23 сентября 1967 года ученые Франции проводили его в последний путь.

О нейрохронактической теории Р. Юссона

История науки — это не только постепенное накопление изобретений и открытий, смена старых теорий совершенно новыми, но во многих случаях ожесточенная борьба прогрессивных идей с идеями, отжившими свой век. Еще М. В. Ломоносову было очевидно, что основным условием научного прогресса в первую очередь должно быть преодоление общепринятых, претендующих на непогрешимость теорий. Он писал, что от «слепого прилепления» к мнениям Аристотеля науки больше, «нежели от тогдашних беспокойств, претерпели»¹.

Каждое новое поколение ученых не может критически пересматривать все научное наследие прошлого и не чувствует в этом необходимости, если практика или новые открытия не заставляют совершить такой пересмотр. Нензбежно комплекс каких-то теорий еще со школьной скамьи принимается на веру и превращается в незыблемый фундамент научного миропонимания для большинства ученых и особенно специалистов-ремесленников, привыкших опираться на мнения высоких авторитетов. Во все времена даже обоснованные покушения на общепринятые теории немедленно приводили в действие механизм «слепого прилепления»: объективный анализ, логика подменялись эмоциями; критикам начинало казаться, что только «еретики» или невежды могут покушаться на теорию, прочность которой проверена временем.

В 1950 году Р. Юссон повел критическое наступление на общепризнанную миоэластическую теорию фоциации². Эта теория, почти двухсотлетней давности, утверждала, что голосовые связки колеблются пассивно вследствие своей упругости и действия подвязочного давления воздуха. Механизм голосообразования иллюстрировался либо колебаниями гармонного язычка под действием воздушного давления, либо колебаниями скрипичной струны, выводимой смычком из положения равновесия. В последней аналогии роль упругой струны играют края голосовых связок (при фальцете они не смыкаются), а смычка — поток воздуха через голосовую щель.

Ученый мир физиологов и ларингологов был повергнут в изумление. Новая теория Юссона утверждала, что связки могут колебаться без подвязочного давления воздуха, под влиянием импульсов нервного возбуждения, идущих к ним по нижнегортанному (возвратному) нерву из центральной нервной системы. Это неожиданное утверждение Юссона, говоря образно, сводится к следующему: колебательное движение связок вызывается не внешними силами воздушного давления, а теми же самыми физиологическими механизмами, которые, например, позволяют пианисту исполнять пальцами быструю трель.

¹ Ломоносов М. В. Избр. филос. соч., М., 1940, с. 40.

² Фоная — звукообразование или голосообразование.

Старая миоэластическая теория рассматривала колебания связок как явление чисто периферическое и, казалось, убедительно доказывала это положение ссылками на то, что мертвая гортань при продувании воздуха через трахею способна издавать звуки (опыты Мюллера, 1839).

В диссертации «Исследование основных физиологических и акустических явлений певческого голоса» (1950) Юссон, опираясь на большое количество наблюдений, выдвинул ряд серьезных аргументов, из которых следовало, что колебания голосовых связок имеют не периферическую, а церебральную (мозговую) природу.

Согласно новой теории Юссона, названной им нейрохронактической, частота импульсов возбуждения, идущих к связкам по возвратному нерву из центральных отделов нервной системы и вызывающих раскрытие голосовой щели, в точности соответствует частоте основного тона, издаваемого гортанью. Это название новой теории было обусловлено тем, что идеи Юссона опирались на хронометрию — объективный метод измерения возбудимости нервных и мышечных тканей.

Идеи Юссона в области физиологии фоциации носили столь же революционный характер, как и теория Коперника, разрушившая в свое время систему Птолемея. «Тихая» до выступления Юссона область науки превратилась в арену ожесточенных споров. Накал и характер дискуссий лучше всего характеризуют слова самого Юссона: «Если бы я жил в средние века, то давно был бы сожжен заживо на костре».

В 1950 году, когда была опубликована диссертация, возможность самостоятельного колебания связок без подвязочного давления не была подтверждена экспериментальными наблюдениями и, следовательно, не без основания представлялась многим ученым лишь сомнительной и рискованной гипотезой. Кроме того, идея Юссона, не ограничиваясь узкой проблемой изолированного изучения функций гортани как звукообразующего инструмента, грозила подвергнуть пересмотру всю физиологию головного мозга. Действительно, признав правильность теории Юссона, ученые немедленно сталкивались с крайне трудным вопросом: какая область головного мозга выполняет роль электрического генератора, посылающего к гортани импульсы возбуждения, высоких звуковых частот, доступных для певческого голоса (например, 2000 кол/сек)? Физиология 50-х годов XX века не могла дать четкого ответа на этот вопрос, да и в настоящее время по этому поводу можно рисовать лишь гипотетические картины. Поэтому отрицать новую теорию Юссона было значительно проще и спокойнее, чем совершать вынужденные экскурсии в тайники мозга, состоящего из многих миллиардов клеток, и создавать концепции, противоречащие накопленным знаниям.

В предисловии к своему капитальному труду «Физиология фоциации» (1962) Юссон писал: «Начиная с 1950 года наши скромные исследования подвергаются жестоким нападкам со стороны некоторых кругов международной фоциации. Поэтому мне часто хотелось махнуть рукой на свои труды, и если я продолжаю упорствовать, то этим я обязан неизменной поддержке ряда выдающихся представителей мировой науки...»¹.

Эти «жестокое нападки», вероятно казавшиеся Юссону случайным непониманием или результатом поверхностного мышления, с точки зрения больших исторических перспектив, диалектики процесса познания, были вполне законо-

¹ HUSSON R. Physiologie de la Phonation. Paris, 1962, p. 16.

мерны,— в своем предисловии Юссон, сам того не подозревая, процитировал слова Николая Коперника, написанные почти 500 лет назад: «Презрение, которое я мог ожидать вследствие новизны и кажущегося бессмыслия моего мнения, чуть не вынудило меня оставить втуне готовое сочинение»¹.

Однако с 1957 года нейроронаксическая гипотеза стала получать экспериментальные подтверждения², давшие ей право уже именоваться теорией.

Со времени появления теории Юссона прошло более 20 лет, но споры между ее сторонниками и противниками не прекращаются. Одни исследователи, используя совершенную научную технику, экспериментально подтверждают теорию Юссона; у других аналогичные эксперименты дают отрицательный результат; третьи заявляют, что эксперимент может быть истолкован иначе и вовсе не подтверждает нейроронаксическую теорию. Например, теория Юссона опирается на открытие К. Гёртлером в 1950 году двух систем косо идущих волокон в голосовых мышцах. Наблюдения К. Гёртлера были позднее подтверждены М. С. Грачевой и другими исследователями. Однако в 1957 году Б. Шлоссхауер выступил с утверждением, что применяя самые совершенные оптические методы, он никаких косых гёртлеровских волокон обнаружить не мог. Таким образом, спор о нейроронаксической теории автоматически переносится в другую научную область, в область анатомии и гистологии. Естественно, что при таком ходе дискуссии, когда проблема кочует из одной научной области в другую, суждения ученых начинают принимать неопределенный или тенденциозный характер, так как по крайней мере большую часть экспериментов и выводов они не могут проверить лично и должны принимать их на веру. О драматичности борьбы между старой и новой теориями можно судить по следующему примеру. Ван ден Берг в 1957 году выдвинул, казалось бы, неопровержимое для нейроронаксической теории возражение. Он указал, что левый возвратный нерв приблизительно на 10 см длиннее правого и, следовательно, импульсы возбуждения будут достигать левой связки со значительным запаздыванием, то есть связки будут колебаться вразнобой — когда левая приближается к срединному положению, правая связка от него отходит, как в патологическом случае Ортеля и Вейса (см. диссертацию). Это возражение, по существу, перечеркивало всю концепцию Юссона, правда, оставалась еще возможность упорствовать, ссылаясь на опыты, подтверждавшие случаи колебаний связок без подвязочного давления, но тогда нейроронаксическая теория лишалась логического фундамента. Это противоречие неожиданно получило благополучное разрешение: в том же 1957 году была опубликована работа Е. Кромпотич, в которой сообщалось, что двигательные аксоны левого возвратного нерва имеют несколько больший диаметр, чем аксоны правого, и поэтому проводят импульсы возбуждения с большей скоростью, чем аксоны правого, то есть разница в длине левого и правого нерва компенсируется разницей скоростей распространения импульсов. Подобную «мудрость природы», конечно, ни Ван ден Берг, ни Р. Юссон предвидеть не могли, но она в какой-то степени говорит в пользу нейроронаксической теории, ибо бессмысленно и беспричинно в природе ничего не происходит.

Ван ден Берг, отрицая нейроронаксические концепции Р. Юссона, сделал попытку спасти миоэластическую теорию, привлекая для объяснения механизма

колебаний связок аэродинамический закон Бернулли. Свою теорию Ван ден Берг назвал миоэластической-аэродинамической теорией, но ее создание явилось результатом критики Юссона и лишним подтверждением неудовлетворительности классической миоэластической теории.

В переписке с Юссоном мною было отмечено, что наибольшую трудность для нейроронаксической теории представляет объяснение явлений вибрато — периодических изменений высоты звука с частотой 6 кол/сек. Певец, изменяя характер опоры дыхания, может петь с вибрато и без вибрато. При этом частота и размах вибрато изменяются в значительных пределах в зависимости от характера исполняемого произведения и эмоционального состояния певца. Так, например, при вибрато высота звука может изменяться от 0,1 тона до полутона, а в некоторых случаях достигать и целого тона¹. Здесь-то и возникает трудность для нейроронаксической теории. Если мы утверждаем, что высота звука определяется частотой импульсов, идущих по возвратному нерву из головного мозга, то неизбежно должны допустить, что уже на высоких уровнях или в самом возвратном нерве происходит модуляция частоты, создающая явление вибрато. В результате обмена мнениями Юссон отказался от концепции вибрато, изложенной в его диссертации, и попытался объяснить (см. § 76 «Певческого голоса») периодическую модуляцию действием «химических медиаторов» на двигательные блужки² гортанных мышц. Можно выдвинуть, опираясь на работу Е. Кромпотич, и более простую гипотезу для объяснения вибрато высоты звука. Если тысячные доли миллиметра в диаметре аксонов возвратного нерва значительно влияют на скорость распространения импульсов, то возникающие на периферии тонические колебания мышц могут вызывать деформацию аксонов и соответствующую модуляцию звука с частотой вибрато. Однако при помощи гипотез нельзя устранить все возражения, которые можно выдвинуть как против миоэластической, так и против нейроронаксической теории. Обе спорящие стороны совершенно игнорировали диалектику эволюционного развития, диалектику становления новых научных теорий — они стали на путь метафизического отрицания. Аналогичная неопределенность возникла в физике в начале нашего века: формальная логика не могла примирить и признать правильными две взаимоисключающие теории — волновую и квантовую теории света. Согласно первой, свет представлял собой волну в эфире или электромагнитном поле, согласно второй — дискретную частицу, фотон или квант света. С двойственной природой света пришлось примириться, отказавшись от наглядных и убедительных механических моделей.

Юссон выдвинул свою нейроронаксическую теорию как отрицание, анти-тезис чисто механической теории фонации. Но, очевидно, в этой теории были элементы относительной истины, правильно, но все же недостаточно полно отражавшей действительность. В самом деле, если мертвая гортань и механические модели гортани могут издавать звуки в соответствии с принципами миоэластической теории, то почему живая гортань должна утратить способность порождать упругие колебания, то есть порождать звуки чисто механическим способом?

Если допустить, что при звукообразовании могут действовать два механизма, как нейроронаксический, так и миоэластический, то нам не придется удивляться, что 20 лет длится спор и ученые обнаруживают факты, подтверждаю-

¹ Цит. по кн.: Александров Г. Ф. История западноевропейской философии. М. — Л., 1946, с. 140.

² См.: «Певческий голос», § 7 п 8.

¹ На скрипке вибрато достигается колебанием кисти руки исполнителя.
² Блужки — окончания двигательных нервов (нейронов). См. в конце статьи раздел, объясняющий терминологию.

шие как одну, так и другую теорию. Объективное рассмотрение всех физиологических и акустических данных приводит не к отрицанию какой-либо одной теории, а к более вероятному и правильному выводу, что голосообразование определяется двумя одновременно сосуществующими механизмами — миоэластическим и нейроронаксическим.

Этот вывод больше соответствует диалектической природе познания, чем полное отрицание одной из теорий или попытка объяснить все явления, например вибрато, в рамках одной нейроронаксической теории. «В диалектике, — писал Энгельс, — отрицать не значит просто сказать «нет», или объявить вещь несуществующей, или уничтожить ее любым способом»¹, диалектическое отрицание предполагает, что элементы относительной истины перейдут в новую, более совершенную и полную теорию.

В качестве примера малообоснованного отрицания приведем высказывания Г. Фанта из его книги «Акустическая теория речеобразования»: «Теория Юссона, — пишет Фант, — дает маловероятное объяснение механизма образования голоса. Гораздо проще объяснить работу голосовых связок как механической системы, если учитывать переменную силу, которая представляет собой смену избыточного давления, воздействующего на сомкнутые голосовые связки, и отрицательного давления, возникающего при протекании воздуха через открытые голосовые связки»². Действительно, можно согласиться с Фантом, что «гораздо проще» использовать чисто механическую модель голосообразования, но для этого надо закрыть глаза на целый ряд экспериментов и факторов, изложенных в трудах Юссона и других авторов.

Одной из наиболее интересных попыток разрешить затянувшийся спор, по нашему мнению, является работа Н. И. Жинкина «О теориях голосообразования»³.

Убедившись в невозможности стать на сторону какой-либо одной теории путем скрупулезного взвешивания экспериментальных результатов и доводов сторонников и противников теории Р. Юссона, Н. И. Жинкин логическим путем, опираясь на факты и наблюдения, признаваемые обеими спорящими сторонами, сконструировал наиболее вероятную и правдоподобную модель управления всеми параметрами речевого и певческого голосообразования. Оказалось, что логический путь неизбежно приводит к нейроронаксическому управлению высотой звука, но при этом не снимаются и не отменяются миоэластические механизмы.

При пении и речи приходится управлять четырьмя непрерывно изменяющимися акустическими параметрами: громкостью, высотой звука, тембром и переходными процессами. Возникновение добавочного независимого управления высотой звука через возвратный нерв является целесообразным и, возможно, необходимым механизмом. По мнению Н. И. Жинкина, у противников теории Юссона «сказывается склонность к изолированному рассмотрению фактов и к изолированному изучению отдельных органов... К счастью, в наше время уже находятся пути для объединения всех этих усилий под эгидой общей проблемы управляющих систем»⁴.

¹ Энгельс Ф. Анти-Дюринг. — В кн.: К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., изд. 2-е, т. 20. М., 1961, с. 145.

² Фант Г. Акустическая теория речеобразования. М., 1964, с. 232.

³ Жинкин Н. И. О теориях голосообразования. — В кн.: Мышление и речь. М., 1963.

⁴ Там же, с. 269.

Рауль Юссон о научном обосновании методов вокальной педагогики

К концу 50-х годов в акустике и физиологии накопилось большое число исследований, раскрывавших объективную картину процессов певческой фонации. Однако оставалось далеко не ясным, каким образом эти научные данные сделать полезными для практической вокальной педагогики. Возникал трудный вопрос: как связать те или иные исследовательские достижения с реальным процессом воспитания певческого голоса, тем, что называется постановкой голоса. Вопрос о взаимоотношениях науки и вокальной педагогики обсуждался не один десяток лет и оставался в основном в области, далекой от каких-либо конкретных решений. Однако письмо Юссона, датированное 1957 годом, наметило новый и неожиданный подход к проблеме научного обоснования методов вокальной педагогики:

«Вы пишете, что Акустическая лаборатория Московской консерватории занимается также и поисками принципов научного обоснования методов воспитания певческого голоса. Это проблема сложная и трудная. К тому же она связана не только с исследованиями в области акустики, но также захватывает нейромышечную физиологию мозга. Мы много занимались этой проблемой с 1951 года. Наиболее трудными оказались поиски метода, позволявшего найти правильные подходы к проблеме, расчленив ее на более простые проблемы, которые могли бы быть последовательно изучены и разрешены.

Мы полагаем, что вопрос «в целом» разрешен (разрядка наша. — Е. Р.), но, конечно, остается еще масса деталей, которые должны быть исследованы. Проблема функционирования ротоглоточных полостей была рассмотрена нами целиком, так как до сих пор, почти в течение 100 лет она базировалась на упрощенных и схематичных идеях Гельмгольца и Германа. А в этой области акустики имеется огромный прогресс. Я подразумеваю «теорию рупора» И. Рокара, которая дала нам ключ, позволяющий лучше понять структуру певческих гласных».

Это письмо Юссона содержало много неясностей. Прежде всего работа И. Рокара «Распространение и поглощение звука» (1935) являлась чисто математическим исследованием классических дифференциальных уравнений, имеющих широкое приложение в радиовещании. Конечно, применить эту теорию к ротоглоточному рупору в принципе было возможно, но вряд ли это могло способствовать сближению науки и вокальной педагогики. Еще более неясным нам показалось утверждение Юссона, что вопрос о научном обосновании вокальной педагогики «в целом разрешен», тем более что его последующие высказывания противоречили подобному оптимизму:

«Вы совершенно правы, — писал Юссон, — говоря, что в течение долгого времени будет существовать бездна между работами в области акустики и физиологии и практическими методами вокалистов. Практическая вокальная педагогика всегда останется трудным искусством, так как приходится сталкиваться с огромными индивидуальными различиями учеников и их еще более разнообразными реакциями. Я все же надеюсь, что мои работы принесут некоторую пользу педагогам, по крайней мере тем, кто приложит усилия, чтобы хорошо изучить и понять их».

Несмотря на эти оговорки, Юссону все же удалось найти новый подход к проблеме. Действительно, теория рупора, применение математического понятия

«импеданс»¹ позволили ему заключить расплывчатое понятие «постановка голоса» в строгие акустико-физиологические рамки. Постановка голоса в конечном итоге сводится к приобретению какой-то определенной устойчивой «вокальной техники» или системы «управления» певческой фонацией. Под «управлением» следует понимать сложный комплекс нервно-двигательных процессов, позволяющих певцу однозначно и уверенно решить поставленную «фонационную задачу», например взять верхнее теноровое *до*. Системы управления фонацией, а следовательно, и типы вокальной техники, многообразны, например, можно петь с вибрато и без него, с опорой дыхания и без опоры, наконец, имитировать различные голоса и манеры пения.

Юссон ставит вопрос: «Чем отличается одна вокальная техника от другой?» И дает ответ, открывающий новый подход к проблеме: «Любая вокальная техника обеспечивает определенную эффективность, «коэффициент полезного действия» по интенсивности, высоте, тембру и неустойчивости голоса. Только в эффективности отличие одного типа техники от другого».

В настоящее время уже нетрудно проследить за развитием идей Юссона и понять, почему он обратился к теории рупора И. Рокара. Известно, что пение в больших оперных театрах в сопровождении симфонического оркестра требует от исполнителей первых партий развития огромной интенсивности звука, достигающей 100—120 децибел². Любой педагог, готовящий оперных певцов, каким бы методом он ни пользовался, должен помочь своему ученику овладеть вполне определенными акустическими закономерностями, которые без вреда для голосового аппарата позволяли бы развивать предельную силу звука.

Достаточно рассмотреть аналогию между ротоглоточными полостями человека и рупорным громкоговорителем (рис. 1), чтобы убедиться, что поставленная проблема принимает четкие акустические очертания. В громкоговорителе источником звука является мембрана *М*, передающая свои колебания частицам воздуха, в голосовом аппарате — голосовая щель (*ГЩ*). Надсвязочная полость и суженный вход в гортань играют роль предрупорной камеры. Закон механики Ньютона утверждает: действие равно противодействию. Это значит, что если мы толкаем какое-либо тело, например, с силой 10 кг, то к нашей руке также будет приложено противодействие или сопротивление, равное 10 кг. Колебания мембраны, оказывая давление на прилегающие слои воздуха, вызывают ответное сопротивление. Чем больше будет это сопротивление, тем большую энергию мембрана сможет передать во внешнее пространство, тем больше будет ее «коэффициент полезного действия». Это суммарное сопротивление можно изобразить отрезком *Z*, направленным на мембрану. Точно так же наилучшие условия для фонации и создания большой интенсивности звука возникают тогда, когда в надсвязочном пространстве образуется значительное сопротивление порциям воздуха, прорывающимся в надсвязочное пространство во время периодических раскрытий голосовой щели. Общее сопротивление (противодавление), создаваемое ротоглоточным рупором, его формой и различными сужениями,

а также колеблющимся в нем столбом воздуха, называется сопротивлением, или импедансом. Термин «импеданс» происходит от латинского слова *impedire* — сопротивляться. Его можно было бы заменить русским словом «сопротивление», но этого делать не следует, так как в дальнейшем будет показано, что в процессах, связанных с колебаниями, простое понятие «сопротивление» обогащается новым содержанием. Юссон постоянно употребляет выражение «импеданс, приведенный на гортань»¹, подчеркивая этим, что речь идет об импедансе на уровне гортани, но в переводе слова «приведенный на гортань» часто опускаются в случаях, когда место приложения импеданса не может вызвать сомнения.

Все типы вокальной техники Юссон классифицировал по объективному признаку: обеспечивает ли рассматриваемая техника сильный, промежуточный или слабый импеданс. Другими словами, в основу классификации положена оценка эффективности техники, ее коэффициента полезного действия в процессе преобразования энергии подсвязочного давления в энергию звуковых колебаний. Но здесь могут возникнуть следующие возражения: во-первых, оценку вокальной техники того или иного певца приходится производить не по конкретному, численному значению величины импеданса, а по ряду косвенных признаков; во-вторых, в процессе исполнения любого вокального произведения импеданс изменяется в широких пределах и является переменной величиной; в-третьих, певец, обладающий техникой сильного импеданса, исполняя только камерные или лирические произведения, может вовсе не пользоваться доступными для него предельными значениями импеданса.

Ответа на эти возражения Юссон в своих работах не дает и в книге «Певческий голос» ограничивается лишь указанием на то, что импеданс есть переменная величина, что певец может петь и со слабым импедансом, но всегда будет тяготеть к тому типу техники, которой он овладел в процессе обучения (см. § 83).

Однако возникшие противоречия разрешить нетрудно. Последнее утверждение Юссона можно подкрепить простой и наглядной аналогией. Рассмотрим «спортивную технику» метания диска или просто броска камня. Из физики известно, что при любом усилии, большом или малом, максимальная дальность полета диска точно соответствует начальной скорости, составляющей угол в 45° с горизонтальной плоскостью. Следовательно, наиболее эффективной «техникой

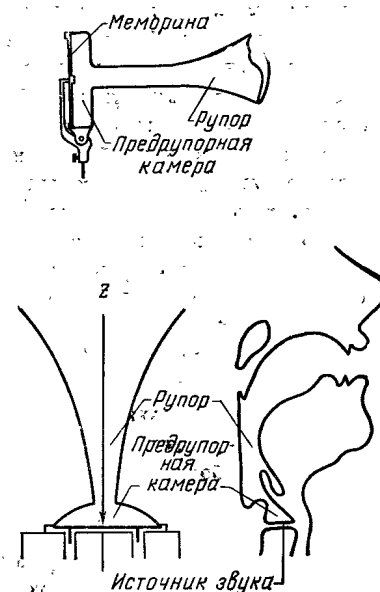


Рис. 1. Аналогия (по Л. Б. Дмитриеву) между голосовым аппаратом певца и рупорным громкоговорителем

¹ Понятие «импеданс» («сопротивление») в специфической математической трактовке широко используется в акустике и теориях голосообразования. Этому исключительно важному понятию посвящен в статье специальный раздел.

² Децибел (дБ) — единица громкости. 1 дБ соответствует едва уловимому на слух приросту громкости. Весь диапазон громкостей и соответственно интенсивностей звука практически укладывается в 130—150 дБ. Число 130 дБ соответствует болевому порогу. Более подробно см. примечание к § 1 книги «Певческий голос».

¹ Иногда употребляют термин «обратный импеданс». Это нельзя признать удачным, так как понятия «сопротивление», «противодействие», «реакция» уже предполагают действие, обратное движущей силе.

броска» будет та техника, которая использует угол в 45° или близкий к нему. Очевидно, что метнуть диск, скажем, на 20 или 30 м можно под любым углом к горизонту, — разница будет лишь в том, что бросок под углом в 45° потребует от спортсмена минимальной затраты энергии по сравнению с бросками под всеми другими углами. Но установить свой личный рекорд дальности метания диска спортсмен сможет, лишь применяя строго определенную технику, а именно технику броска под углом в 45°. Результатом обучения и тренировки окажется то, что спортсмен при любом броске будет автоматически использовать технику, обеспечивающую максимальную эффективность. Эту аналогию можно распространить на технику плавания, бега, трудовых процессов и, наконец, на певческую фонацию. Точно так же певцы тяготеют к тому типу вокальной техники, который они освоили в процессе обучения. Многие промежуточные (по классификации Юссона) типы вокальной техники делают доступным певческое *forte* порядка 80—100 дб, но переход к интенсивностям порядка 100—120 дб требует уже применения техники, обеспечивающей предельно сильный импеданс. Из сказанного следует, что предложенный Юссоном критерий эффективности для оценки вокальной техники с точки зрения физики и физиологии является наиболее целесообразным.

Дальше будет показано, что импеданс зависит от двух факторов: геометрической формы ротоглоточного рупора и характера возникающих в нем колебательных процессов. Первый фактор нетрудно изучить хотя бы при помощи рентгеноскопии, тогда как второй фактор мы можем оценивать лишь косвенно, по характеру звучания голоса, при этом вне сферы наглядности остаются многие детали процесса звуковых колебаний.

Л. Б. Дмитриевым был сделан существенный вклад в изучение механизмов формирования импеданса¹. При помощи рентгеновских снимков профессиональных певцов, певших на хорошей опоре, им было установлено, что вход в гортань оказывался всегда суженным; при снятии звука с опоры, то есть при переходе на пение с малым импедансом, сужение исчезало, надсвязочная полость раскрывалась и «предрупорная камера» переставала существовать.

Анализ явлений певческой фонации привел Л. Б. Дмитриева к важному выводу, что «подгонка, подбор наиболее выгодного импеданса для данного источника звука (гортань ученика) составляет один из самых важных моментов процесса постановки голоса»².

Однако подбор большого или оптимального импеданса далеко не так прост, как может показаться на первый взгляд. Если бы импеданс определялся только одной формой ротоглоточного рупора (сужением входа в гортань, наклоном надгортанника, раскрытием рта, объемом ротовой полости), то все певцы легко находили бы нужный импеданс при помощи соответствующих установок ротоглоточных полостей. В прошлом многие педагоги пытались оказывать непосредственное воздействие на форму ротоглоточного рупора своих учеников — заставляли как можно ниже опускать гортань, как можно шире раскрывать рот и т. п. В этих попытках был определенный смысл: педагоги видели ту часть истины, которая лежала на поверхности (качество фонации явно зависит от формы рупора), но от дальнейшего углубления в проблемы импеданса вокалисты отказывались, так как на этом пути возникали трудные физико-математические барьеры, обойти которые было невозможно.

Об импедансе

Выше было дано общее объяснение термина «импеданс», однако оно не исчерпывает всего физического содержания и богатства этого понятия, которое до сих пор было достоянием лишь специальных руководств по теории электрических и механических колебаний. Есть опасность, что при попытках ограничиться краткими и упрощенными толкованиями понятие «импеданс» может превратиться для вокальной педагогики в непознаваемую «вещь в себе». Это очень беспокоило Юссона, и по этому поводу он писал: «Понятие «импеданс», вероятно, будет очень трудным для вокалистов. Для нас, математиков и акустиков, это понятие очень близко, но я убедился, что вне нашей среды его мало кто понимает...»

Теперь об оценке самими певцами импеданса, которым они нагружают гортань. Они воспринимают его и через активность дыхания и через внутренние ощущения, возникающие в области гортани и в ротоглоточных полостях. Они правильно оценивают даже величину импеданса и при его помощи регулируют фонацию. Хорошие певцы это делают бессознательно... Я изучал действие импеданса в течение трех лет, используя наиболее совершенные методы (стробоскопию, рентгенографию, томографию, метод Фабра), и открыл, что импеданс чрезвычайно сильно изменяет поведение голосовых связок. Дальше было нетрудно показать, что импеданс является очень эффективным защитным механизмом нейромышечного функционирования гортани. Когда импеданс очень слаб, чрезвычайно увеличивается расход воздуха через голосовую щель и гортань реагирует на это сильным сжатием. Работа голосовых связок значительно облегчается, когда приведенный импеданс имеет достаточную величину. В этих условиях певец может развивать большую интенсивность звука без опасности для гортани. Можно сказать, что умение поддерживать достаточный импеданс является для певца очень важным элементом его вокального мастерства.

Рассмотрим последовательно, как на основе простых опытов может быть сформировано понятие «импеданс».

Исходным пунктом наших рассуждений будут три закона Ньютона.

1. Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если только оно не вынуждено изменять его под влиянием действующих сил.

2. Ускорение пропорционально силе и обратно пропорционально массе тела: $a = \frac{F}{m}$, или сила равна произведению массы на ускорение: $F = ma$.

3. Действие равно противодействию. (Действие может быть названо активной силой, противодействие — реактивной силой или реакцией.) Например, если рука приводит в движение некоторую массу m , то активная сила приложена к массе, а реактивная — к руке. Эту реактивную силу мы воспринимаем как «сопротивление». Повседневный опыт создает обманчивое впечатление, что малая масса (легкое тело) «требует» приложения малой силы. В действительности на массу в один грамм можно подействовать силой в десятки тысяч килограммов, но при этом она приобретет огромную скорость и энергию. Соответствующим будет противодействие или реакция. (Перчатки в боксе употребляются потому, что «противодействие» немедленно повредило бы руки обоих боксеров.)

Проведем следующий мысленный эксперимент. Представим себе гладкую горизонтальную плоскость и на ней отполированный металлический кубик с

¹ Дмитриев Л. Б. Основы вокальной методики. М., 1968, с. 195.

² Там же, с. 196.

массой m . Дадим кубику толчок, который сообщит ему некоторую скорость v . В соответствии с законом инерции кубик начнет двигаться прямолинейно и равномерно, но через какое-то время станет замедлять свое движение и остановится. Объясняется это тем, что на кубик действовала тормозящая сила R_a , созданная трением поверхностей и сопротивлением воздуха. Назовем эту силу R_a активным сопротивлением. Если мы заставим скользить кубик по горизонтальной плоскости с постоянной скоростью v , то наша рука будет испытывать сопротивление R_a . Фактически кубик будет двигаться по инерции — он уже приобрел кинетическую энергию $\frac{mv^2}{2}$, и наше усилие затрачивается только на преодоление активного сопротивления R_a . Это положение остается верным для любого тела, движущегося прямолинейно и равномерно, будь то автомобиль или самолет, — энергия двигателя затрачивается только на преодоление активных сопротивлений.

Но как только мы заставим двигаться кубик ускоренно, наша рука начнет ощущать не только активное сопротивление R_a , но еще добавочное сопротивление, так называемую силу инерции. По второму закону Ньютона, она зависит от величины ускорения и массы и определяется их произведением. Следовательно, в этом случае суммарное сопротивление, или импеданс Z , будет состоять из двух слагаемых — активного сопротивления R_a и силы инерции ma , или

$$Z = R_a + ma.$$

В данном примере гладкой отполированной плоскости R_a является очень маленькой величиной, тогда как сила инерции, $R_i = ma$, может в зависимости от величины ускорения a достигать какого угодно большого значения. Второе слагаемое, то есть силу инерции, называют реактивным сопротивлением. Отсюда вытекает, что импеданс, или полное сопротивление, равен сумме активного и реактивного сопротивлений.

Это определение делает понятным, почему термин «импеданс» нецелесообразно переводить на русский язык и объяснять его при помощи простых аналогий, например вытекание жидкости — через широкое или узкое отверстие, или сравнивать с сопротивлением R_a в цепях постоянного тока. Все подобные объяснения оставляют вне поля зрения главную, а именно реактивную, часть импеданса R_i .

Силы инерции приобретают особое значение и могут достигать больших величин в тех процессах, где происходит изменение скорости v , например в колебательных процессах, в цепях переменного тока и особенно в реактивных двигателях.

При постоянстве скорости v , то есть в любом стационарном процессе, где ускорение $a=0$, будь то движение твердого тела, электронов, частиц воздуха или жидкости в трубах, реактивная часть импеданса $R_i=0$ и $Z=R_a$. Например, во время бега спортсмен начинает дышать через рот, уменьшая таким образом сопротивление R_a ; аналогично увеличение поперечного сечения провода уменьшает его сопротивление движению электронов при постоянном электрическом токе.

Во время фонации частицы воздуха движутся не с постоянной скоростью v , а совершают очень быстрые колебания около положения равновесия с частота-

ми ω , лежащими в пределах от 15 до 16 000 колебаний в секунду (кол/сек). Эти частоты называются звуковыми. Чтобы получить представление о «поведении» импеданса в колебательных процессах, сделаем другой «умозрительный» опыт, но уже не с металлическим кубиком, а с физическим маятником. Подвесим на веревке, например, гирию в несколько десятков килограммов и начнем ее раскачивать. Из физики известно, что период колебаний маятника T практически не зависит от амплитуды (максимальное отклонение от положения покоя) и определяется длиной веревки. Маятник на короткой веревке колеблется быстрее, чем на длинной. Таким образом, любой маятник имеет собственный период T_0 и, следовательно, собственную частоту колебаний

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0}.$$

Собственную частоту можно назвать резонансной частотой.

Наш экспериментальный маятник мы можем раскачивать различными способами: либо поддерживая легкими толчками его собственную резонансную частоту, либо толкая маятник с двух сторон с произвольной частотой ω и заставляя его совершать вынужденные колебания. Итак, дадим первый толчок маятнику. Предоставленный самому себе, он начнет совершать затухающие колебания. Период T_0 и, следовательно, его собственная частота ω_0 останутся неизменными, но амплитуда колебаний начнет быстро убывать. Так постепенно убывает сила звука камертона, сохраняя неизменной свою высоту, то есть ω_0 . Куда исчезла энергия нашего первого толчка, переданная маятнику? Она была растратчена на преодоление активных сопротивлений R_a (сопротивление воздуха, трение в подвесе). Далее мы убедимся, что при помощи очень слабых толчков, периодичность которых будет соответствовать резонансной частоте маятника, нетрудно поддерживать амплитуду колебаний маятника неизменной и компенсировать потери энергии, вызванные наличием активного сопротивления R_a . Оно, как и в первом примере, невелико. Отсюда можно заключить, что активная составляющая импеданса также не является решающим фактором, определяющим характер колебательного процесса. Рассматривая процесс фонации, мы можем сказать, что обтекаемая и удобная форма ротоглоточного рупора способствует уменьшению активных сопротивлений, уменьшает затухание и бесполезную трату звуковой энергии, но было бы ошибочно сделать заключение, что хороший ротоглоточный (гладкий) рупор — условие, достаточное для обеспечения мощности певческого голоса. Далее мы увидим, что решающая роль принадлежит реактивной части импеданса и динамическим процессам.

Заметим, что никто из людей, обладающих здоровой носоглоткой, даже при усиленном дыхании через рот никогда не жаловался на плохой ротоглоточный рупор, создающий сопротивление дыханию. Обычно никто этого сопротивления и не замечает.

В нашем примере весьма просто выясняется и роль реактивной составляющей импеданса R_i , связанной с возникновением сил инерции. Для этого достаточно заставить маятник совершать вынужденные колебания с произвольной частотой ω , толкая его в различных фазах (можно давать встречный импульс или прилагать импульс вслед уходящему маятнику). Осуществляя подобный эксперимент в действительности, можно не только убедиться в многообразии форм колебательного процесса и получить представление о величине сил инерции, то есть реактивной составляющей импеданса, но заодно и травмировать руку. Таким образом, нетрудно понять, что импеданс может быть защитным механизмом только тогда, когда он используется в надлежащей фазе. Воздух

в каждой полости ротоглоточного рупора (резонатора) имеет свою собственную частоту ω и совершает, как правило, не собственные, а вынужденные колебания во всем диапазоне частот певческого голоса. Поэтому действительная картина явлений резонанса в певческом голосе мало соответствует представлениям, распространенным в вокальной педагогике.

Частицы воздуха в ротоглоточных полостях совершают упругие колебания, поэтому еще более близкой будет аналогия не с физическим маятником, а с грузом, подвешенным на пружине. Давая толчки этому грузу и заставляя его по нашему произволу совершать вынужденные колебания с различными частотами ω , мы обнаружим, что кроме сил инерции, развиваемых грузом, появляется еще добавочный фактор — жесткость пружины, или ее способность накапливать то или иное количество энергии и возвращать ее обратно при распрямлении. Это значит, что реактивная часть импеданса зависит не только от частоты колебаний ω , но и от инертной массы L , и от упругих свойств колеблющейся системы, от ее «емкости» C — в смысле большего или меньшего накопления энергии.

Итак, для всех возможных форм движения, включая и процессы колебаний, импеданс — это сумма активного и реактивного сопротивлений, или $Z = R_a + R_r$. Для механического поступательного движения $Z = R_a + m\alpha$; для колебательных процессов, будь то механические, звуковые или электрические, $Z = R_a + f(\omega, L, C)$, где $f(\omega, L, C)$ является сложной функцией трех величин — ω , L и C . При помощи математического аппарата дифференциальных уравнений доказывается, что последнюю сумму можно представить в виде

$$(1) \quad Z = \sqrt{R_a^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Из формулы (1) видно, что импеданс в любом колебательном процессе равен квадратному корню из суммы квадратов активного и реактивного сопротивлений. Если реактивное сопротивление равно нулю, то есть

$$\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = 0,$$

то

$$Z = \sqrt{R_a^2 + 0} = R_a,$$

или в частном случае импеданс может быть равен активному сопротивлению. Мы уже отметили, что при явлениях резонанса, когда маятник раскачивали с его собственной частотой, энергия наших импульсов (толчков) уходила либо на преодоление активного сопротивления R_a , либо на быстрое увеличение амплитуды. Известно, что незначительное по своей абсолютной величине звуковое давление человеческого голоса в случае резонанса может привести в колебательное состояние жесткие струны рояля. Формула (1) является универсальной: она дает выражение импеданса для акустических процессов в ротоглоточном рупоре, цепей переменного тока и радиотехнических контуров, в которых происходят колебания электронов. По этой причине современная теоретическая акустика и теория голосообразования широко используют электрические аналогии и базируются на понятии импеданса.

Уравнение И. Рокара и практическое приложение теории импеданса к вокальным проблемам

О форме раскрытия рта в пении существует в вокальной педагогике множество высказываний и логических соображений. Одни из них правильны (Тоти даль Монте, Р. Юссон, Л. Б. Дмитриев), а другие в корне ошибочны, но даже правильные умозаключения не обладают убедительностью и неоспоримостью математических уравнений.

Л. Б. Дмитриев пишет: «К сожалению, еще есть педагоги, которые в отношении степени раскрытия рта проявляют догматический подход. Одни считают, что челюсть при пении следует откидывать максимально, поэтому они заставляют учеников производить эти движения механически. Другие требуют такого раствора рта, чтобы между зубами обязательно проходила согнутая фаланга пальца. Есть и такие (к счастью, их мало), которые вставляют спичку между зубами во время пения. Встречаются педагоги, считающие необходимым, наоборот, прикрывать рот во время пения, особенно в ходе к верхним звукам диапазона».

В отношении степени раскрытия рта следует помнить, что рот входит в систему сужений ротоглоточного канала и непременно участвует в создании импеданса. Не может быть единого раствора рта для всех голосов и индивидуумов... Степень раскрытия рта должна диктоваться наилучшим качеством звучания и возможностью ясно, чисто произносить гласные. Ротовой раствор связан с работой голосового затвора посредством механизма импеданса (то есть импеданс Z_1 на уровне гортани или на входе в рупор связан с выходным импедансом Z_2 — Е. Р.). Нерационально широко раскрытый рот хоть и дает лучшее излучение звука, но может нарушить оптимальный импеданс, и голос потеряет важнейшие положительные качества»¹.

Познакомимся с практическим приложением теории импеданса. И. Рокаром доказано, что импеданс Z_1 на входе в рупор связан с выходным импедансом Z_2 , зависящим от формы и величины раскрытия рта следующим уравнением:

$$AZ_1Z_2 + BZ_1 + CZ_2 + D = 0,$$

где A, B, C, D — коэффициенты, зависящие только от профиля ротоглоточного рупора.

В процессе пения и непрерывных артикуляционных изменений профиля ротоглоточного рупора все четыре коэффициента непрерывно изменяются, изменяется вместе с ними также и Z_2 . Допустим, что певец поддерживает на разных гласных большую интенсивность звука и для этой цели ему необходимо иметь на уровне гортани оптимальный импеданс, скажем, 100 единиц. Тогда уравнение Рокара примет вид:

$$100AZ_2 + 100B + CZ_2 + D = 0.$$

Очевидно, чтобы это уравнение имело решение, необходимо подобрать точное значение для всех пяти параметров (A, B, C, D и Z_2). В этом подборе весьма активную роль играет выходной импеданс Z_2 и, следовательно, величина и форма раскрытия рта. Достаточно посмотреть во время пения на опытного певца, чтобы убедиться, что его рот непрерывно «принимает участие» в решении

¹ Дмитриев Л. Б. Основы вокальной методики, с. 497—498.

уравнения Рокара. Выдающаяся певица Тоти даль Монте утверждала, что любая специально удержанная позиция рта — величайшая ошибка. Добавим от себя, что ошибка не только вокальная, но и математическая.

«Хорошие певцы управляют импедансом бессознательно», — говорит Юссон. Действительно, подбирать мгновенно в процессе пения все шесть величин для уравнения Рокара под силу только электронно-вычислительной машине, и тем не менее певцы справляются достаточно успешно с этой задачей. Посмотрим, какие принципы лежат в основе этого сложного и тонкого управления формой ротоглоточного рупора.

Применение уравнения Рокара показало, что сама постановка проблемы о форме раскрытия рта при пении является неправильной и догматической. Педагогика сталкивается с множеством аналогичных вопросов, например: следует ли добиваться низкого положения гортани? — или: можно ли, обладая толстыми и короткими пальцами, стать хорошим пианистом? Очевидно, что в подобных случаях проблема управления сложным комплексом психофизиологических механизмов подменяется рассмотрением одного или двух второстепенных факторов, которые сами по себе ничего не решают, а лишь заводят в тупик бескончаемых схоластических споров.

Проблемы вокального воспитания, постановки голоса — это, по существу, проблемы управления, связанного с еще более общими вопросами оптимального энергетического взаимодействия живого организма с внешней средой. Эта более широкая постановка вопроса влечет за собой и более глубокую трактовку частных явлений, таких, например, как резонанс, форма ротоглоточного рупора и т. п.

Сравнительно молодая наука бионика, изучая множество различных явлений взаимодействия живых организмов с внешней средой, а также различные формы приспособления организмов для выполнения тех или иных воздействий на внешнюю среду, заставляет предполагать, что любой организм стремится получить максимальный эффект при минимальном расходе энергии. Это своеобразный «принцип экономии энергии» является переносом на явления биологии одного из общих принципов механики — «принципа наименьшего действия».

Применение принципа экономии энергии можно легко проследить и на явлениях певческой фонации. Одним из примеров может быть механизм, создающий в певческом голосе верхнюю форманту (частоты 3000 кол/сек), придающую ему качество «полетности» или «дальнобойности».

В повседневной жизни, как и в пении, мы, сами того не подозревая, руководствуясь принципом экономии энергии, создаем очень тонкие системы управления нашими органами, бессознательно используем свойства различных импедансов, механических или акустических, и в этом отчасти напоминаем себе мольеровского героя, который не ведал, что он говорит прозой.

Проведем хотя бы мысленно следующий опыт. Попробуем погасить спичку несколько необычным способом. Откроем как можно шире рот и сделаем сильнейший выдох, сопровождая его мощным толчком брюшных мышц. Результат очевиден: толчок мгновенно выбросит весь воздух, а свеча будет продолжать спокойно гореть. Здесь неправильно использовано свойство импеданса. Обычно, когда мы гасим спичку, то не раскрываем широко рот, а наоборот, вытягиваем губы и выталкиваем воздух через маленькое отверстие, создающее большое сопротивление. В его преодолении участвуют не только брюшные мышцы, но и

мышцы щек. Увеличение выходного импеданса позволяет придать струе воздуха большую кинетическую энергию, способную сорвать пламя горящей спички. Этой нехитрой техникой задувания пламени все овладевают в детском возрасте, не задумываясь над теорией импеданса и законами аэродинамики. Оказывается, что мы бессознательно в нашем практическом опыте руководствуемся принципом экономии энергии, принципом наименьшего действия. В самом деле, спичку можно погасить и с широко раскрытым ртом, но усилие и расход энергии будут чрезмерными; диск можно бросить далеко и не под углом в 45° , но рекорд дальности можно поставить, действуя только в соответствии с принципом экономии энергии. Задачи на нахождение максимума или минимума в математике называются экстремальными. В течение жизненного и практического опыта наш мозг программируется на решение многих экстремальных задач; многие нейромышечные механизмы, направленные на экстремальное взаимодействие со средой, передаются уже как наследственная формация. Например, движение надгортанника или сужение входа в гортань осуществляют непрерывную регулировку импеданса, но это уже приспособление, выработанное в процессе эволюции, длившейся в течение миллионов лет. В певческой фонации существует ряд тончайших процессов, связанных с дыханием, формой ротоглоточного рупора, вибрато, колебаниями связок, наивное педагогическое вторжение в которые, кроме вреда, ничего принести не может. По этой причине в книге Юссона не выдвигается на первый план какой-либо «единый», наилучший метод обучения пению — к решению экстремальных задач фонации можно подойти различными путями. Вокальная техника — это способ управления фонацией, но, конечно, не все способы дают экстремальное решение вокальных задач, как в физиологическом, так и в эстетическом смысле.

Принцип суперпозиции (наложения) колебаний

На современном этапе развития науки о певческом голосе уже невозможно ограничиваться упрощенными истолкованиями многих понятий акустики, поэтому дополнительные сведения из теории колебаний будут в дальнейшем весьма полезны.

Любой колебательный процесс, возникающий в какой-либо точке пространства, распространяется в виде волн. Камень, брошенный на гладкую поверхность воды, вызывает постепенно затухающие круговые волны. Менее наглядными являются звуковые и электромагнитные колебания и волны, но все они подчиняются одним и тем же принципам, и в первую очередь принципу суперпозиции.

В чем сущность этого принципа? Поясним на примерах. Мы включаем радиоприемник и слушаем передачу из какого-либо города. Может сложиться впечатление, что по чистому, невзбаламученному морю мирового эфира одна-единственная группа волн доносит к нам голос диктора. У нас может возникнуть образ гладкой поверхности озера, по которому бегут круговые волны от брошенного камня. Но едва мы начнем вращать ручку настройки приемника, как немедленно убедимся, что одновременно в мире работают тысячи радиостанций, передающих речь, пение, музыку, сигналы азбуки Морзе, и что наш идиллический образ гладкой поверхности озера надо заменить, скажем, образом бурного штормового моря, на поверхности которого глаз не способен уловить какие-либо закономерности. Оказывается, что в любом случае, как в

примере с радиовещанием, каждый источник колебаний сохраняет в хаосе волн свой индивидуальный «голос», несет о себе информацию на своей частоте, на своей волне, не «растворяясь» и не теряясь во всем многообразии сосуществующих с ним колебательных процессов. В этом и состоит сущность принципа суперпозиции (наложения) колебаний. Данный принцип утверждает, что волны от каждого источника распространяются независимо, как если бы другие источники не существовали, и что при помощи надлежащих приборов можно настроиться на частоты любого источника и принимать его сигналы, как если бы он был только один. Очевидно, что это свойство колебаний и волн делает возможным радиовещание, позволяет нашему слуху различать одновременно звучащие голоса, звуки инструментов оркестра и голоса певцов.

Хотя всем известно, что певческий звук состоит из множества обертонов, то есть из колебаний различных частот, нередко в вокальной практике воспринимают его как нечто целостное. Говорят: «направляйте звук в маску», «направляйте звук в резонаторы» и т. п. Подобные упрощенные представления вполне приемлемы в педагогической практике, но для научного познания певческого голоса эти представления малопригодны.

Первоначальный звук гортани, устремляющийся в ротоглоточный рупор, состоит из 20—30 различных частот (обертонов), достигающих нескольких тысяч колебаний в секунду. Все эти обертоны и в голосовом аппарате певца и во внешнем пространстве ведут себя по-разному в зависимости от своей интенсивности и частоты. Рассматривать звук в ротоглоточном рупоре в целом не более плодотворное занятие, чем описание толпы людей в виде поведения одного человека. Принцип суперпозиции и строгая математическая трактовка явлений резонанса дают ясную картину поведения каждого обертона в певческом звуке.

Изображение звука в виде линейчатых спектров

На рис. 2 изображены ротоглоточный рупор, спектр первоначального звука гортани и спектр звука после прохождения рупора, в котором глоточная полость «резонирует» на частоту 700 кол/сек, а ротовая полость — на 1400 кол/сек.

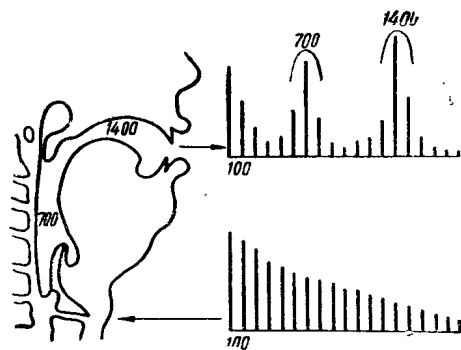


Рис. 2. Схема преобразования ротоглоточным рупором первоначального спектра гортани (рис. Л. Б. Дмитриева)

Величина каждой вертикальной линии условно изображает или интенсивность, или амплитуду каждого частичного тона, или гармоник. Последний термин подчеркивает, что любой сложный звук может быть разложен на простые звуки, не содержащие никаких обертонов, — на так называемые гармонические колебания, графически изображаемые плавной волнообразной кривой — синусоидой. Колебания маятника и ветвей камертона — пример гармонических колебаний.

В линейчатом спектре области наибольших энергий (пиков) назы-

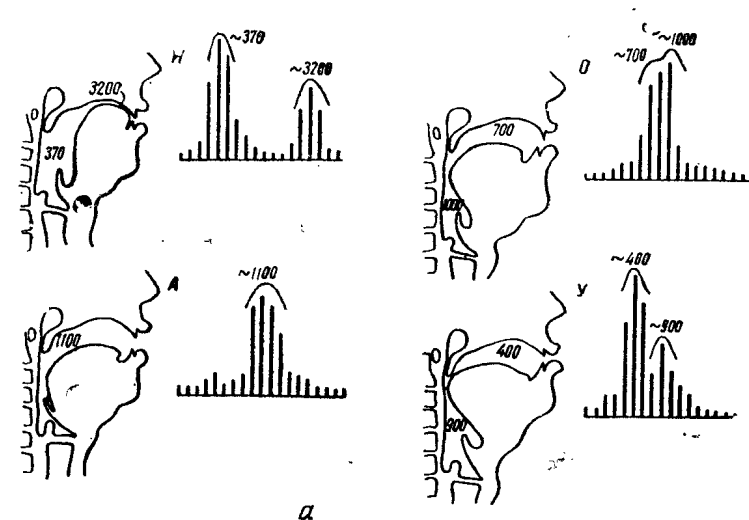


Рис. 3. а — формы рупора и соответствующие спектры для речевых гласных; б — сверху спектр гласного а для речи, внизу — для пения. Добавляются две певческие форманты 500 и 3000 гц

ваются формантами. При речи и пении происходит артикуляция, и в ротоглоточном рупоре возникают различные «объемы» воздуха, которые резонируют, или отзываются, на различные частоты. Так, для гласных русского языка появляются следующие формантные области: для а — 700 и 1000 кол/сек; для о — 535 и 780 кол/сек; для и — 240 и 2250 кол/сек; для у — 300 и 650 кол/сек.

На рис. 3 показаны формы ротоглоточного рупора по рентгенограммам Л. Б. Дмитриева и соответствующие спектрограммы гласных, снятые в Акустической лаборатории Московской консерватории. При пении на форманты речевых гласных накладываются еще две певческие форманты в области 500 и 3000 кол/сек.

Диалектика явлений резонанса

Когда в вокальной педагогике говорят о резонансе, резонаторах, то обычно в эти слова вкладывается только положительный смысл. Однако и к явлениям резонанса надо подходить диалектически. Анализ, данный в этом разделе, неизбежно приведет нас к парадоксальному выводу, что речь и пение возможны только потому, что природа наделила нас плохими резонаторами и что явления «острого» резонанса были бы для голосообразования сплошным бедствием.

Раскачивая маятник или груз, висящий на пружине, мы уже видели, что явления резонанса наступают только тогда, когда мы прикладываем импульсы с частотой, равной собственной частоте ω_0 раскачиваемой системы. В этом случае нам приходится преодолевать только активное сопротивление R_a и не затрачивать попусту энергию на преодоление реактивного сопротивления R_r или, просто говоря, на встречные удары груза о нашу руку. (Этот процесс нетрудно сравнить с поведением частиц воздуха в надсвязочном пространстве, получающем периодические импульсы от голосовой щели.) Следовательно, при резонансе реактивное сопротивление, которое испытывает тело, сообщаемое энергию, должно быть равно нулю, то есть $R_r = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = 0$. Из последнего уравнения следует, что резонанс наступает только тогда, когда частота импульсов будет равна

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Из формулы видно, что собственная частота колеблющейся системы зависит от ее массы (меры инертности) L и от ее упругих свойств C . По этой формуле в принципе можно определить собственную частоту любого резонатора, любой полости ротоглоточного рупора. Прделав математические вычисления, мы обнаружим, что все полости рупора имеют различные собственные частоты. Например, надсвязочное пространство — 3000 кол/сек, глотка — 500 кол/сек, а рот — 1200 кол/сек.

Действительно, собственные частоты всех полостей обнаруживаются в спектрах голоса в виде формантных пиков, но явления резонанса проявляются здесь совсем не в той простой форме, о которой рассказывается в элементарной физике. В самом деле, гортань певца заставляет колебаться частицы воздуха в ротоглоточном рупоре в широком диапазоне частот, например, от 100 до 500 кол/сек. Как правило, частоты основного тона и всех обертонов не совпадают с собственными частотами резонаторов. Отсюда напрашивается вывод, что для правильного описания явлений фонации одного понятия о резонансе недостаточно. В первую очередь необходимо отметить, что частицы воздуха в ротоглоточных резонаторах совершают не собственные, а вынужденные колебания. Например, собственная частота глоточной полости $\omega_0 = 450$ кол/сек, а серия звуков, исполненная женским голосом, может вся находиться выше 1500 кол/сек. Очевидно, что в данном примере явления резонанса полностью исключены, — во всех полостях ротоглоточного рупора происходят вынужденные колебания, амплитуда которых определяется импедансом. Но было бы ошибочно предполагать, что собственная частота

колебаний ротоглоточных полостей не оказывает никакого влияния на акустические процессы в рупоре. Разобраться в тонкостях данной проблемы помогает математика и принцип суперпозиции (наложения) колебаний. Математический анализ доказывает, что вынужденные колебания любой механической системы представляют собой наложение двух колебаний: вынужденного с частотой ω , равной частоте внешней принуждающей силы, и свободных затухающих колебаний с частотой ω_0 .

Эта формулировка является особенно важной потому, что при фонации в ротоглоточных полостях преобладают вынужденные колебания.

В упрощенной символической форме вышеизложенный вывод можно представить формулой:

$$(1) \quad x = A(\omega) + \frac{B(\omega_0)}{2,7Rt}.$$

Ее можно прочесть следующим образом: амплитуда вынужденного колебания x равна амплитуде A , которая является функцией частоты ω принуждающей силы, плюс амплитуда свободного колебания B с частотой ω_0 , поделенной на знаменатель $2,7Rt$, быстро возрастающий в зависимости от величины R и t ($R = 0,5 R_a$, t — переменная величина, время, прошедшее с начала возникновения колебаний). Легко подсчитать, что при большом активном сопротивлении R_a знаменатель через короткий промежуток времени (доли секунды) может достигнуть огромной величины, — собственные колебания в «резонаторе» исчезнут, и лишь останутся вынужденные колебания с амплитудой $A(\omega)$. Уравнение (1) как раз показывает, почему частицы воздуха в ротоглоточных «резонаторах» послушно повинуются импульсам подсвязочного давления и колеблются с частотой, равной частоте колебаний голосовых связок. Это далеко не очевидное положение. Например, такие «резонаторы», как струна, маятник, пружина, совсем не просто заставить колебаться с произвольной частотой ω . Так, струна не будет отзываться на звук нашего голоса, если его частота не соответствует собственной частоте ω_0 струны.

Другая важная формула из теории колебаний показывает, как зависит энергия колебаний, скажем, частиц воздуха в резонаторе от его собственной частоты ω_0 и активного сопротивления R_a . Она дает выражение максимальной энергии колеблющихся частиц на единицу массы:

$$(2) \quad U = \frac{A^2}{2} \cdot \frac{\omega^2}{(\omega_a^2 - \omega^2) + R_a^2 \omega^2}.$$

Здесь A — постоянная амплитуда принуждающей силы, ω_0 — частота собственных колебаний частиц в резонаторе, ω — частота вынуждающих колебаний (например, голосовых связок), R_a — активное сопротивление (для ориентировочных расчетов положим его равным 10).

Из формулы (2) прежде всего можно усмотреть, что энергия колебаний частиц в резонаторе будет тем меньше, чем больше активное сопротивление R_a и чем дальше отстоит частота вынуждающих колебаний (связок) от собственной частоты резонатора ω_0 . Когда ω становится равным ω_0 , наступает явление резонанса. Сравним теперь энергию звуковых колебаний в глоточном резонаторе ($\omega_0 = 700$ кол/сек) при условии, что он последовательно возбуждается обер-

тонами 100, 500 и 700 кол/сек. Положим $R_a=10$ и, подставив в формулу (2) числовые значения ω , получим:

$$U_{100} = \frac{A^2}{2} \cdot \frac{1}{23\,040\,100},$$

$$U_{500} = \frac{A^2}{2} \cdot \frac{1}{8100},$$

$$U_{700} = \frac{A^2}{2} \cdot \frac{1}{100}.$$

Из сопоставления последних цифр можно сделать следующие выводы: обертона 100 кол/сек, частота которого далека от частоты глоточного резонатора, оказывает на него ничтожное воздействие, фактически он эту гармонику подавляет, и она не может дойти до слушателя; гармоника с той же амплитудой, но с частотой 700 кол/сек создает в резонаторе энергию почти в 200 тысяч раз большую; обертона в 500 кол/сек оказывает уже заметное действие, но все же в 80 раз более слабое, чем резонансная частота.

Отсюда также следует:

а) резонатор отзывается не только на обертоны или гармоники, совпадающие с его собственной частотой, но и на гармоники, близкие к его частоте;

б) резонатор может служить не только усилителем звуковых колебаний, но и барьером для их распространения. Это «отрицательная» сторона явлений резонанса, о которой, как правило, забывают;

в) все надсвязочное пространство состоит по крайней мере из трех резонаторов, и если бы первоначальный звук гортани состоял из малого числа гармоник, то большинство из них теряло бы свою энергию в резонаторах ротоглоточного рупора.

Видимо, по этой причине эволюционное приспособление создало в гортани механизм, порождающий первоначальный звук, состоящий из множества гармоник. Для каждого резонатора может быть построена характеристическая «резонансная кривая», из которой видно, как резонатор отзывается на различные частоты.

На горизонтальной оси графика отложены частоты, а на вертикальной — процентное отношение энергии, возбуждаемое любой другой частотой ω , к энергии, возбуждаемой собственной частотой ω_0 . Сплошная кривая соответствует «острому» резонансу. Это случай, когда активное сопротивление R_a мало (10 единиц). Пунктирная кривая — случай «тупого» резонанса при большом $R_a=1000$. Так, если в первом случае

$$\frac{U_{500}}{U_{700}} = 11,24 \%,$$

то для «тупого» резонанса

$$\frac{U_{500}}{U_{700}} = 80 \%.$$

Резонансные кривые ротоглоточных полостей соответствуют пунктирной кривой. Эти расчеты вскрывают сложность проблем резонанса и показывают, что к поискам различных «головных резонаторов» для «усиления» певческого звука надо относиться с большой осторожностью. Рассмотрим более подробно,

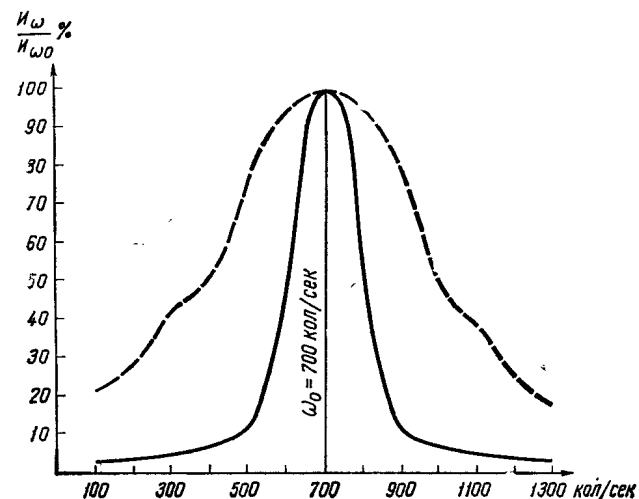


Рис. 4. Характеристические кривые резонатора с собственной частотой 700 гц. Сплошная кривая соответствует острому резонансу при малом активном сопротивлении. Пунктир соответствует большому активному сопротивлению (например, случай ротоглоточных полостей). Из графика видно, что ротоглоточные полости отзываются на широкую полосу частот

как выглядел бы певческий спектр, если бы ротоглоточные полости были хорошими резонаторами и обладали острой резонансной характеристикой. В этом случае из множества гармоник равной интенсивности (см. «Певческий голос», § 31) первоначального спектра пробиться во внешнее пространство, то есть достигнуть слушателя, могли бы три, максимум четыре гармоники. Например, если связки колеблются на частоте 100 кол/сек, то первоначальный певческий спектр может содержать 35—40 гармоник, достигающих частот 3500—4000 кол/сек. Но на пути этих гармоник стоят три резонатора: маленькое надсвязочное пространство с резонансной частотой $\omega_0=3000$ кол/сек, глотка — $\omega_0=700$ кол/сек и ротовая полость $\omega_0=1000$ кол/сек. Из формулы (2) следует, что резонаторы с острой характеристикой (незначительное R_a) подавляют и не пропускают посторонние частоты. Поэтому энергия почти всех многочисленных гармоник первоначального спектра была бы уничтожена реактивным сопротивлением резонаторов, и певческий спектр выглядел бы, как на рис. 5.

Верхняя певческая форманта (ВПФ) 3000 кол/сек имела бы самую маленькую амплитуду, так как, образовавшись в надсвязочном пространстве, она должна была бы преодолевать сопротивление двух резонаторов, стоящих на ее пути: глоточного и ротового. Доказательством подавляющего действия импеданса резонаторов служит тот факт, что в реальном певческом спектре вместо 30—40 гармоник равной интенсивности первоначального спектра остается всего несколько интенсивных гармоник.

Полезно заметить, что ВПФ ярче выделяется на гласной *и*, так как уменьшение и сужение ротового резонатора приближает его ω_0 к частоте ВПФ,—

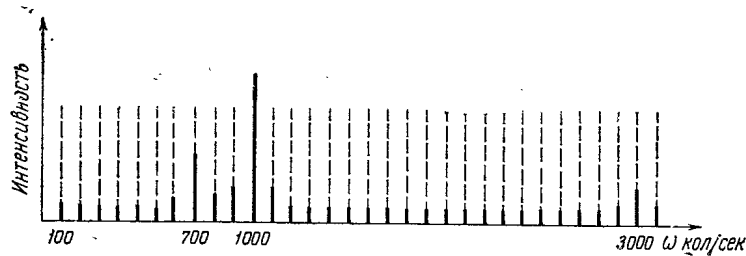


Рис. 5. Вид певческого спектра в предположении острого резонанса ротоглоточных полостей

гласная *и* как бы снимает один из барьеров, стоявших на пути ВПФ. Однако ротовая полость непосредственно не участвует в механизме образования ВПФ — она только помогает или тормозит прохождение частот ВПФ.

На рис. 6 представлены: А — первоначальный спектр гортани; Б — спектр профессионального мужского голоса на гласной *а* и на частоте 200 кол/сек; НПФ — нижняя певческая форманта; ФГ — форманта гласной; ВПФ — верхняя певческая форманта. Заметим, что гармоники всех музыкальных инструментов имеют более или менее ясную тенденцию к уменьшению интенсивности, когда их порядковый номер становится достаточно высоким, тогда как в певческом голосе двадцатая или тридцатая гармоника, соответствующая ВПФ, может превосходить по интенсивности все остальные гармоники спектра.

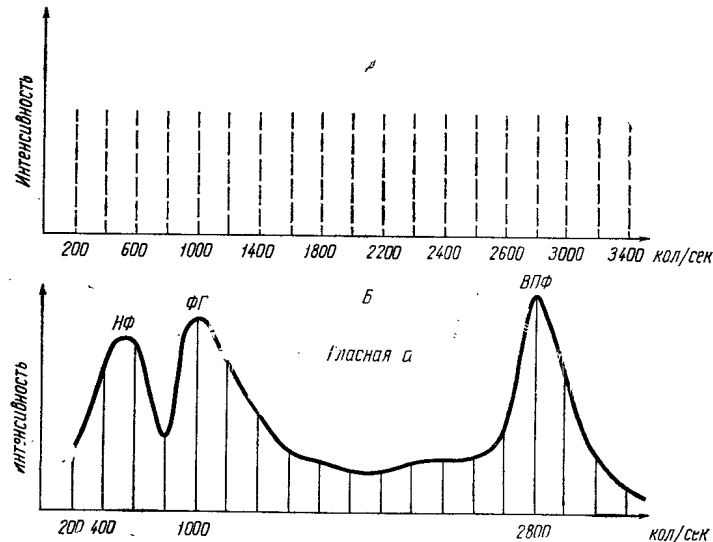


Рис. 6. А — спектр первоначального звука гортани; Б — спектр после прохождения звука через ротоглоточные полости; НПФ — нижняя певческая форманта; ФГ — форманта гласной *а*; ВПФ — верхняя певческая форманта. Амплитуда последнего пика колеблется в очень широких пределах и нередко превосходит по величине пики НПФ и ФГ

В отличие от всех формант и гармоник певческого спектра, изменяющих свои частоты в зависимости от артикуляции, ВПФ обладает следующими свойствами:

а) мужская ВПФ локализуется на частоте приблизительно 2700 кол/сек, женская ВПФ — на частоте 3200 кол/сек. Эти частоты определяются размерами резонатора, создаваемого надсвязочным пространством;

б) певец в широких пределах может управлять интенсивностью ВПФ, то есть блеском, металличностью своего голоса;

в) существуют мужские сильные голоса как с недостаточной интенсивностью ВПФ, так и с избыточной. Очевидно, что и те другие обладают надсвязочным резонатором, следовательно, интенсивность ВПФ должна зависеть от особенностей анатомического строения связок и характера (динамики) их смыкания. Дополнительную интенсивность ВПФ могут создавать так называемые «краевые тоны», или «тоны лезвий», то есть связки, и резонатор в какие-то моменты превращается в своеобразный свисток, находящийся у входа в ротоглоточный рупор. Следует вспомнить, что не все губы одинаково хорошо приспособлены для свиста. Эта гипотеза¹, выдвинутая нами в 1957 году, нашла позднее дополнительное теоретическое обоснование у Г. Фанта².

Все вышеизложенные теоретические соображения и факты не противоречат общей теории певческого тембра, изложенной Юссоном в § 31—34.

Теория тембра по Юссону. Частота среза

Теория тембра Юссона служит хорошим примером приложения принципа суперпозиции. Чтобы понять акустические процессы певческой фонации, следует рассматривать не звук в целом, а поведение каждой гармоники в отдельности и ей соответствующей звуковой волны. Если на поверхности воды длиной волны называется расстояние между двумя соседними гребнями, то для звуковых волн — это расстояние между двумя ближайшими максимальными сжатиями воздуха. Скорость распространения звука в воздухе $c = 330$ м/сек. Следовательно, повышенное давление, сжатие воздуха над связками переместится за секунду на 330 м, а за один период колебаний T сек — на расстояние $L = 330 T$. Величина L и является длиной звуковой волны. Но период T связан с частотой колебаний формулой:

$$\omega = \frac{1}{T} \quad \text{или} \quad T = \frac{1}{\omega}.$$

Следовательно, длина волны

$$L = \frac{330}{\omega}.$$

¹ Рудаков Е. Новая теория образования верхней певческой форманты. — В кн.: Применение акустических методов исследования в музыковедении. М., 1964.

² Фант Г. Акустическая теория речеобразования, М., 1964, с. 239.

³ Если период колебаний маятника $T = 0,1$ сек, то очевидно, что за секунду он совершит 10 кол, то есть $\omega = \frac{1}{0,1} = 10$ кол/сек.

Отсюда правило: чтобы определить длину волны любой гармоник, надо скорость звука разделить на частоту. Например, для $\omega = 160$ кол/сек $L = 330/100 = 3,3$ м. Теперь рассмотрим таблицу, дающую соотношение между частотами гармоник и длинами волн:

Частоты (кол/сек)	100	200	300	500	1000	2000	3000
Длины волн (см)	330	165	110	66	33	16,5	11

Максимальная длина ротоглоточного рупора равна приблизительно 25 см. Из таблицы видно, что только после 1000 кол/сек длины волн гармоник начинают укладываться в рупоре. Можно предполагать и без математического анализа, что для верхних частот спектра и «коротких» волн возникают какие-то качественно новые условия распространения.

Рассмотрим, как ведут себя частицы воздуха в рупоре при низких частотах, например, $\omega = 100$ кол/сек.

На рис. 7 изображена длина звуковой волны для частоты 100 гц и в соответствующем масштабе рупор (25 см). В точке *O* находится раскрывшаяся головная щель. Волнообразная кривая *ABCDE* дает графическую картину распределения звукового давления как в самом рупоре, так и во внешнем пространстве за один период колебания связок *T*. Заштрихованные области — это области повышенного давления. Область *BCD* — это область разрежения. В области *OAB*, включая и весь рупор, частицы воздуха под влиянием повышенного давления все движутся слева направо и, как говорит Р. Юссон, «целым блоком и в одной фазе». Никакого «распространения волн» в рупоре нет. Звуковая энергия передается во внешнее пространство только слоем частиц воздуха, совпадающим с отверстием рта. Здесь очень подходит аналогия с маятником: масса воздуха, которая колеблется как целое, — это маятник; импульсы подсвязочного

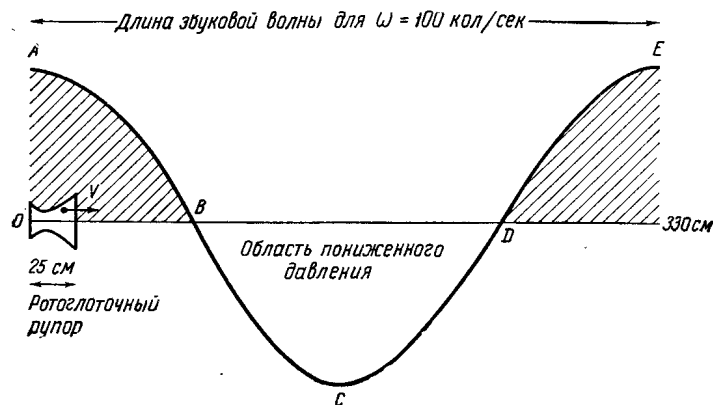


Рис. 7. Соотношение между длиной звуковой волны и ротоглоточным рупором

давления можно сравнить с импульсами руки, раскачивающей маятник или груз, висящий на пружине. Если такой «блок» воздуха в какой-либо полости ротоглоточного рупора начинает раскачиваться с характерной для данного объема собственной частотой ω_0 , то наступает явление резонанса, и гармоника в этой области спектра резко увеличивает свою интенсивность. Но так как резонанс не является «острым», то «блок воздуха» может раскачиваться не только на собственной частоте ω_0 , но и на ряде близких соседних частот. Поэтому в певческом спектре можно наблюдать, что по бокам от интенсивной частоты 1000 кол/сек располагаются интенсивные частоты 900 и 1100 кол/сек, прошедшие через один общий резонатор с $\omega_0 = 1000$ кол/сек. Не следует забывать, что мы должны анализировать явления на основе принципа суперпозиции и считать, что имеем дело только с одной частотой и одной волной. Мы уже высказали предположение, что в условиях распространения волн должен произойти какой-то качественный скачок для тех гармоник ω , длина волн которых начинает укладываться в рупоре. Точный математический анализ показывает, что он наступает на определенной критической частоте, которую Юссон назвал «частотой среза» (в смысле срезания резонансных явлений). Она лежит между 1900 и 2600 кол/сек в зависимости от различных характеристик рупора. Начиная с этой критической частоты движение частиц воздуха в рупоре в виде «блока» начинает заменяться «распространением волн». Теперь уже волна переносит звуковую энергию от голосовой щели во внешнее пространство, а не массивный блок частиц, скользящий по стенкам рупора. «Движение блоком» приводит к большим потерям звуковой энергии, но имеет также и положительные стороны: когда частота колебаний блока начинает совпадать приблизительно или точно с резонансной частотой какой-либо полости рупора, то в спектре создаются области больших энергий или формантные области, определяющие все гласные звуки или тембр гласных. При помощи фильтров можно срезать все частоты, лежащие выше «частоты среза», и распознаваемость речи останется неизменной, — речевой и певческий голос только теряют свой блеск и полетность.

Разбирая эти явления (§ 33), Юссон приходит к заключению, что гармоники певческого спектра, лежащие ниже частоты среза, проходя через ротоглоточный рупор, подвергаются большим изменениям (Юссон говорит — «искажениям»): одни теряют свою интенсивность, преодолевая импеданс, другие увеличивают интенсивность, попадая в резонанс полостей; гармоники, лежащие выше частоты среза, проходят свободно, не подвергаясь резонансному воздействию полостей.

Последнее подтверждается тем фактом, что несмотря на непрерывные изменения формы и объема полостей в процессе артикуляции гласных положение ВПФ в спектре остается неизменным, в то время как другие форманты непрерывно смещаются. Например, при переходе с гласной *a* на гласную *o* два формантных пика 700 и 1000 кол/сек заменяются пиками 535 и 780 кол/сек.

Теория певческого тембра Юссона может быть сведена к следующим положениям.

Певческий тембр является наложением (суперпозицией) двух тембров — тембра гласных, создаваемого гармониками, лежащими ниже частоты среза, и тембра верхних частот (ТВЧ), образуемого гармониками, расположенными выше частоты среза. К последним относится и верхняя певческая форманта (ВПФ).

Тембр гласных определяется собственными (резонансными) частотами полостей ротоглоточного рупора.

Тембр верхних частот (ТВЧ), включая и ВПФ, проходит через рупор, не подвергаясь воздействию явлений резонанса.

Частота среза, связанная с длиной ротоглоточного рупора, может оказывать влияние на индивидуальные особенности певческого тембра.

Повышая или понижая гортань, то есть изменяя длину рупора, певец оказывает существенное воздействие на качество своего тембра.

Исследования Л. Б. Дмитриева показали, что каждый певец подбирает для себя оптимальную длину рупора. Рекомендация певцу определенного положения гортани, например самого низкого (см. § 112, штаупринцип Армина), без учета индивидуальных особенностей его голосового аппарата, будет чистейшим догматизмом, противоречащим принципу «экономии» энергии и оптимального управления. Как и форма раскрытия рта, положение гортани, а следовательно, длина ротоглоточного рупора определяются поисками экстремальных решений сложной системы математических уравнений, объединяющей различные акустические параметры. Точные логические этапы этого решения выпадают из сознательного контроля. Здесь опыт, знания и слух педагога могут оказать певцу серьезную помощь в поисках правильного решения. Точные знания нужны для вокального искусства хотя бы потому, что они разрушают наивные теории и догматические подходы к формированию певческого голоса.

Юссон отмечает, что гармоники, лежащие выше частоты среза, создают сильный импеданс; гармоники нижней части спектра порождают слабый импеданс, за исключением тех случаев, когда их частота соответствует резонансу полостей рупора.

Это важное положение (см. § 33) без математики предшествующих разделов осталось бы мало понятным. Уже было отмечено, что

$$R_r = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right).$$

Для гармоник, лежащих выше частоты среза, реактивная часть импеданса будет определяться в основном величиной ωL , то есть реактивный импеданс будет тем больше, чем выше частота. Например, импеданс ВПФ (3000 кол/сек) в 30 раз больше импеданса, создаваемого, скажем, гармоникой основного тона 100 кол/сек.

Раскачивая маятник с частотой резонанса, мы можем сильными импульсами передать ему большую энергию и резко увеличить амплитуду его колебаний. Точно так же гармоника первоначального спектра гортани может раскачивать «блок воздуха» на резонансной частоте какой-либо полости ротоглоточного рупора.

Следует иметь в виду, что Юссон, рассматривая вокальную технику, использующую сильный импеданс и связанную у многих выдающихся певцов с низким положением гортани, не превращает это в обязательный рецепт для всех певцов. Он говорит и о промежуточных типах техники и высказывает предположение, что Армин применял свой «метод низкого положения гортани» (штаупринцип) только к сильным голосам.

О форме ротоглоточного рупора

Предшествующий анализ показывает, что говорить о звуке, импедансе или резонансе в общем и поверхностно бесполезно, — певец фактически управляет не звуком, а множеством звуков, из которых каждый отличается своим поведением и характером. В этом управлении используется ряд механизмов, контролируемых и не контролируемых сознанием. Видимо, немаловажную роль в процессах формирования певческого звука играют индивидуальные особенности строения ротоглоточного рупора, в частности нёбного свода. Не случайно многие исследователи делали попытки установить закономерные связи между формой рупора и качеством певческого голоса — снимались гипсовые слепки твердого нёба известных певцов, выводили эмпирические формулы, связывающие кривизну и длину нёбного свода с качеством фонации и величиной диапазона. В этом направлении много сделано Е. Н. Малютиным, И. Л. Ямштекиным, Л. Б. Дмитриевым и А. П. Здановичем. Однако их работы не привлекли к себе должного внимания и ряд ценных наблюдений еще не получил надлежащего теоретического истолкования.

Можно предположить, что форма рупора и нёбного свода оказывает особенно сильное влияние на поведение гармоник, лежащих выше частоты среза, или для тех гармоник, длина полуволны которых начинает укладываться в рупоре. В самом деле, когда воздух движется «целым блоком», он проскальзывает, как бы вытекает из рупорной трубы. Никаких отражений, фокусировки звуковой энергии нёбным сводом здесь не происходит. Фонацию низких частот (до 400—500 кол/сек) в какой-то мере можно сравнить с движением воздуха во время дыхания через рот. Совсем другое дело, когда «звуковые лучи» коротких волн начинают фокусироваться в нёбном своде в сферическом или параболическом зеркале. Теоретические основы для развития этого важного направления исследований частично уже заложены в последней диссертации Юссона 1965 года, но без экспериментального моделирования поведения различных частот в рупорах разной формы, сконструированных по существующим слепкам и рентгеновским снимкам, проблему, поставленную еще в начале нашего века Е. Н. Малютиным, разрешить невозможно. Исследования в этом направлении имели бы огромное значение и для определения типа певческого голоса, и перспективности занятия пением, и, наконец, для этиологии профессиональных певческих заболеваний.

Определение типа певческого голоса при помощи хронаксиметрии

В § 60 и 61 книги «Певческий голос» подробно излагается метод определения типа певческого голоса при помощи хронаксиметрии. Теоретически этот метод позволяет определить лишь верхний предел диапазона певческого голоса, но оставляет вне рассмотрения все его другие важные качества (тембр, силу), на основании которых педагог решает, квалифицировать ли певца, например, как тенора или баритона. Можно было бы высказать ряд сомнений по поводу целесообразности внедрения этого метода в широкую педагогическую практику, но для этого имеется все же очень мало оснований, так как в Советском Союзе он не был подвергнут обстоятельной, длительной и систематической проверке.

В конце 50-х годов в Акустической лаборатории Московской консерватории был проведен ряд удачных опытов по измерению хронаксии певцов. В результате этой работы были сделаны следующие выводы.

Независимо от того, проводит ли эту работу врач, физиолог, работавший с хронаксиметрами, или педагог-вокалист, ему надо будет произвести сотни опытов, чтобы приобрести безупречные навыки измерения хронаксии одной-единственной, а именно — находящейся на шее грудино-ключично-сосковой мышцы. Никаких особых познаний для этого не требуется, но необходимо приобрести большой практический опыт. Не имея навыков, на основе экспериментальных ошибок, можно начать баритонам приписывать теноровые хронаксии и наоборот. Очевидно, что подобные безответственные эксперименты с начинающими певцами проводить нельзя.

Хронаксиметры существуют импульсные и конденсаторные. Таблица Юссона составлена для конденсаторного хронаксиметра.

При постановке хронаксиметрических измерений надо учитывать конструктивные электротехнические особенности схемы прибора, и на основе большого статистического материала следует составить для данного прибора свою таблицу хронаксий для голосов различного типа.

Хронаксиметрическое изучение певческих голосов — тема больших научных и практических перспектив. Очевидно, без достаточного основания она остается вне поля зрения наших исследователей.

О некоторых терминах из физиологии

Этот раздел не претендует на изложение элементов физиологии нервной системы человека, а является справочной сводкой физиологических терминов, с которыми придется встретиться читателю при изучении книги «Певческий голос» и диссертации.

Основным элементом строения нервной системы является нейрон (рис. 8).

Нейроны по своим функциям разделяются на две группы: чувствительные нейроны принимают импульсы, идущие с периферии, — двигательные, наоборот, посылают импульсы на периферию. От клетки двигательного центра отходят разветвленные протоплазматические отростки, напоминающие дерево, — дендриты («дендрон» по-гречески — «дерево»). Кроме дендритов от клетки отходит длинный отросток, называемый аксоном. Длина аксона может достигать нескольких сантиметров. Контакт при помощи отростков между двумя нейронами называется синапсом (греческое «син» — «вместе», «апто» — «касаюсь»). На концах длинных отростков имеются специализированные приспособления: у чувствительных нейронов — разветвления, называемые рецепторами, передающие к центру раздражения, исходящие извне; у двигательных нейронов — окончания, называемые бляшками, которые передают импульсы мышечному волокну.

Нервная система человека разделяется на два отдела: центральный и периферический. К центральному отделу относится головной и спинной мозг, а к периферическому — нервы, идущие ко всем органам и тканям организма.

Особое развитие у человека получил головной мозг и кора его полушарий. В широком понимании обычно со словом «мозг» связывается наглядное представление о его полушариях, покрытых извилинами и бороздами. Понять дей-

ствительную структуру мозга проще всего из рассмотрения его в зародышевом (эмбриональном) состоянии.

Из схемы (рис. 9) видно, что мозг разделяется на пять различных формаций («пузырей»), которые в дальнейшем получают отчетливо различные структуры. Эти формации носят следующие названия: 1 — полушария, или конечный мозг; 2 — промежуточный мозг; 3 — средний мозг; 4 — задний мозг (позднее здесь образуется мозжечок); 5 — продолговатый мозг (бульба, или бульбарная часть, где находятся ядра нескольких нервов, играющих важную роль в управлении фонацией; продолговатый мозг, несмотря на его физиологическое значение, по сравнению с полушариями, невелик (в развитом состоянии имеет длину 28 мм, а в расширении — 24 мм).

Существенное значение для понимания ряда физиологических явлений имеют 12 пар так называемых черепномозговых нервов, выходящих из различных участков мозга на периферию. По давно установившейся международной традиции, эти нервы обозначаются римскими цифрами I—XII. Так, например, пишут: «ядро X». Это значит, что речь идет о ядре блуждающего нерва. На рис. 52 римскими цифрами отмечены ядра соответствующих нервов. Латинскими буквами, например NST, также обозначены ядра; читается: N (ядро) S (чувствительное) T (тройничного) нерва. (Подобные обозначения имеют некоторое сходство с химическими формулами — их, конечно, не следует заменять русскими буквами.)

Приводим для справок полный перечень всех черепномозговых нервов: I — обонятельный нерв; II — зрительный нерв; III — глазодвигательный нерв; IV — блоковый нерв; V — тройничный нерв; VI — отводящий нерв (иннервирует мышцу, с

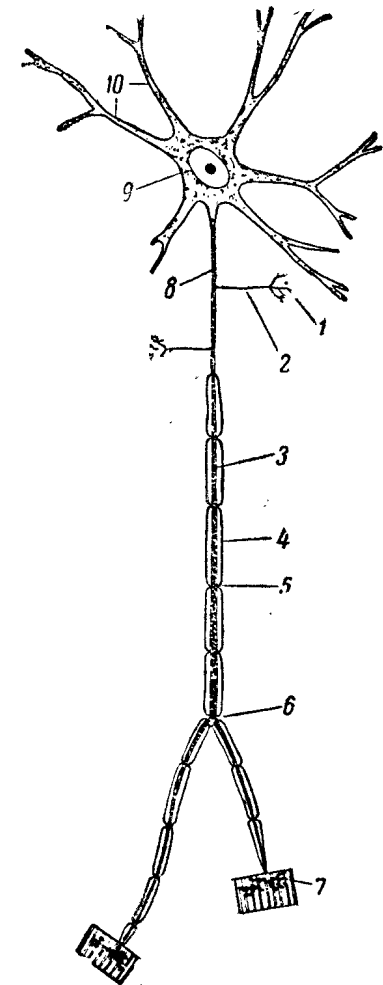


Рис. 8. Схема нейрона. 1 — концевое разветвление; 2 — боковая ветвь; 3 — аксон; 4 — миелиновая оболочка; 5 — перехват; 6 — деление нервного волокна; 7 — бляшка или окончание в мышце; 8 — начало аксона; 9 — тело клетки; 10 — дендриты

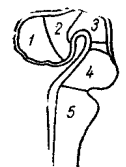


Рис. 9. Схема головного мозга в эмбриональном состоянии

помощью которой глаз окидывает широкое пространство); VII — лицевой нерв; VIII — слуховой нерв; IX — языкоглоточный нерв; X — блуждающий нерв, от которого отходит верхнегортанный нерв, иннервирующий перстне-щитовидные мышцы, натягивающие голосовые связки, и нижнегортанный нерв (возвратный), по теории Р. Юссона, управляющий колебаниями голосовых связок; XI — добавочный нерв; XII — подъязычный нерв.

В простейшем случае нерв можно представить себе как систему двух проводящих путей: по одному пути, восходящему (афферентному), идут от рецепторов импульсы возбуждения к центру; по другому, нисходящему (эфферентному), передаются импульсы возбуждения на периферию в рабочие органы — железы или мышцы. Например, прикосновение к горячему и мгновенное отстранение пальца — это сообщение (информация) по афферентному пути и команда мышцам из центра по эфферентному пути. Та же схема может быть применима и в певческом процессе. Внутренние ощущения певца, дошедшие до «центра», вызывают ответные команды для гортани или других периферических органов.

Приходящие извне возбуждения называются экстероцептивными («экстернус» — «наружный», «центус» — «полученный»). Возбуждения (ощущения), возникающие в мышцах или суставах, называются проприоцептивными. В отличие от экстероцептивных возбуждений, можно говорить и о внутренних ощущениях — интероцептивных.

Чувствительность к вибрациям и звуковым колебаниям называется палестезической. Если хотят подчеркнуть движение или наличие мышечных сокращений, то проприоцептивную чувствительность называют кинестезической.

Кроме 12 пар черепномозговых нервов, из спинного мозга, в соответствии с количеством позвонков, выходит на периферию 31 пара спинномозговых нервов, содержащих как двигательные, так и чувствительные волокна. В ряде нервов имеются волокна, относящиеся к вегетативной нервной системе, управляющей функциями всех внутренних органов. Деятельность этого отдела нервной системы находится вне сферы волевого и сознательного контроля.

Учение о высшей нервной деятельности было разработано И. М. Сеченовым и И. П. Павловым. Под рефлексом в теории Павлова понимается ответное действие организма на раздражение рецепторов чувствительных нервов, а рефлекторной дугой называется путь, по которому проходит раздражение в центральную нервную систему и по двигательным нейронам возвращается на периферию. В своей книге Юссон при рассмотрении вокально-телесных схем намечает некоторые рефлекторные дуги, тесно связанные с певческим процессом. Некоторые из этих рефлекторных дуг, относящихся к условным рефлексам, формируются не сразу, а в процессе длительного певческого обучения. Поэтому вокально-телесная схема, представляющая совокупность рефлекторных дуг, несет в себе индивидуальные особенности становления певца и признаки той или иной вокальной школы.

Современная гистология при помощи усовершенствованной микроскопии обнаружила, что кора головного мозга состоит из 14 миллиардов нервных клеток. К началу нашего столетия человеческий организм был расчленен на тысячи отдельных элементов и описаны их физиологические и анатомические функции. В мозгу было обнаружено множество «ядер» (скоплений нервных клеток), в которых оканчивались чувствительные и двигательные нервы, приходящие

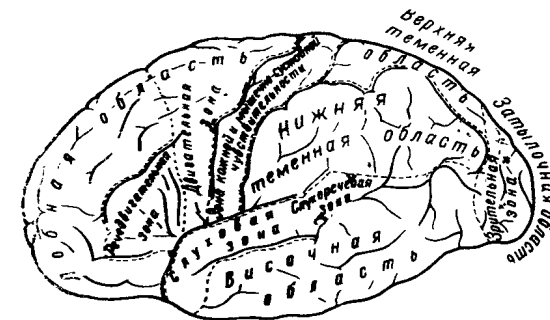


Рис. 10. Наименование и функции различных участков коры головного мозга

с периферии. Сам мозг был «размежеван» на десятки зон, или полей, и установлены их функции. Теперь известно, какие зоны управляют движением того или иного органа, где сосредоточены зрительные или слуховые ощущения, в каких участках формируется наша сознательная деятельность. На рис. 10 показаны функции различных полей.

Современная наука разрешила множество загадок физиологии мозга, но для нашего и будущих поколений все же остается необозримое множество неизвестного. Одной из загадок является и механизм работы голосовых связок. Так же, как электрон, мозг неисчерпаем для познания.

* * *

Диссертация «Исследование основных физиологических и акустических явлений певческого голоса» (1950) переведена Н. А. Вербовой. По указанию Юссона, эта работа печатается со значительными сокращениями. По поводу возможности перевода на русский язык диссертации он написал следующее: «Все, что я опубликовал в 1950 году, подверглось сильным изменениям в последующих работах. В частности, третья часть полностью пересмотрена в 1954 году, когда нами был открыт нейробиологический генезис регистров и переходов». Действительно, большинство наблюдений, теоретических концепций получили новое и более совершенное истолкование в книге «Певческий голос» (1960) и «Физиология фонации» (1962). Однако некоторые разделы диссертации не утратили своего значения и служат ценным добавлением к вышеупомянутым трудам.

Необходимо отметить и те серьезные трудности, которые возникли в связи с работой над переводом книги «Певческий голос». При первоначальном знакомстве с ней создалось неправильное впечатление, что перевод книги на русский язык несложен. Это, видимо, объяснялось тем, что французская медицинская терминология практически не отличается от традиционной латинской и как бы органически вливается в строй французского языка. Но не так обстоит дело с русским. Например, такие термины, как «эффектор», «соматогнозический» («телопознавательный»), «экстравокальный тембр» и другие не имеют точных

и установившихся эквивалентов в русском языке. Кроме чисто терминологических затруднений возникали и другие не менее трудные проблемы. Юссон подчас кратко и конспективно пересказывал в одном предложении содержание целых предшествующих параграфов книги, так как хотел создать единую логическую линию изложения материала. Точный перевод подобных предложений для достаточно широкого круга русских читателей, впервые знакомящихся с книгой Юссона, оказался невозможным и ненужным. Мы убедились в этом, когда, по выходе в свет французского издания, мною был сделан точный перевод первой и второй части «Певческого голоса», а О. П. Тарской — третьей: перевод оказался тяжеловесным, непригодным для публикации. Учитывая эти особенности переводимой работы, мы несколько «облегчили» строй юссоновской речи, сохранив при этом верность духу оригинала. Все незначительные сокращения или отступления от французского текста были продиктованы, таким образом, стремлением к наиболее точной и ясной передаче содержания книги.

В заключение необходимо сделать еще замечания, относящиеся одновременно к диссертации и к книге «Певческий голос»: а) на чертежах сохранены латинские обозначения Юссона, так как они широко распространены в мировой литературе, например, *Ar* — аритеноид (черпаловидный хрящ), *Ph* — фаринкс (глотка) и т. д.; б) везде в тексте и на треугольнике Хеллвага указаны французские гласные, так как наблюдения Юссона относятся к пению на французском языке; в) в своих трудах Юссон часто ссылается на имена многих ученых и певцов, но здесь у него нет никакой определенной системы: иногда указывается полностью имя и фамилия исследователя, иногда инициалы и фамилия, а некоторые исследователи, даже при первом упоминании, названы только по фамилии. Например: «Безольд и Надолечный» или «Шарль-Эмабль Батай и Штокгаузен». Добавлять инициалы к фамилиям в соответствии с правилами, принятыми в нашей научной литературе, мы сочли нецелесообразным, так как это могло нарушить особенности стиля автора.

Е. Рудаков

II ЧАСТЬ

Физиология ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА — ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга Рауля Юссона вызывает у читателя большой интерес. Впервые в истории вокального искусства в ней рассматриваются столь полно научные и практические проблемы, связанные с певческим голосом.

Во все времена люди умели петь, но в древности пение рассматривалось как естественный акт, и, возможно, поэтому греки не посвятили никакой музы этому виду искусства. Платон интересовался пением только как средством, позволяющим воспевать добродетели и воспитывать молодых граждан. Эта мысль, впрочем, возрождалась не раз и находила практическое воплощение. В античную эпоху учеников обучали пению, но никаких документальных сведений о методах воспитания певческих голосов до нас не дошло.

Издавна ученые стремились понять механизм певческого голосообразования, и уже у анатомов Галена, Везалия и Риолана мы находим первые указания на роль возвратного нерва в фонации. В середине XVIII века у медиков Ажена и Феррейна возникла мысль воспроизвести звуки, продувая воздух через трахею и гортань, отделенные от человеческого тела. Подобные опыты с большей полнотой были повторены Мюллером (1839) и Лермуайе (1886).

Некоторые певцы и профессора пения пытались внести вклад в изучение механизма голосообразования, описывая свои методы воспитания и развития голоса. Можно вспомнить имена Стефана де ла Мадлена (1830), Жильбера Дюпре (1857), Мануэля Гарсиа (1884), Лили Леман (1909), а в наше время — Жана Морана и многих других.

Большинство этих авторов оставили весьма полезные, иногда тщательно систематизированные указания на способы овладения певческим мастерством, но их физиологические концепции, основанные на истолковании своих внутренних ощущений, были во многом не точны.

В 1950 году появилась диссертация Рауля Юссона, новаторские идеи которой заставили произвести серьезный пересмотр миоэластической теории фонации, считавшейся классической еще со вре-

мен Лермуайе. Новая теория Юссона, названная нейрорхонаксической, была основана на некоторых концепциях Л. Лапика и явилась отправным пунктом для множества современных исследовательских работ.

Большой певческий опыт, физико-математическое образование, знание физиологии и биологии, наконец талант экспериментатора позволили Юссону дать в этой книге сжатый обзор современных научных представлений, относящихся к певческому голосу. В первой, теоретической, части книги рассмотрены новые физиологические истолкования механизмов голосообразования. Особое внимание обращено на колебание голосовых связок без подвязочного давления воздуха, изучение регистров певческого голоса, прикрытие звука и резонансные явления в ротоглоточных полостях. В этой же части вскрыта роль внутренней чувствительности, то есть ощущений поющего, и дана классификация певческих голосов.

Во второй части книги автор на основе физиологического анализа разделяет вокальную технику на несколько видов, в зависимости от величины импеданса, создаваемого певцом на уровне гортани, а также от степени назализации¹. Наконец, в третьей части, самой близкой к певческой практике, Юссон анализирует наиболее известные вокальные школы.

Я надеюсь, что читатели этой замечательной книги получат большое удовлетворение от знакомства с многообразными и сложными проблемами певческого голоса. Невольно вспоминается фраза Паскаля: «Все науки открывают для исследований бесконечные просторы».

Андре Мулонге

[член Национальной академии медицины]

¹ Назализация (лат. *nasus* — нос) — лингвистический термин — приобретение звуком носового оттенка. — Все примечания здесь и в дальнейшем принадлежат редактору.

ОТ АВТОРА

Предлагаемая небольшая книга не является учебником физиологии фонации, так как физиология голосового аппарата занимает в ней лишь четыре главы (из 16). Мы ограничиваемся изложением исследований, появившихся после 1950 года, и рассматриваем те факты, которые по-новому освещают физиологию певческого голоса. Мы обратили особое внимание на очень важную роль внутренних ощущений певца, на изучение возбудимости возвратного нерва — последнее позволяет дать определенное решение столь важной для певцов проблемы, как объективное определение типа певческого голоса.

Во второй части книги, состоящей из шести глав, впервые делается попытка провести полный физиологический анализ всех возможных видов вокальной техники. Понятие «вокальная техника», хорошо знакомое певцам, делается определенным и ясным только тогда, когда оно помещено в психофизиологические рамки и рассмотрено на основании всего комплекса рефлексов, связанных с голосообразованием. В отрыве от физиологии вопрос о научной вокальной технике является псевдопроблемой, так как в конечном итоге всякая вокальная техника выявляется при помощи определенных объективных факторов: тесситуры, силы голоса, тембра и т. д. Однако вокальная специфика этих глав не должна никого вводить в заблуждение — здесь та же физиология фонации, но с более сложными проблемами.

В третьей части, состоящей из шести глав, мы впервые даем физиологический анализ наиболее известных методов воспитания певческого голоса и соответствующих вокальных школ. Оставаясь в строгих рамках физиологии, мы анализируем вокальную технику, применяемую каждой школой, и показываем, к каким результатам она приводит певцов. Нам представляется, что подобная работа не была еще опубликована ни на одном языке.

В основе этой книги лежат материалы моих лекций по физиологии фонации, прочитанных в Сорбонне в 1952, 1954 и 1956 годах, а также ряд моих статей, опубликованных в журнале «Природа» начиная с января 1957 года.

Эту небольшую книгу мы сопровождаем нашей глубочайшей признательностью безвременно скончавшемуся выдающемуся физиологу Луи Лапику, который с 1935 года поддерживал наши идеи, казавшиеся в то время столь революционными и смелыми. В те годы он был единственным нашим союзником.

В равной мере мы выражаем благодарность администрации Национального центра научных исследований, предоставлявшей с 1949 года средства для проведения наших работ, а также А.-М. Монье, профессору физиологии в Сорбонне, открывшему нам доступ в свою лабораторию.

Особую благодарность я должен выразить Иву Рокару, профессору Сорбонны и директору Лаборатории физики Высшей нормальной школы, профессору психофизиологии Сорбонны доктору Андре Сулераку и двум выдающимся ларингологам, членам Национальной академии медицины, профессорам Андре Мулонге и Жоржу Портману, — все они в течение восьми лет, в то время, когда наши работы подвергались нападкам, оказывали нам большую помощь и моральную поддержку.

Париж, 1 января 1959 года.

Рауль Юссон.

ФИЗИОЛОГИЯ ФОНАЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ ГОРТАНИ

§ 1. Анатомия гортани. Работа К. Гёртлера (1948—1950)

Звуковая энергия, создаваемая в нормальных условиях гортанью, изменяется в чрезвычайно широких пределах: в разговорном голосе она увеличивается или уменьшается в тысячи, а при пении — в миллионы раз¹.

Гортань — это орган, расположенный в верхней части трахеи и состоящий из нескольких хрящей. Один из них лежит в основании гортани и называется перстневидным. Он представляет собой верхний видоизмененный хрящ трахеи, сильно утолщенный с одной стороны и напоминающий своей формой перстень, обращенный утолщением назад. Перед перстневидным хрящом немного выше помещается щитовидный хрящ. Его иногда сравнивают с раскрытой книгой, вертикально расположенный корешок которой направлен вперед. Выпуклая часть этого хряща образует на шее адамово яблоко, или кадык. На задней утолщенной части перстневидного хряща располагаются два небольших хряща, приближающихся по своей форме к трехгранным пирамидкам и называемых черпаловидными. Они сочленяются с верхним краем утолщения перстневидного хряща, образуя сустав, позволяющий им поворачиваться вокруг вертикальной оси. Основание каждого черпаловидного хряща имеет форму треугольника. Его передняя вершина получила название голосового (вокального) от-

¹ Акустическая мощность человеческого голоса, измеренная в физических единицах, например микроваттах, изменяется приблизительно в пределах от 0,001 мв (шепот) до 30 000 мв (пение), то есть в 30 000 000 раз.

Силой, или интенсивностью, звука называется количество звуковой энергии, проходящей через единицу поверхности в единицу времени, а громкостью звука называется наша субъективная оценка силы звука. Между изменениями силы звука и его громкостью не существует пропорциональной зависимости: если сила звука изменяется в миллионы раз, то наша субъективная шкала оценок громкости звуков от самых слабых до самых сильных, вызывающих болевое ощущение, оказывается разделенной не на миллионы, а только на сотни единиц. Поэтому для определения силы звука введена специальная единица измерения — децибел (дб), приспособленная к нашим субъективным оценкам громкости. 1 дб соответствует едва уловимому на слух приросту громкости. По данным Юссона, сила голоса некоторых певцов достигает 120 дб на расстоянии 1 м от микрофона, при помощи которого производится измерение.

ростка, а вершина, идущая назад и слегка вбок, — мышечного отростка. Из этих хрящей только один перстневидный почти неподвижен: он связан с трахеей и лишь повторяет ее движения по вертикали.

Рассмотрим расположение некоторых мышц гортани.

Черпаловидные хрящи плотно прикреплены рядом мышечных пучков к перстневидному хрящу. Эти пучки идут от ребер и граней пирамидок почти во всех направлениях. На рис. 2 показаны: черпаловидные мышцы (AA), соединяющие задние грани обеих пирамидок; задние перстне-черпаловидные мышцы (CAP), соединяющие мышечные отростки с задней стороной перстневидного хряща; боковые перстне-черпаловидные мышцы (CAL), связывающие мышечные отростки с боковыми сторонами перстневидного хряща. От средней части щитовидного хряща к голосовым отросткам проходят две мощные эластичные связки (истинные голосовые связки) AB (рис. 1, 3 и 4). В действительности голосовые связки не лентообразны, а имеют значительную толщину. Основную массу связки составляют внутренние

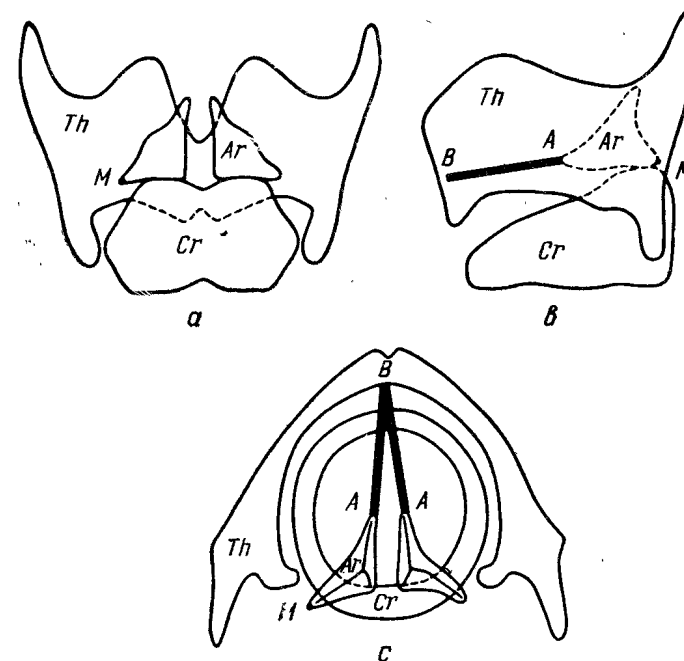


Рис. 1. Контуры хрящей гортани и схема прикрепления голосовых связок. а — вид сзади; б — вид сбоку; в — вид сверху. Cr — перстневидный хрящ; Ar — черпаловидный хрящ; Th — щитовидный хрящ. М — мышечный отросток черпаловидного хряща; В — переднее прикрепление голосовых связок к щитовидному хрящу; А — заднее прикрепление голосовых связок к голосовому (вокальному) отростку черпаловидных хрящей. АВ — голосовые связки

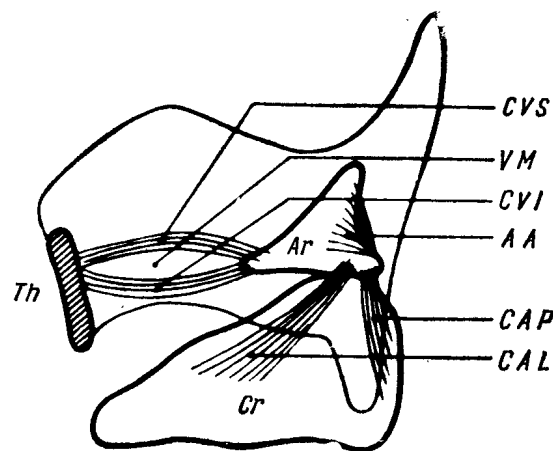


Рис. 2. Схема расположения внутренних мышц гортани. CVS — слабые пучки в ложных голосовых связках; VM — мюрганиев желудочек; CVI — мышцы истинной голосовой связки; AA — черпаловидные или межчерпаловидные мышцы; CAP — задние перстне-черпаловидные мышцы; CAL — боковые перстне-черпаловидные мышцы; Th — щитовидный хрящ; Cr — перстневидный хрящ; Ar — черпаловидный хрящ

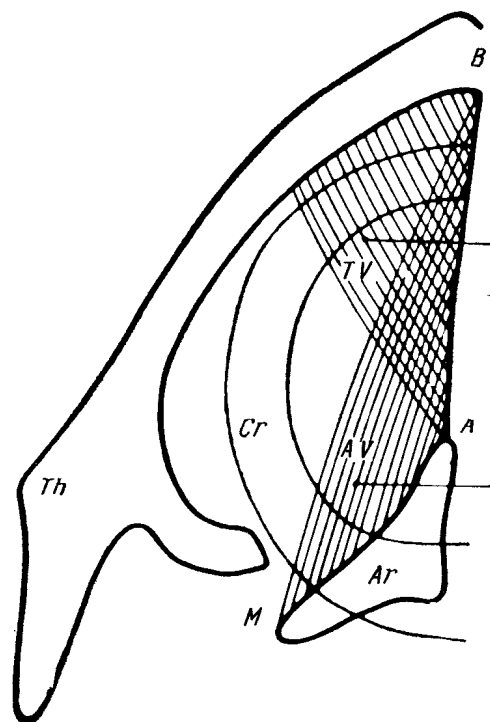


Рис. 3. Схема расположения волокон в голосовой мышце. TV — щито-голосовой или щито-связочный пучок; AV — черпало-голосовой или черпало-связочный пучок

щито-черпаловидные (голосовые) мышцы, покрытые со стороны просвета гортани мощным слоем соединительной ткани, состоящей из эластичных волокон. Этот соединительнотканый слой спускается вниз и прикрепляется к верхнему краю перстневидного хряща. Верхний внутренний утолщенный край его протягивается между вокальным отростком и щитовидным хрящом, образуя край истинной голосовой связки. Все это соединительнотканное образование называется эластическим конусом гортани. В каждой голосовой мышце можно выделить две системы косых волокон. Эти системы расположены следующим образом (рис. 3): одна, начинаясь от внутренней поверхности щитовидного хряща и прикрепляясь другим концом наподобие «зубцов гребенки»,

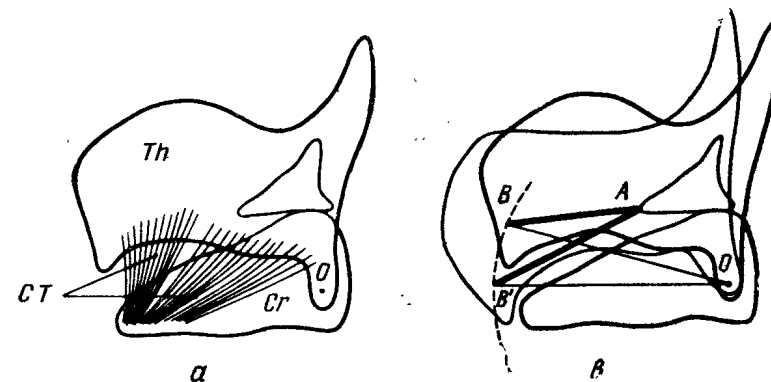


Рис. 4. Механизм натяжения голосовых связок за счет наклона щитовидного хряща. CT — волокна передней перстне-щитовидной мышцы; O — перстне-щитовидное сочленение, где находится ось вращения щитовидного хряща. При его наклоне связка AB переходит в положение AB' и удлиняется

идет в соединительнотканый край голосовой связки; другая от основания наружной поверхности голосового отростка черпаловидного хряща также идет к соединительнотканному краю голосовой связки. Первая система волокон образует щито-голосовой пучок (TV), вторая — голосовой для черпало-голосовой пучок (AV).

Долгое время считали, что каждая голосовая связка состоит из продольных волокон, другими словами, из волокон, соединяющих непосредственно переднее внешнее ребро основания каждого черпаловидного хряща со щитовидным хрящом. Однако это представление не соответствует действительности. В 1950 году К. Гёртлер сделал одно из наиболее значительных открытий в области анатомии гортани, показав, что продольных волокон не существует, а голосовая связка представляет собой две системы перекрещивающихся волокон, которые, как зубцы гребенки, прикрепляются к ее внешнему эластичному покрову¹.

В дальнейшем мы поймем всю важность этого открытия, а пока дадим название этой двойной системе пучков по имени их исследователя — «гёртлеровские мышечные волокна голосовых связок».

Следует отметить, что щитовидный хрящ сочленяется в двух симметричных точках справа и слева с перстневидным хрящом и может качаться вниз и вперед под воздействием перстне-щитовидных мышц (CT) (рис. 4), образующих по два пучка с каждой стороны.

¹ Вопрос о направлениях мышечных пучков в голосовых связках до сих пор не может считаться окончательно решенным. Ряд исследователей подвергли сомнению, как слишком упрощенную, схему расположения волокон, предложенную Гёртлером. Несомненно одно: пучки идут не параллельно, а в различных направлениях, что дает голосовым связкам огромные возможности для приспособления во время речевой и певческой фонации.

§ 2. Действие гортанных мышц. Приведение голосовых связок в фонационное положение

Предположим, что голосовая щель (*Gl*) открыта (рис. 5). При этом черпаловидные хрящи должны быть раздвинуты или, как говорят, должны находиться в позиции отведения под действием сокращения задних перстне-черпаловидных мышц. Сократим теперь черпаловидные мышцы (*AA*), одновременно расслабив задние перстне-черпаловидные (*CAP*). Теперь черпаловидные хрящи (теоретически) должны сблизиться своими вертикальными внутренними ребрами (рис. 6). При этом голосовая щель необязательно сомкнется, так как голосовые отростки могут оставаться раздвинутыми.

Оставляя черпаловидные мышцы в сокращенном состоянии, добавим сокращение боковых перстне-черпаловидных мышц; теперь голосовые отростки плотно сомкнутся и голосовая щель закроется (рис. 7). Таким образом, закрытие голосовой щели происходит под воздействием черпаловидных и боковых перстне-черпаловидных мышц (*CAL*). Если к этому добавится сокращение перстне-щитовидных мышц, то произойдет наклон вниз и движение вперед щитовидного хряща. Это вызовет дополнительное натяжение связок, способных к значительному удлинению. Следовательно, перстне-щитовидные мышцы осуществляют функцию натяжения голосовых связок, когда последние находятся в сомкнутом состоянии (рис. 4). В дальнейшем будет показано, что натягивающее действие повышает мышечную возбудимость, играющую первостепенную роль для верхних звуков каждого регистра и механизма прикрытия звука.

Когда осуществлено это двойное действие смыкания и натяжения, то говорят, что голосовые связки находятся в фонационном положении. Очевидно, что активное сокращение самих голосовых связок не является причиной вышеописанных мышечных сокра-

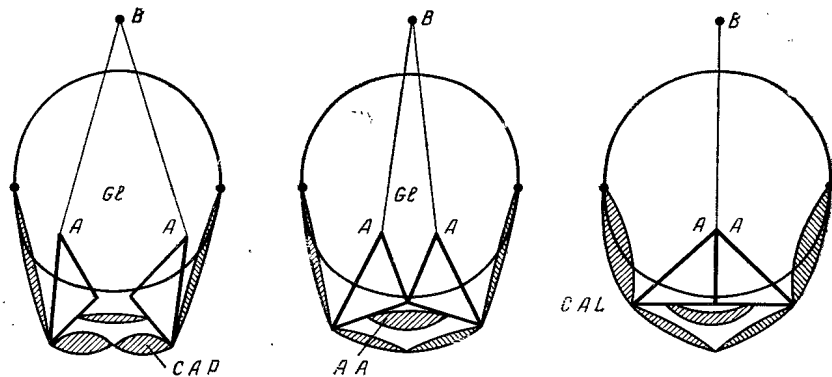


Рис. 5, 6 и 7. Схема действия гортанных мышц при смыкании голосовой щели *Gl*

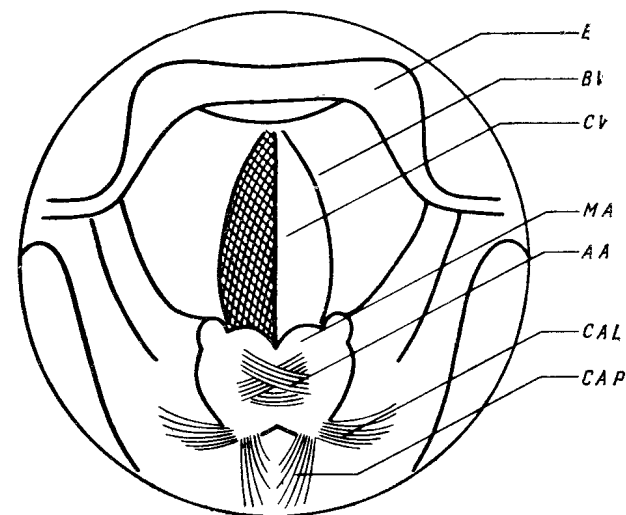


Рис. 8. Схематический вид гортани и гортанных мышц; *E* — надгортанник; *BV* — ложные голосовые связки и линия морганиева желудочка; *CV* — голосовые связки; *MA* — выступы черпаловидных хрящей; *AA* — косая черпаловидная мышца; *CAL* — боковая перстне-черпаловидная мышца; *CAP* — задняя перстне-черпаловидная мышца

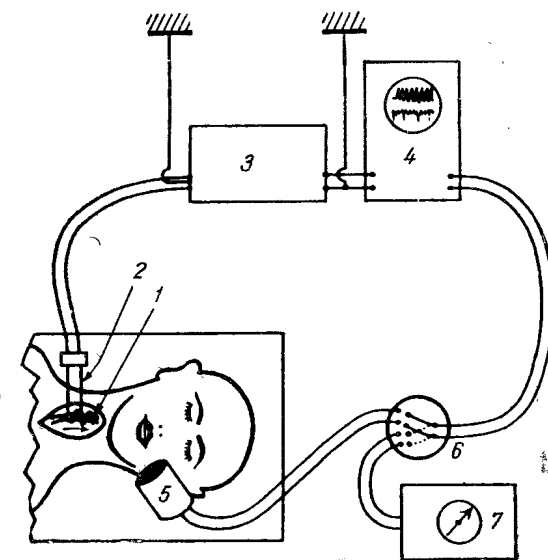


Рис. 9. Схема опытов А. Мулонге (1952—1953). 1 — правый гортанный нерв; 2 — приемные электроды; 3 — усилитель; 4 — осциллограф; 5 — микрофон; 6 — коммутатор; 7 — генератор, дающий отметки частоты

щений. Связки обрели лишь «тонус покоя», впрочем весьма неустойчивый: вследствие натяжений, которым они подвергаются, они закрыли голосовую щель только потому, что вступившие в действие мышцы сомкнули вокальные отростки черпаловидных хрящей, вызывая при этом продольное натяжение эластичного покрова связок (рис. 8).

Все вышеописанные мышцы, кроме перстне-щитовидных, получают двигательные импульсы от нижнегортанного нерва, называемого возвратным, или рекуррентным. Фактически каждое мышечное волокно возбуждается своим собственным двигательным аксоном¹, и, таким образом, каждая мышца имеет свой собственный двигательный нерв при наличии у них общего нервного ствола. Перстне-щитовидные мышцы получают двигательные импульсы от верхнегортанного нерва независимо от остальных, хотя верхне- и нижнегортанные нервы имеют соединительную ветвь. Из этого следует, что смыкание голосовой щели обеспечивается возвратным нервом, ее раскрытие — задними перстне-черпаловидными мышцами, а натяжение связок — верхнегортанным нервом, когда уже осуществлено их смыкание.

Мы еще ничего не говорили о роли сокращения внутренних щито-черпаловидных мускулов, то есть о самих голосовых связках. К этому вопросу мы подойдем после обзора ряда опытов и замечательных исследований, проведенных в 1951—1958 годах в Париже, Загребе, Лилле, Турине и Буэнос-Айресе и открывших существование новой нейромышечной функции гортани. Эта функция совершенно отлична от действий расширения, сжатия или натяжения, описанных выше, и носит чисто фонационный характер.

§ 3. Длительные импульсы возвратного нерва во время фонации. Опыты А. Мулонге (Париж, 1952—1953)

Для точного выяснения поведения голосовых связок во время фонации необходимо сначала изучить двигательную активность возвратного нерва при возникновении гласных звуков. Для этой цели помещают приемные электроды на этот нерв и регистрируют его электрическую активность во время фонации. Подобные чрезвычайно трудные опыты были осуществлены в первый раз А. Мулонге в Париже и три раза повторены в период с ноября 1952 по июнь 1953 года. В них принимали участие в качестве хирурга доктор Леру-Робер, а электрофизиологическая часть опытов была обеспечена докторами Лаже, Сомоном, Гайяром, Ванье, Шенеем и автором этой книги. Опыты проводились на больных, сохранивших удовлетворительную фонацию, но у которых по случаю рака намечалось полное удаление гортани. В первой стадии операции на обнаженный возвратный нерв помещались приемные электроды (рис. 9) и больному предлагали издать какой-либо гласный звук,

¹ Аксон — отросток нервной клетки, проводящий нервный импульс от тела клетки к периферии.

передаваемый микрофоном в регистрирующую аппаратуру. При помощи двухлучевого осциллографа одновременно записывались электрическая активность возвратного нерва и звуковые колебания. На фотопленке регистрировались две соответствующие кривые.

Опыт удался полностью 3 июня 1953 года. Просмотр полученных пленок позволил установить, что в каждый момент колебания голосовых связок точно совпадали с импульсами возвратного нерва. На некоторых участках записей даже можно было заметить, что электрическая активность возвратного нерва опережает начало звука на 0,07—0,08 сек. Этот факт указывает на то, что импульсы возвратного нерва являются центробежными и, следовательно, двигательными. Ввиду большой трудности эти опыты до настоящего времени не были повторены ни в одной другой стране. Они доказывают, что периодические раскрытия голосовой щели при фонации вызываются нервными импульсами того же периода, идущими от возвратного нерва к голосовым связкам. Это значит, что частота импульсов возвратного нерва определяет частоту звука, создаваемого гортанью.

§ 4. Особые физиологические свойства возвратного нерва. Работы Э. Корвёфа и Р. Гайяра (1955)

Вышеописанные опыты установили в возвратном нерве наличие продолжительных и многократно повторяемых импульсов звуковой частоты, что заставляет говорить об особых свойствах этого нерва. Особенности возвратного нерва были хорошо изучены в Физиологической лаборатории Сорбонны известными электрофизиологами Э. Корвёфом, Р. Сомоном и И.-М. Гаргуем. Их исследования ясно показали, что возвратный нерв, по сравнению с другими двигательными нервами у млекопитающих, располагает очень высокими энергетическими резервами.

В 1955 году в той же лаборатории доктора Р. Гайяр, Л. Лабарак и автор этой книги подвергли исследованию многих оперных певцов и певиц (Берта Монмарт, Симона Кудерк, Рене Бианко, Андре Ришар и др.). Для изучения притупления возбудимости нерва мы использовали метод измерений, предложенный профессором А.-М. Монье. Полученные результаты позволяют предполагать, что у певцов двигательные бульбарные ядра возвратного нерва находятся в состоянии повышенной ритмической активности, близкой к авторитмичности. Этот факт, видимо, объясняет ту легкость, с которой эти ядра приводятся в действие.

§ 5. Реакция голосовых связок на двигательные импульсы возвратного нерва. Электромиографические опыты Ж. Портмана (Париж, 1954—1957)

Для изучения реакции голосовых связок на двигательные импульсы возвратного нерва исследователями был использован метод электромиографии. Он состоит в том, что очень тонкие иголь-

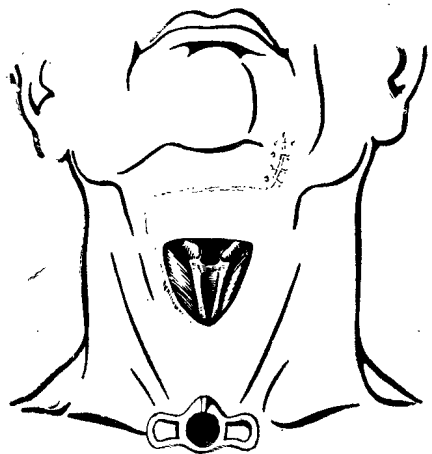


Рис. 10. Опыты Ж. Портмана (1954—1956). Схематический вид операции, обнажившей голосовые связки. Получена непосредственная электрофотография голосовых связок во время фонации. Вверху отчетливо видны черпаловидные хрящи

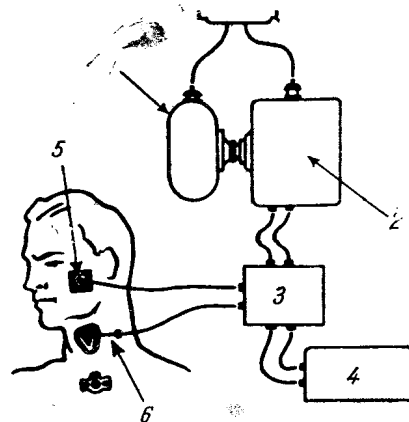


Рис. 11. Схема опытов Ж. Портмана. Движение светового пятна на экране осциллографа регистрировалось кинокамерой. 1 — кинокамера; 2 — осциллограф; 3 — усилитель; 4 — электропитание; 5 — пластина второго электрода; 6 — игольчатый электрод

чатые электроды погружаются в какую-либо работающую мышцу, чтобы зарегистрировать ее электрическую активность. Эти опыты следует проводить *in vivo*¹ и во время фонации (рис. 10 и 11).

Подобные опыты были проведены первый раз в Париже в госпитале Беллан и повторялись много раз в период 1954—1957 годов.

Работой руководил член Академии медицины, профессор Жорж Портман, хирургическая часть была обеспечена доктором Ж.-Л. Робеном, а часть «электрологическая» — докторами Р. Юмбером, П. Лаже, Р. Сомоном, Ж. Ванье и автором этих строк.

Опыты дали ряд интересных результатов.

Во-первых, удалось зарегистрировать потенциалы действия мышц голосовых связок. Их длительность оказалась очень короткой, порядка 0,8—0,9 мсек, что соответствует приблизительно длительности импульсов прямых глазо-двигательных мышц.

Во-вторых, было установлено, что во время фонации подвижные элементы голосовых связок каждое мгновение ритмически сокращаются с частотой, соответствующей частоте звуков голоса и частоте двигательных импульсов возвратного нерва, как это было показано в опытах А. Мулонге (§ 3).

Эти результаты и сами по себе и особенно в связи с опытами Андре Мулонге ясно доказывают, что ритмические раскрытия голосовой щели во время фонации вызываются двигательными им-

¹ *In vivo* (лат.) — изучение объекта в живом виде, в противоположность *in vitro* — изучение «под стеклом», в виде препарата.

пульсами возвратных нервов. Эти импульсы в соответствующих фазах сокращают гёртлеровские мышечные волокна голосовых связок (рис. 3).

Напомним, что уже в 1933 году О. Хейман (Франкфурт-на-Майне) на основе хороших наблюдений в ларингостробоскоп предположил, что импульсы возвратного нерва могут создавать колебания голосовых связок по крайней мере в грудном регистре.

§ 6. Об анатомии и гистологии правого и левого возвратного нерва. Работы Елены Кромпотич (1956—1958)

Механизм фонации, рассмотренный выше, подвергался критике и вызывал следующие сомнения: известно, что левый возвратный нерв, проходящий под дугой аорты, приблизительно на 10 см длиннее правого. Поэтому импульсы, идущие по левому возвратному нерву, должны были бы доходить до голосовой связки с опозданием на 0,002 сек, то есть запаздывать или отставать в приходе к связке от импульсов, идущих по правому нерву. Для звука $c^1 = 250$ кол/сек эта разница должна была бы составить половину периода колебания¹, и, следовательно, когда правая связка отходила бы от средней линии, то левая должна была бы к ней приближаться, и наоборот. На деле подобная картина не наблюдается.

В 1957 году профессор анатомии Е. Кромпотич (Югославия) в своей замечательной работе показала, что двигательные аксоны левого возвратного нерва имеют больший диаметр, чем аксоны правого. Эта разница составляет в среднем 0,0019 мм. Установлено, что скорость распространения импульсов в аксоне увеличивается с увеличением его диаметра приблизительно на 6 м/сек на каждую 0,001 мм приращения диаметра. Таким образом, больший диаметр левых аксонов компенсирует разницу в длине обоих нервов и поэтому импульсы по обоим ветвям приходят к связкам одновременно.

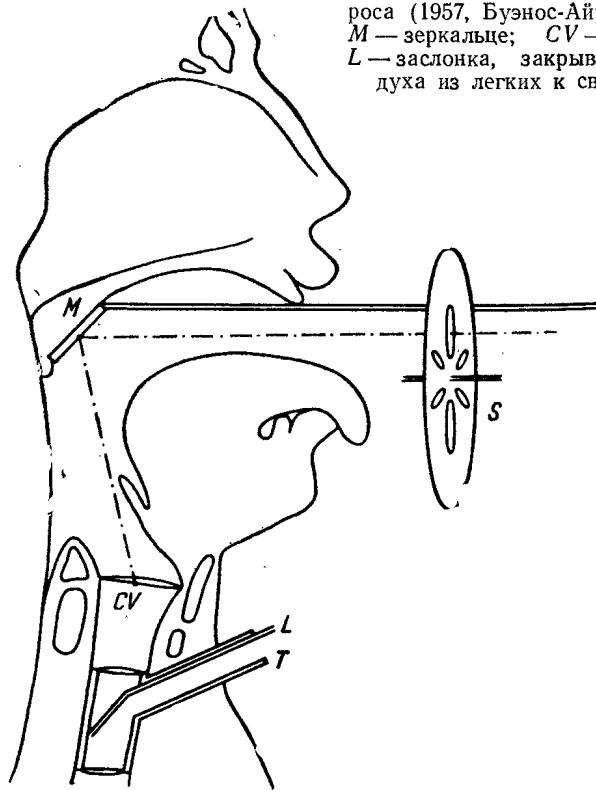
Кроме того, Е. Кромпотич показала, что подобная разница в диаметрах не существует ни у новорожденных, ни у глухонемых от рождения, ни у немых. Эта разница, видимо, появляется в результате функциональной эволюции наших органов и представляет собой исключительно важное явление.

§ 7. Колебания голосовых связок без подсвязочного давления воздуха

В нашей диссертации (1950) были рассмотрены экспериментальные факты и наблюдения, убедительно доказавшие, что колебания голосовых связок не являются колебаниями, создаваемыми

¹ Период колебания для $c^1 = 0,004$ сек.

Рис. 12. Схема опыта Л. Галли и Ж. Квираса (1957, Буэнос-Айрес). *S* — стробоскоп; *M* — зеркальце; *CV* — голосовые связки; *L* — заслонка, закрывающая доступ воздуха из легких к связкам; *T* — трубка



мышечной упругостью связок и давлением воздуха, а представляют собой нервно-мышечную активность, возбуждаемую возвратным нервом, частота колебаний голосовых связок определяется частотой импульсов возбуждения, идущих по этому нерву.

Наиболее убедительным доказательством этого положения была бы возможность наблюдения колебаний голосовых связок без подсвязочного давления воздуха. Вышеописанные опыты Мулонге (1952—1953) и Портмана (1954—1956) позволяли надеяться, что возможность подобных наблюдений будет найдена.

Уже в 1951—1952 годах П. Лаже производил возбуждение возвратного нерва собаки электрическими импульсами. Он постепенно увеличивал частоту электрических колебаний и одновременно наблюдал связки в ларингостробоскоп: наблюдалось дрожание краев голосовых связок с частотой, соответствующей частоте возбуждающих импульсов. Эти дрожания напоминали собой поведение голосовых связок во время фонации.

В 1956 году в Лилле это явление наблюдалось снова, но уже на гортани человека и в других экспериментальных условиях. Ж. Пике, Ж. Декруа, К. Либерса и Ж. Дюжордан при помощи

ускоренной киносъемки получили фильм, запечатлевший поведение голосовых связок как с подсвязочным давлением воздуха, так и без него. В обоих случаях колебания голосовых связок производили впечатление почти тождественных.

В 1957 году К. Мюндних (Мюнхен) произвел такую же киносъемку гортани человека, но заметил появление маленьких пузырьков воздуха на краях голосовых связок и сделал вывод, что этот воздух и приводит в колебательное состояние всю их массу. В том же году профессора Л. Галли и Ж. Бернальдо де Квираса в Буэнос-Айресе снова наблюдали колебание голосовых связок без подсвязочного давления воздуха. Опыты проводились на больной, у которой были парализованы некоторые мускулы гортани, обеспечивающие раскрытие связок и образование голосовой щели. Испытуемая дышала через отводную резиновую трубочку, введенную в рассеченную трахею. Несмотря на это нарушение в дыхательном тракте, у больной сохранился хороший голос. Отводная трубочка из трахеи была сконструирована таким образом, что позволяла отводить воздух во внешнее пространство, и таким образом ликвидировалось подсвязочное давление, необходимое для создания звука. Как только прекращалась подача воздушного давления под связки, звук исчезал, но наблюдатель продолжал видеть колебания голосовых связок, которые прекращались только с окончанием выдоха (рис. 12).

Опыты Галли и де Квираса особенно знаменательны тем, что они впервые выявили наличие синкинезии¹, объединяющей у взрослых людей возникновение колебаний голосовых связок с началом выдоха. Эта функциональная связь, видимо, устанавливается с детства и переходит в устойчивый рефлекс. Это явление мы назвали «синкинезией Галли и Квираса». Оно хорошо объясняет, почему у нормальных взрослых людей крайне трудно возбудить колебания голосовых связок без подсвязочного давления воздуха, тогда как подобные колебания сравнительно легко наблюдаются у больных с различными поражениями центральной нервной системы. К. Гёртлер в 1958 году дал очень глубокий анализ этой синкинезии, однако на этой проблеме мы останавливаться не будем.

§ 8. Изучение колебаний голосовых связок по методу Ф. Фабра (1957)²

В эти же годы (1957) Ф. Фабр, профессор биофизики медицинского факультета в Лилле, изобрел электронную аппаратуру, позволяющую изучить движение голосовых связок без непосредствен-

¹ Синкинезия — совместное действие двух или нескольких органов в одном направлении, в данном случае для создания звука.

² Этот метод называется «электрической глоттографией».

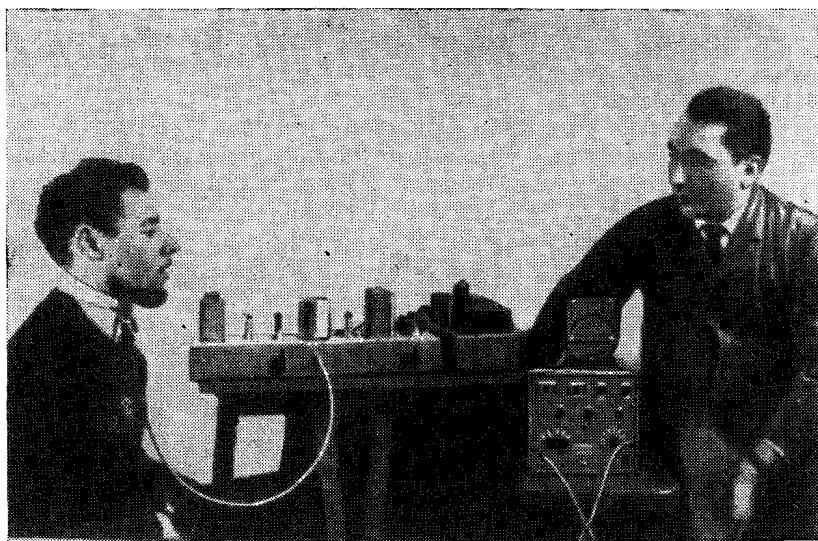


Рис. 13. Изучение колебаний голосовых связок при помощи аппарата Ф. Фабра в лаборатории Р. Юссона

ного наблюдения гортани через ротоглоточную полость. В области ларингологии и фонологии это открытие можно признать наиболее важным со времени изобретения М. Гарсиа в 1855 году ларингоскопа.

Метод наблюдений Ф. Фабра состоит в следующем: два электрода накладываются на шею испытуемого по обе стороны крыльев щитовидного хряща; между электродами и, следовательно, через гортань и связки пропускается ток высокой частоты (200 000 кол/сек), но незначительной интенсивности. При помощи специальной электронной аппаратуры можно наблюдать и регистрировать на осциллографе изменения протекающего через связки электрического тока (рис. 13).

Когда испытуемый издает звук, например, 150 кол/сек, то периодические раскрытия голосовой щели изменяют сопротивление между электродами, что вызывает в свою очередь периодические движения пятна на экране осциллографа. Это пятно вычерчивает волнообразную кривую, период которой соответствует периоду звуковых колебаний, то есть частоте основного тона, пропетого испытуемым. Полученная кривая дает графическое изображение движения голосовых связок как функцию времени. Этот остроумный метод позволяет детально изучить все особенности поведения голосовых связок во время фонации (рис. 14).

В 1958 году О. Сабуро и Ф. Грени при помощи метода Ф. Фабра легко обнаружили колебание голосовых связок без подсвязочного давления воздуха. В своих опытах они использовали двухлучевой катодный осциллограф, позволяющий одновременно ре-

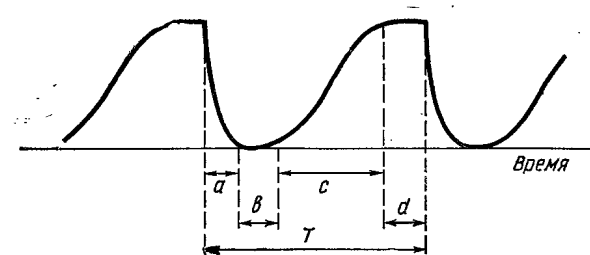


Рис. 14. График движения голосовых связок (глоттограмма). T — полный период колебания связок; a — время раскрытия голосовой щели; b — время, в течение которого щель остается раскрытой; c — время смыкания связок; d — время, в течение которого щель закрыта

гистрировать на фотопленку колебания голосовых связок (глоттограмму) и звуковые колебания голоса испытуемого (фонограмму). Наблюдения производились на двух больных. Было зарегистрировано 15 случаев, когда связки продолжали колебаться после окончания звука или начинали свои колебания, значительно опережая возникновение звука (рис. 15). Это явление названо нами диссоциацией или разъединением звукообразования и колебаний голосовых связок. Диссоциация наступала либо после окончания гласной, либо перед ее началом. Она наблюдалась также и в середине слова на глухих согласных: связки продолжали без перерыва свои колебания. Наблюдались также колебания голосовых связок независимо от возникновения звука при неудавшихся попытках к речевой атаке (случаи заикания).

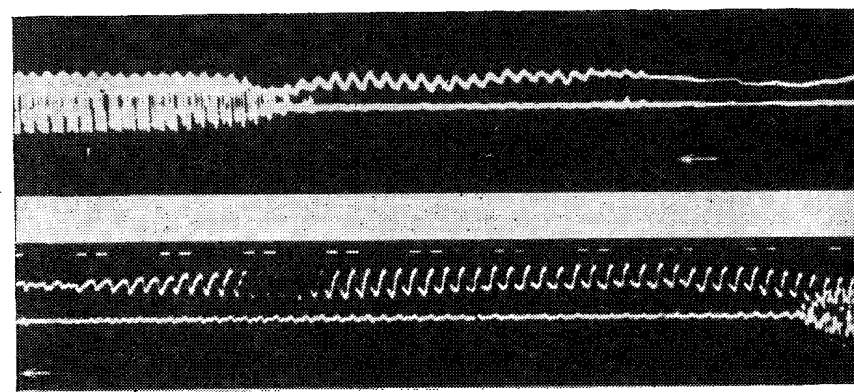


Рис. 15. Опыты О. Сабуро и Ф. Грени. Распадение звукообразования и колебаний голосовых связок. Верхняя кривая — глоттограмма, нижняя — фонограмма. Видно, что связки начинают колебаться до начала возникновения звука и совершают около 50 колебаний после его прекращения

§ 9. Как формируется первоначальный звук гортани

Теперь мы располагаем всеми элементами, позволяющими понять механизм колебаний голосовых связок во время фонации.

Предположим, что голосовые связки сомкнуты, и черпаловидные хрящи находятся в контакте (§ 2), и к ним приходят двигательные импульсы от возвратного нерва в соответствующей фазе. Гёртлеровские мускульные волокна отвечают на импульс сокращением края связок и создают голосовую щель веретенообразной формы — это период раскрытия связок, легко наблюдаемый в ларингостробоскоп. Как и всякая мышца, расслабляющаяся после своего сокращения, связки после импульса расслабятся и сомкнутся. Они придут в состояние покоя и будут пребывать в нем до тех пор, пока новый импульс не вызовет их сокращение. Если импульсы возвратного нерва будут действовать на гортань ритмично, с определенной частотой, например 180 кол/сек, то это значит, что голосовая щель будет раскрываться и закрываться 180 раз в 1 сек. Это соответствует между периодами раскрытия голосовой щели и периодами двигательных импульсов возвратного нерва и было установлено опытами А. Мулонге в 1953 году. Понятно, что данное явление не имеет никакого отношения к подсвязочному давлению воздуха — оно может протекать и с ним и без него, как было показано выше (§ 7 и 8). Также очевидно, что при отсутствии подсвязочного давления воздуха, несмотря на колебание голосовых связок, возникновение звука почти невозможно. Из всего сказанного следует, что колебания голосовых связок не являются колебаниями, порожденными силами упругости, как это считалось издавна, а представляют серии очень быстрых ритмических сокращений гёртлеровских волокон. Каждое сокращение этих волокон при сомкнутых черпаловидных хрящах вызывает фазу раскрытия голосовой щели.

Что же происходит при наличии подсвязочного давления воздуха? При каждом раскрытии голосовой щели из гортани вырывается небольшая порция воздуха, резко повышая давление над связками. Эта упругая волна распространяется через ротоглоточную полость и воспринимается нами как звук, частота которого (основной тон) обязательно будет соответствовать частоте раскрытий голосовой щели. Следовательно, гортань во время звукообразования воспроизводит механизм сирены, в которой звуки возникают вследствие периодического раскрытия щели. Анализ работы механизма сирены дан мной в отчетах Парижской академии наук в 1953 году.

§ 10. Церебральный генезис колебаний голосовых связок [1950]

Рассмотренный выше механизм фонации первоначально был опубликован в моей диссертации в 1950 году, но многочисленные наблюдения и экспериментальные подтверждения все же носили

косвенный характер. Однако новые идеи встретили полную поддержку профессора Л. Лапики, оказавшего и в дальнейшем существенную помощь в развитии наших исследований. Более того, он помог объяснить множество явлений в певческом голосе, как нормальных, так и патологических, остававшихся непонятными в течение почти двух столетий. Вероятно, это послужило причиной того, что в 1951 году Институт Франции присудил мне премию в области физиологии, которую я принял скорее как поощрение к дальнейшим исследованиям, чем награду. Действительно, только в 1958 году большая серия трудных исследований, описанных выше, дала экспериментальное подтверждение нашей гипотезы.

Отметим следующее. Импульсы возвратного нерва, вызывающие раскрытие голосовой щели, должны создаваться ритмическим действием бульбарных ядер этого нерва, которые, в свою очередь, возбуждаются активностью головного мозга. Таким образом, в конечном итоге можно утверждать, что раскрытия голосовой щели подчиняются командам головного мозга. Уже в 1950 году это обстоятельство дало повод профессору А. Сулераку говорить о «церебральном генезисе»¹ колебаний голосовых связок.

В настоящее время проводятся многочисленные исследования мозговых центров, участвующих в явлениях фонации, но, к сожалению, этот материал выходит за рамки нашей книги.

§ 11. Возбудимость возвратного нерва и ее роль в различных вокальных явлениях

Как мы уже видели, частота, а следовательно, и высота звуков голоса определяется частотой двигательных импульсов, посылаемых возвратным нервом. Из этого следует, что возбудимость возвратного нерва играет огромную роль в формировании многочисленных вокальных явлений.

В 1947 году известный бельгийский нейрофизиолог Ф. Бремер установил, что максимальная частота импульсов возбуждения, которую способна передавать нервно-мышечная ткань, зависит только от ее возбудимости. Эта максимальная частота будет передаваться, если промежуток времени между двумя последовательными импульсами будет больше рефрактерного периода ткани. Напомним, что рефрактерным периодом называется тот короткий промежуток времени, когда ткань теряет способность передавать возбуждения, или время восстановления ее работоспособности. Уже в 1930 году Ж. Эрлангер и Х. Гассер установили, что после прохождения импульса возбуждения через одну точку аксона этот аксон становится на некоторое время совершенно невозбудимым. Затем у аксона появляется слабая возбудимость. Промежуток времени до появления слабой возбудимости называют практическим рефрактерным периодом. Время до восстановления нор-

¹ Церебральный (лат. cerebrum — мозг) — мозговой.

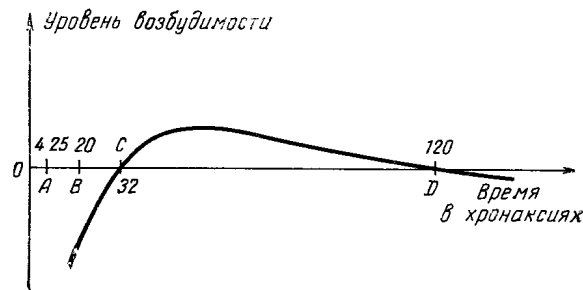


Рис. 16. Изменение уровня возбудимости нерва после прохождения по нему импульса возбуждения. Горизонтальная ось соответствует уровню нормальной возбудимости нерва (аксона) в состоянии покоя. После прохождения импульса в период времени $OA=4,25$ хронаксии нерв полностью теряет свою возбудимость. Этот период называется абсолютным рефрактерным периодом. Второй импульс возбуждает нерв только через период времени $OB=20$ хронаксиям (практический рефрактерный период). Этот период определяет частоту, которую способен пропустить нерв

мальной возбудимости аксона после прохождения импульса называют относительным рефрактерным периодом. После относительного рефрактерного периода в течение некоторого времени возбудимость аксона повышается, становится выше нормальной и затем снова возвращается к исходной. Длительность времени после прохождения импульса и до наступления повышенной возбудимости аксона называют периодом повышенной возбудимости или «сверхнормальным». На рис. 16 графически представлено изменение возбудимости после прохождения импульса¹.

¹ Для понимания дальнейшего необходимо принять во внимание некоторые сведения и термины из физиологии. Если взять изолированный мышечный препарат (первоначально опыты проводились на лапке лягушки) и пропускать через него электрический ток, то мышца будет сокращаться. Для сокращения мышцы достаточно очень короткого электрического импульса порядка долей секунды. Минимальный ток, вызывающий сокращение, называется пороговым. Было также установлено, что если укорачивать время действия тока до сотых и тысячных долей секунды, то значение пороговой силы тока возрастает. Для различных мышц и нервов существуют свои значения пороговой силы тока, а также зависимости между пороговыми значениями тока и длительностью его действия. Французский физиолог Л. Лапик показал, что практически весьма удобно характеризовать возбудимость различных мышечных тканей следующим способом: определяется минимальное значение пороговой силы тока при достаточно большом времени его действия (на практике это десятки доли секунды). Это значение силы тока было названо реобазой. Затем берут ток, равный 2 реобазам, и определяют время его действия, необходимое для того, чтобы мышца сократилась. Это время было названо хронаксией, что в переводе означает «ценность времени». Оказалось, что различные мышцы и нервы имеют свою хронаксию. Она обычно измеряется в миллисекундах (0,001 сек). Например хронаксия, равная 0,1, соответствует 0,001 сек. Хронаксия возвратно-

Из графика видно, что практический рефрактерный период $OB=20$ хронаксиям; относительный рефрактерный период $BC=12$ хронаксиям; период повышенной возбудимости $CD=88$ хронаксиям.

Теперь разовьем дальше мысль Ф. Бремера. После прохода первого импульса по возвратному нерву второй импульс сможет пройти только через промежуток времени, равный 20 хронаксиям. Эта длительность практического рефрактерного периода и определяет ту максимальную частоту, которую может пропустить нерв. [Например, если промежуток между двумя импульсами равен 0,01, то в 1 сек может пройти 100 импульсов, то есть $1:0,01$. Таким образом, частота импульсов и время связаны следующим соотношением:

$$F = \frac{1}{T},$$

где T — время между прохождением двух последовательных импульсов. Для $T=20$ хронаксий=

$$= \frac{20}{1000} \text{ сек} = \frac{1}{50} \text{ сек} \quad F_{\max} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ кол/сек.}$$

Основываясь на измерениях хронаксии возвратного нерва, трудно объяснить наличие различных регистров в певческом голосе.

§ 12. Первый регистр голоса человека

Первый регистр голоса человека, как для мужчин, так и для женщин и детей, — это тот регистр, в котором все импульсы, проходящие по возвратному нерву, распространяются в одинаковых фазах во всех аксонах, проходящих до голосовых связок. Верхний предел этого регистра вычисляется следующим образом:

$$F_{\max} = \frac{1000}{OB} \text{ кол/сек,}$$

где $OB=20$ — время, выраженное в хронаксиях (рис. 16).

Следовательно, эта частота зависит исключительно от возбудимости возвратного нерва и в зависимости от индивидуальных осо-

го нерва может быть еще короче, порядка 0,05, то есть 0,00005 сек. Чем меньше значение хронаксии, тем быстрее ткань реагирует на действие раздражителей, тем большую частоту импульсов возбуждения она может передавать. Изучая какую-либо мышцу или нерв, удобнее, особенно на графиках, пользоваться не миллисекундами, а принять за единицу времени хронаксию данной ткани. Что это значит? Например, на рис. 16 показано, что весь промежуток времени изменения возбудимости ткани $OD=120$ хронаксий. Если хронаксия данной ткани равна 0,1 мсек, то отрезок OD будет соответствовать $120 \cdot 0,001 \text{ сек} = 0,12 \text{ сек}$. Очевидно, что строить графики в столь мелких единицах было бы неудобно.

бенностей певца соответственно изменяется. В § 60 будет описан метод измерения возбудимости, характеризуемый хронаксиями.

В зависимости от величины хронаксии возвратного нерва изменяется и верхний предел первого регистра.

Средний бас:

Хронаксия = 0,14 мсек.

$$\text{Максимальная частота} = \frac{1000}{20 \cdot 0,14} = 360 \text{ кол/сек (fis}^1\text{)}.$$

Средний баритон:

Хронаксия = 0,105 мсек.

$$\text{Максимальная частота} = \frac{1000}{20 \cdot 0,105} = 480 \text{ кол/сек (h}^1\text{)}.$$

Средний тенор:

Хронаксия = 0,08 мсек.

$$\text{Максимальная частота} = \frac{1000}{20 \cdot 0,08} = 620 \text{ кол/сек (es}^2\text{)}.$$

Подчеркиваем, что эти максимальные частоты доступны лишь для хорошо обученных певцов.

Вычисленный первый регистр находится в соответствии с грудным регистром мужских и женских голосов, хотя по традиции он используется певицами только до e^1 , если не считать редких исключений. Мы назовем этот регистр однофазным.

§ 13. Второй регистр голоса человека

Если певец или певица пытаются петь выше пределов первого регистра, указанных ранее, то двигательные импульсы не могут распространяться во всех аксонах в одной и той же фазе. В этом случае аксоны возвратного нерва должны разделиться на две группы и поочередно пропускать импульсы, разность фаз между которыми будет равна полупериоду. При такой передаче, называемой двухфазной, каждый аксон будет работать на допустимой для него частоте, то есть ниже предела первого регистра, но совокупность всех аксонов передаст связкам двойную частоту, и голос певца легко выйдет за пределы первого регистра. Этот новый регистр и его пределы определяют границы фальцета для мужского голоса и головной регистр для женского голоса. Этот регистр мы назовем двухфазным.

Верхние пределы этого регистра:

Среднее контральто (хронаксия = 0,140) — fis^2 (720 кол/сек).

Среднее меццо-сопрано (хронаксия = 0,105) — h^2 (960 кол/сек).

Среднее сопрано (хронаксия = 0,080) — es^3 (1240 кол/сек).

§ 14. Переход из первого во второй регистр. Исследования Э. Корабёфа, П. Лаже, Ж.-Л. Робена (Париж, 1955—1956)

Как было показано, верхний предел первого регистра обусловлен существованием рефрактерного периода и переход за этот предел осуществляется при помощи двухфазной проводимости. Этот нейрологический механизм тождествен механизму, открытому в 1935 году Стевенсом и Девисом в слуховом нерве, когда частоты возбуждающих сигналов превосходили пределы 750—900 кол/сек. Весьма существенно было экспериментально доказать наличие двухфазной проводимости и в возвратном нерве. Это удалось сделать в Сорбонне в 1955 году Э. Корабёфу и его сотрудникам Р. Сомону и И.-М. Гаргую. Они поставили опыты на препарате возвратного нерва собаки, в которых изучались реакции этого нерва на электрические раздражения на частотах от 100 до 1000 кол/сек. Экспериментаторы постепенно повышали частоты в указанных пределах и наблюдали приблизительно на частоте 700 кол/сек (рис. 17) два варианта реакций нерва. В одном случае нерв реагировал с максимальной амплитудой один раз на две стимуляции (одна стимуляция приходилась на рефрактерный период). Во втором варианте нерв отвечал на каждую стимуляцию, но с половинной амплитудой, что указывало на разделение аксонов на две группы, работавших последовательно одна за другой.

Такой же результат был получен в Сорбонне и в 1956 году П. Лаже и Ж. Робеном. Их опыты проводились не на препарате нерва, а уже на живой собаке. Реакции возвратного нерва регистрировались приемными электродами с голосовой связки, соответствующей правому или левому возвратному нерву. В этих условиях двухфазная проводимость возникала несколько раньше, как только перекрывалась частота, вызывающая тетаническое¹ сокращение внутреннего щито-черпаловидного мускула. Мы рассмотрим особенности этого явления несколько дальше.

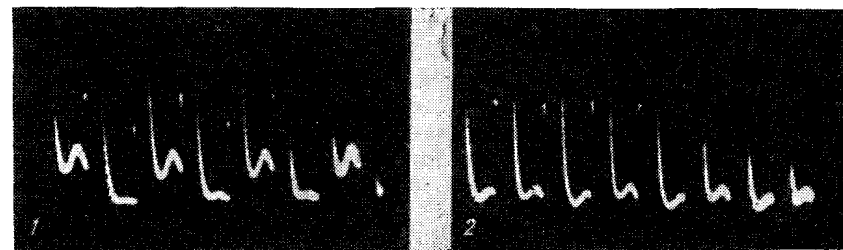


Рис. 17. Опыты с возвратным нервом собаки (1955). 1 — импульсы однофазной проводимости; 2 — импульсы двухфазной проводимости. Во втором случае амплитуда в два раза меньше

¹ При стимуляциях очень высокой частоты мышца сокращается и может не проявлять признаков расслабления. Такое сокращение носит название *тетануса*.

§ 15. «Высшие регистры» голоса человека. Мадо Робен

Наблюдения показывают, что некоторые певцы, мужчины и женщины, особенно легкие сопрано, могут иногда выходить за верхние пределы своего второго регистра приблизительно еще на квинту вверх (примером могут служить Мадо Робен, Жозе Дарля, Даниель Врие, Эрнэ Зак, Има Сумак и др.). При переходе за верхнюю границу второго регистра проводимость возвратного нерва не может уже оставаться двухфазной, и, следовательно, необходимо предположить наличие трехфазной проводимости. Это значит, что нейроны должны распределяться на три группы и передавать импульсы поочередно с запозданием на треть фазы одна после другой. В этих условиях каждый аксон будет работать в дозволенных ему пределах, но весь нерв в целом обеспечит передачу тройной частоты. Такой механизм определяет третий регистр человеческого голоса, или трехфазный регистр, который в старину называли «малым», или «флажолетным», регистром. Певцы, обладающие этим регистром, могут исполнять звуки, частота которых в три раза превышает предел первого регистра и превышает на квинту предел второго регистра, это приблизительно $a^3=1760$ кол/сек.

Одним из исключительных явлений в истории пения являлась Мадо Робен, солистка Гранд-Опера и Опера-Комик в Париже (рис. 18). Ее диапазон простирался до $d^4=2300$ кол/сек, то есть превышал предел третьего регистра на целую кварту. Этот факт заставляет предположить, что некоторые певцы обладают механизмом четырехфазной проводимости и четвертым регистром. Верхние пределы этих четырех регистров определяются следующими звуками: cis^2 , d^3 , b^3 , d^4 . Их частоты относятся между собой приблизительно как числа 1:2:3:4 (рис. 19). Рамки данной книги не позволяют нам детализировать физиологию третьего регистра, который, впрочем, часто бывает у певцов неустойчивым и быстро исчезающим.

§ 16. Прикрытие открытых звуков в первом регистре, или «переходы» в мужских голосах

Когда говорят, что певец выполняет «переход», то под этим не следует подразумевать, что он совершает переход из первого во второй регистр, так как последний не используется мужскими голосами. Обычно под переходом для мужского голоса подразумевается своеобразное явление, происходящее только на открытых гласных (А, О, Е, ЕУ) и на частотах около 300 кол/сек (для низких басов около 270 кол/сек, а для высоких теноров — 350 кол/сек).

Если баритон начинает петь восходящую гамму на гласной А и пытается сохранить ее открытый характер, то это ему легко удастся от g до c^1 . На cis^1 звук слегка начинает «белеть», это заметно усиливается на d и es^1 (иногда звук приобретает пронзительный,

Рис. 18. Сопрано Мадо Робен. Верхний предел ее диапазона d^4 (2300 гц)

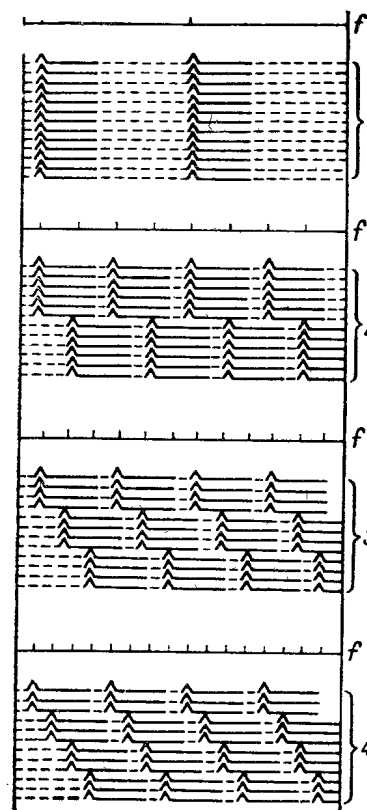


Рис. 19. Схема четырех типов проводимости возвратного нерва. 1 — однофазный режим работы нерва. Частота электрических стимулов $f=200$ гц. Все волокна нерва возбуждаются одновременно. 2 — двухфазный режим, $f=800$ гц. Волокна нерва разделились на две части для поочередной передачи импульсов возбуждения. 3 и 4 — трех- и четырехфазные проводимости ($f=1200$ и 1600 гц). Соответственно происходит разделение волокон нерва на три и четыре группы

крикливый характер), в то же время певец начинает испытывать затруднение в звукообразовании и неприятные ощущения на уровне гортани. Опытный певец, чтобы преодолеть эти быстро нарастающие трудности, достигая c^1 , выполняет так называемое «прикрытие звука». В этом случае голос становится более «темным», «сombрированным» и открытая гласная переходит в гласную закрытую, находящуюся в акустической близости с исходной (см. § 35). Когда это важное изменение механизма голосообразования будет произведено, певец сможет уже без труда и опасности для гортани продолжить гамму до верхнего предела своего первого регистра. Мы рассмотрели явление прикрытия звука на открытых гласных, но оно возникает и на закрытых гласных ($i, u, ou, é, eu$), но приблизительно на квинту ниже, на частоте 200 кол/сек (180 кол/сек для низких басов и 230 кол/сек для высоких теноров). Это раннее прикрытие звука на низкой частоте позволяет закрытой гласной сохранить свой характер. При невыполнении данного требования гласная приобретает открытый характер, который может сохраниться без вреда для гортани лишь до верхних пределов открытых звуков.

§ 17. Физиологический анализ механизма прикрытия открытых звуков

1. *Ларингостробоскопия.* На последних открытых звуках отмечается сильное сокращение гортанного сфинктера и его значительное расслабление при переходе на прикрытое звучание. Последнее сопровождается продолжным натяжением связок, которые удлиняются, и края их кажутся более натянутыми. Амплитуда колебаний, очень незначительная на открытых звуках, несколько увеличивается на прикрытых (рис. 20).

2. *Поперечная рентгенография.* В большинстве случаев отмечается, что на двух-трех последних открытых звуках гортань поднимается, глотка значительно уменьшает свой объем и корень языка смещается вниз и назад. После прикрытия звука гортань опускается, задняя часть языка выдвигается вперед, нёбная занавеска значительно поднимается. В связи с этим всегда наблюдается существенное увеличение глоточной полости во всех направлениях (рис. 21). Но самые значительные изменения обнаруживаются на

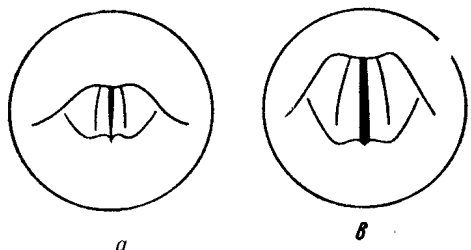


Рис. 20. Изменение ларингостробоскопической картины после прикрытия открытого звука. *a* — вид гортани баритона при фонации E открытого на e^1 (*mezzo forte*); *b* — вид гортани при прикрытии того же звука на той же высоте e^1

уровне гортани: кроме ее понижения наблюдается наклон (вниз и вперед) щитовидного хряща, более или менее заметное удлинение голосовых связок, уменьшаются отверстия желудочков, и, соответственно, горизонтальная плоскость голосовой щели наклоняется вниз и вперед на $15-45^\circ$ (рис. 21, *b*).

3. *Фронтальная рентгенография (томография).* На последних открытых нотах связки очень сильно сомкнуты. После прикрытия звука смыкание связок становится менее напряженным, и они чуть-чуть утолщаются (рис. 22).

4. *Спектральный анализ (анализатор Пимонова).* Линейчатый спектр гласной при переходе от E^1 открытого к e^1 закрытому претерпевает следующие изменения: две форманты, лежащие приблизительно в областях 600 и 1200 кол/сек, сильно понижаются и смещаются к частотам 500 и 1000 кол/сек; нижняя певческая форманта, создаваемая резонансом глоточной полости, увеличивает свою интенсивность, а верхняя певческая форманта, лежащая выше «частоты среза», наоборот, слегка уменьшает свою интенсивность. Это приводит к некоторой потере блеска голоса, но к увеличению его объема и густоты (рис. 23).

5. *Регистрация колебаний голосовых связок по методу Фабра (глотнография).* Последний открытый звук приобретает на глоттограмме характер прямоугольных импульсов с почти вертикальным спадом краткой длительности, что указывает на сильный тонус размыкания голосовой щели. Прикрытый звук округляет углы, увеличивает высоту глоттограммы, соответственно с увеличением амплитуды уменьшает наклоны, что характеризует уменьшение тонуса смыкания связок (рис. 24).

6. *Изменение в расходе воздуха и поддержке подсвязочного давления (опоре дыхания).*

Если сила звука остается неизменной, то при переходе от открытого звука к прикрытому увеличивается расход воздуха, что в свою очередь требует от певца повышения подсвязочного давления и соответствующего усиления активности дыхательной мускулатуры, особенно на уровне брюшного пресса.

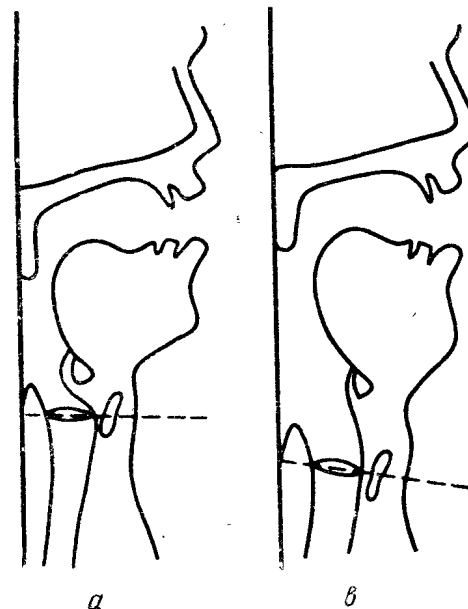


Рис. 21. Профиль ротоглоточных полостей до прикрытия звука (*a*) и после прикрытия (*b*). Поет баритон гласную A на высоте e^1

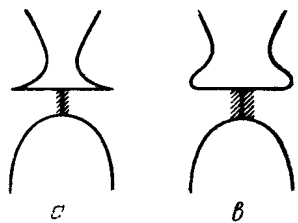


Рис. 22. Томографический образ голосовых связок: *a* — до прикрытия звука; *b* — после прикрытия. Поет баритон гласную *A* на высоте e^1 . Широкая штриховка в случае *b* соответствует менее напряженному смыканию связок, чем в случае открытого звучания

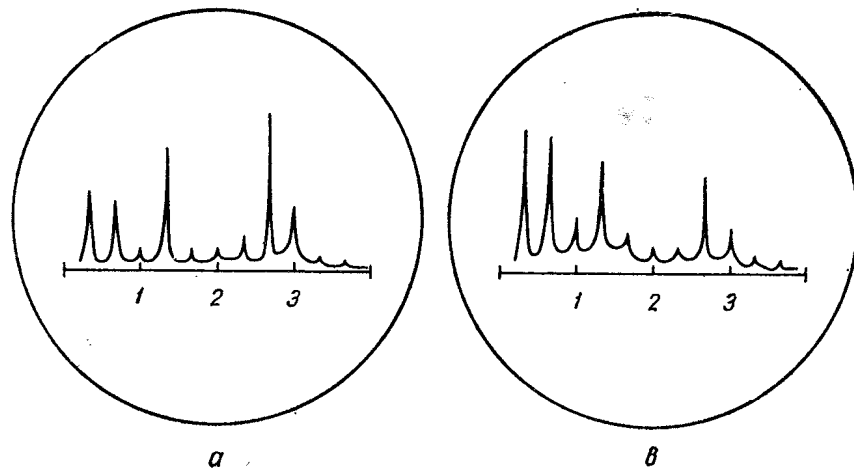


Рис. 23. Изменение спектра гласной *A* после прикрытия звука баритоном на высоте e^1 (forte). *a* — спектр до прикрытия; *b* — после прикрытия. Повысился основной тон и слегка уменьшилась ВПФ в области 3000 кол/сек

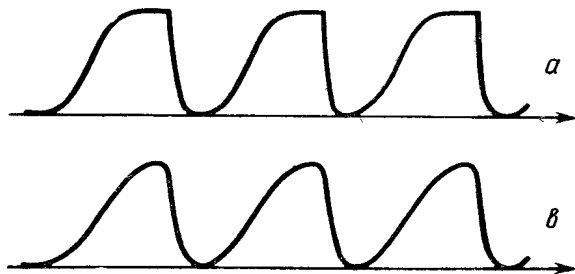


Рис. 24. Глоттограммы: *a* — открытый звук, *b* — прикрытый. Баритон поет (forte) гласную *A* на высоте e^1

7. *Изменение импеданса.* В момент прикрытия звука импеданс, создаваемый на гортани ротоглоточным рупором, значительно увеличивается. Важность этого наблюдения будет объяснена в § 41 и 42.

8. *Изменение внутренних ощущений певца, или вокально-телесной схемы.* В процессе прикрытия звука происходит столь значительное изменение физиологических установок, что оно неизбежно сопровождается сильным изменением внутренних ощущений певца, имеющих фонационное происхождение. Все внутренние ощущения имеют различную локализацию и помогают певцу в управлении голосообразованием. Этому важному вопросу будет посвящена третья глава книги. Главные изменения, воспринимаемые певцом, следующие:

а) при последних открытых звуках певцу трудно избежать смещения нёбных ощущений назад к мягкому нёбу. Прикрытия звука возвращает их в «маску», но в то же время раскрывает их как веер от корней зубов до нёбной занавески и порой даже до верхних границ глотки (рис. 25);

б) в области гортани неприятное ощущение сжатия, возникающее на последних открытых звуках, сменяется рассеянными ощущениями, создающими впечатление легкости и освобождения от напряжения;

в) после прикрытия звука возрастают мышечные напряжения в области брюшного пресса. Ощущение напряжений захватывает иногда и область таза. Говорят, что дыхание делается более «оперным». Эти ощущения носят крайне индивидуальный характер.

§ 18. Физиологическая природа прикрытия звука. Прикрытия звука — защитный механизм голосовых связок

Все вышеописанные изменения являются простым следствием физиологической природы звука.

Возвратимся к графику Эрлангера и Гассера (рис. 16), на котором представлено изменение степени возбудимости нервной ткани после прохождения импульса в зависимости от времени. Применим данную закономерность к гёртлеровским волокнам голосовых свя-

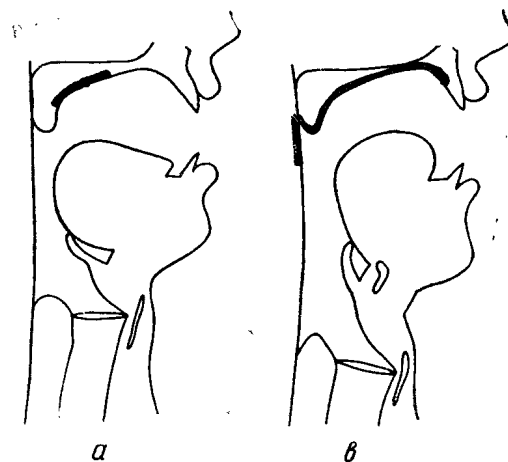


Рис. 25. Схема локализации внутренних ощущений. *a* — до прикрытия звук; *b* — после прикрытия

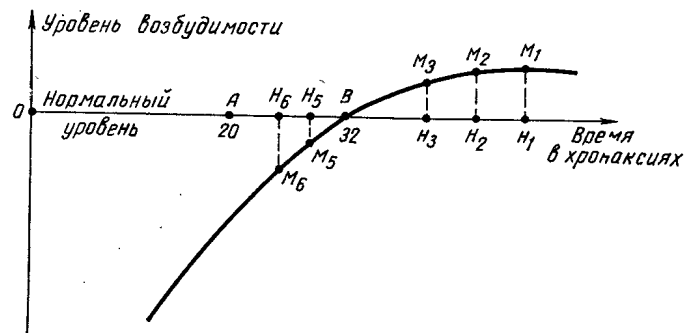


Рис. 26. Физиология прикрытия звука. На кривой возбудимости перемещение точки M справа налево соответствует повышению звука. В точке B облегченная возбудимость прекращается, открытое звучание делается затруднительным и происходит переход на прикрытые звуки. Объяснение в тексте

зок, на которые поступают двигательные импульсы от возвратного нерва с постепенно возрастающими частотами. Сначала предположим, что частота такова, что каждый импульс попадает в точку M_1 сверхнормальной фазы, созданной предшествующим импульсом. Пусть M_1 соответствует такой частоте, при которой $OM_1 = 50$ хронаксий. Для баритона (хронаксия $= 0,1$ мсек) это будет соответствовать частоте $1000/50 \cdot 0,1 = 200$ кол/сек, то есть as . В этой точке M_1 новое сокращение гёртлеровских волокон голосовых связок будет облегченным, так как возбудимость несколько повышена против нормальной. Если частота последовательно возрастает, то точка M_1 перейдет в точки $M_2, M_3...$ и т. д. (рис. 26), и величина повышенной возбудимости $H_1M_1, H_2M_2, H_3M_3...$ и т. д. будет постепенно убывать.

Следовательно, сокращение голосовых мышц становится затруднительным. При дальнейшем увеличении частоты наступит такой момент, когда точка M_1 переместится в точку B , соответствующую нормальной возбудимости, и сокращение мышц перестанет быть облегченным.

Какой частоте соответствует эта точка? Это определяется формулой

$$F = \frac{1000}{32}.$$

Для баритона с хронаксией $0,1$ это дает

$$F = \frac{1000}{32 \cdot 0,1} = 300 \text{ кол/сек}$$

или es^1 , то есть частоту прикрытия звука.

Последующее увеличение частоты приводит к перемещению точки M_1 в области точек M_5 и M_6 , где возбудимость уже ниже

нормальной. Каждый импульс, осуществляющий сокращение голосовых связок, будет вклиниваться в практический рефрактерный период, созданный предшествующим импульсом. Подобная работа нервов и мышц не является нормальной, требует все большего и большего напряжения, быстро изнашивает каждое мышечное волокно, так как заставляет сокращаться в таком ритме, при котором невозможен необходимый обмен веществ, восстанавливающий работоспособность. По этой причине пение на открытой гласной выше предельной частоты перехода на прикрытое звучание представляет опасность для голосовых связок, что, впрочем, давно доказано практикой оперного пения.

В чем же состоит физиологическая сущность прикрытия звука в момент, когда точка M_1 достигает точки B ? Известно, что сокращение перстне-щитовидных мышц натягивает голосовые связки, что в свою очередь увеличивает их возбудимость. Это обстоятельство было выяснено четверть века тому назад Л. Лапиком, а экспериментально подтверждено в 1933 году Дюмоном в опытах с гортанью собаки.

После прикрытия звука увеличивается натяжение связок и, следовательно, их возбудимость. В соответствии с этим кривая Эрлангера и Гассера (рис. 27) передвинется вверх и точки M_5 и M_6 окажутся в положении M'_5 и M'_6 , то есть в области повышенной возбудимости.

Теперь голосовые связки будут работать без излишнего утомления на более высоких частотах, чем частота «перехода», определяемая точкой B .

Таким образом, прикрытия звука является защитным механизмом голосовых связок во время фонации. Физиология человека дает множество примеров подобных защитных механизмов. Еще один защитный механизм гортани будет рассмотрен нами в § 42.

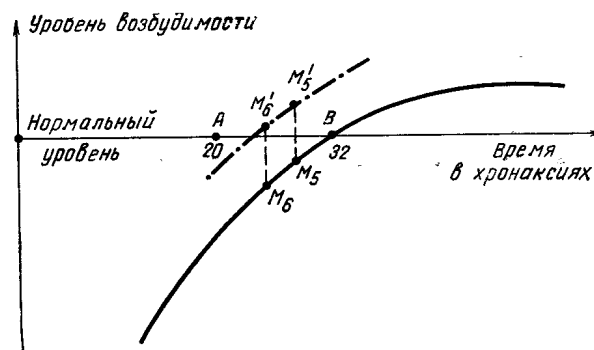


Рис. 27. Прикрытие звука повышает возбудимость связок. Кривая на рис. 26 поднимается и переходит в пунктирную кривую. Точки M_5 и M_6 переходят в положение M'_5 и M'_6 и оказываются в области повышенной возбудимости

§ 19. Исторические данные о появлении прикрытых звуков в пении

Изучение истории исполнения вокальных произведений в XVIII веке в Италии и Франции убеждает, что прикрытием звука в ту эпоху не пользовались. Певцы ограничивались первым регистром и пели открытым звуком до частоты перехода, а затем использовали фальцет, то есть второй регистр, как только встречались с трудностями, вызванными недостаточной возбудимостью связок для данной частотной области.

Таким способом в 30-е годы прошлого века во Франции пели все тенора, включая и знаменитого Адольфа Нури. Подобное пение не создавало никаких физиологических неудобств, но художественные недостатки его огромны, так как при фальцете звуки на верхах лишаются мощности и драматизма.

Появление драматических произведений в начале XIX века, а в Италии, вероятно, между 1800 и 1820 годами, привело к тому, что некоторые тенора начали использовать механизм прикрытия звука. Употребление этого приема расширило певческие возможности при исполнении драматических произведений — без вреда для гортани певцы стали использовать сильные верха и сомбрированный тембр. Это явилось величайшим достижением вокального искусства, но, к сожалению, имена первых итальянских певцов, создавших новую манеру пения, остались нам неизвестны. Достоверно лишь то, что Жильбер Дюпре, уехавший в Италию как «тенорино», там овладел приемом прикрытия звука и, вернувшись в Париж в 1837 году, вызывал всеобщее изумление и восторг неслыханным до этого исполнением драматических партий. Дюпре покинул сцену в 1852 году, исполнив партию Арнольда и Вильгельма Телля более 100 раз. Перейдя на педагогическую работу в консерваторию, он ежегодно давал концерты с участием своих учеников. В 1896 году, когда Дюпре было 90 лет, критики продолжали восхищаться «остатками его феноменального голоса, заполнявшего самые большие залы Европы».

§ 20. Прикрытие открытых звуков во втором регистре у женских голосов. Случай «высших регистров»

При продвижении голоса вверх на открытых гласных во втором регистре по тем же физиологическим причинам начиная с некоторой высоты певицы начинают испытывать затруднения. У них возникает необходимость прикрытия приблизительно на удвоенной частоте по отношению к первому регистру: на частоте 540 кол/сек для контральто, 600 кол/сек для меццо-сопрано и 700 кол/сек для высоких сопрано. Следует заметить, что женские голоса, особенно низкие, могут иметь два перехода, вызванные, по существу, совершенно различными механизмами. Первый переход появляется у женщин, использующих первый регистр в самой нижней части свое-

го диапазона. Первый переход появляется около e^1 или немного раньше, но это не прикрытия звука, а лишь переход во второй регистр (см. § 14). Этот переход осуществляется на всех гласных, открытых или закрытых, на одной и той же высоте, и он может быть ускорен или задержан. Действительно, по создавшейся традиции женщины выполняют его несколько раньше e^1 , но могут осуществлять его много выше (например, эстрадные певицы). Конечно, этот переход никогда не появляется, если певица для самых низких звуков использует только второй регистр. Второй переход появляется во втором регистре исключительно на открытых гласных приблизительно на частоте 600 кол/сек — это и есть прикрытия звука во втором регистре. Очевидно, рассмотренные нами два перехода имеют совершенно различную природу: один осуществляется внизу и действительно является переходом из первого во второй регистр, а второй — переходом на прикрытые звуки. Поэтому в этих понятиях следует избегать путаницы.

В третьем регистре в общем никакого перехода к прикрытым звукам не наблюдается, так как он должен был бы осуществиться на частоте 900 кол/сек, но эта частота легко достигается певицами и во втором регистре. Таким образом, как третий, так и четвертый регистры практически состоят из одних прикрытых звуков, так как физиологический механизм прикрытия (повышение возбудимости связок) осуществляется у женских голосов уже во втором регистре.

§ 21. Голос микст

Физиологический анализ показывает, что микст в мужском голосе состоит из прикрытых звуков первого регистра, пропетых *piano*, что придает им мягкий тембр. Прикрытие в этом случае осуществляется немного раньше e^1 . То же самое можно отметить и у женщин, но во втором регистре и на октаву выше.

§ 22. О роли подсвязочного давления при фонации

В § 7 было показано, что подсвязочное давление не является решающим фактором возникновения быстрых ритмических сокращений гёртлеровских волокон в голосовых мышцах, которые прежде рассматривались как «упругие колебания» голосовых связок. Однако из этого не следует, что подсвязочное давление не влияет на характер этих колебаний и поведение их в пространстве и времени. Сейчас мы выясним роль подсвязочного давления.

§ 23. Первая и основная роль подсвязочного давления

Как мы видим, подсвязочное давление, передаваемое в ротоглоточные полости гортанью, действующей наподобие быстро открывающегося крана, создает в надгортанном пространстве перио-

дические сгущения и разрежения воздуха, то есть звуковую волну, которую наш слух воспринимает как человеческий голос. Без подвязочного давления не может быть и голосообразования.

§ 24. Расход воздуха за один период при нормальной фонации

Объем воздуха, вытекающий через голосовую щель при каждой фазе размыкания голосовых связок, может быть легко вычислен. При пении гласной на частоте 500 кол/сек в течение 4 сек расходуется приблизительно 400—500 см³ воздуха (эти цифры — результат многократных измерений). За 4 сек связки разомкнутся 2000 раз, а это значит, что за один период через голосовую щель пройдет 0,25 см³ воздуха. Величина эта так ничтожна, что становится сразу очевидной несостоятельность объяснения, будто бы причиной колебания связок является падение подвязочного давления в момент размыкания связок. В 1957 году Ван ден Берг писал: «При утечке воздуха, сжатого подвязками, подвязочное давление резко падает, и таким образом причина размыкания исчезает». Расход воздуха, несомненно, зависит от характера пропеваемой гласной, высоты и силы звука, характера и тонуа смыкания связок, присущих различным певцам¹.

25. О неприменимости закона Л. Бернулли к певческой фонации

Некоторые ученые, например Ван ден Берг, Валансьен, Ландо и другие, сочли возможным говорить о приложении закона Бернулли² к процессам протекания воздуха через голосовую щель во

¹ Аргументация Ван ден Берга здесь неубедительна. Действительно, давление в трахее в момент размыкания связок может и не падать, но в связках появляется добавочная сила упругости, которая стремится устранить возникшую деформацию. Эта сила по закону Гука пропорциональна величине деформации. Примером упругих колебаний могут служить металлические язычки фисгармоний.

² Закон Бернулли выражается уравнением

$$\rho \frac{v^2}{2} + p = \text{const.} \quad (\text{постоянная величина}).$$

Эта формула прилагается к расчетам движения жидкости или газа по трубам переменного диаметра, но при условии установившегося или стационарного процесса, то есть такого процесса, когда в каждом поперечном сечении трубы скорость движения частиц жидкости или газа остается постоянной ($v = \text{const.}$).

Из формулы следует, что сумма квадрата скорости v^2 , умноженной на $\frac{\rho}{2}$, и давления p является постоянной величиной. Это значит, что при увеличении скорости течения резко падает давление, а при больших скоростях давление может стать отрицательной величиной. Возникнет явление всасывания. Это уравнение объясняет принцип работы пульверизаторов и насосов, в которых используется присасывающее действие быстро текущей струи. Р. Юссон в этом разделе полемизирует с Ван ден Бергом и совершенно справедливо указывает

время фонации. Однако известно, что закон Бернулли приложим только для движения жидкости при установившихся процессах, тогда как проход воздуха через голосовую щель является типичным неустановившимся процессом. Нельзя пройти мимо сомнительных выводов, полученных при неправильном применении закона Бернулли, особенно гипотетического эффекта «обратного всасывания», на котором настаивает Ван ден Берг (1957), сравнивая движение воздуха через голосовую щель с течением воды по трубе переменного диаметра. Нетрудно показать, по методу И. Рокара, невозможность подобных приложений. Для этой цели достаточно проинтегрировать в пределах от входа до выхода из голосовой щели полное уравнение гидродинамики:

$$(1) \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0,$$

где p — давление воздуха; v — скорость вытекания; ρ — плотность воздуха; x — координата, совпадающая с направлением потока. Пусть l — толщина голосовых связок, тогда приближенное интегрирование даст:

$$(2) \rho l \frac{\partial v}{\partial t} + \rho \frac{v^2}{2} + p = \text{const.}$$

Два последних члена уравнения представляют закон Бернулли, при условии, что первый член равен нулю. А этот член только тогда равен нулю, когда скорость v постоянна. При фонации скорость v меняется в широких пределах: при закрытой щели она равна нулю, а в момент раскрытия быстро возрастает.

26. О независимости высоты звука от подвязочного давления

Мы установили, что так называемые колебания голосовых связок являются лишь рядом последовательных коротких, быстрых и ритмических размыканий голосовой щели (§ 9), и образование звука в гортани уподобили механизму сирены. Отсюда непосредственно вытекает и то, что подвязочное давление не может оказывать влияния на высоту звука, определяемую исключительно частотой импульсов, посылаемых возвратным нервом. Очевидно, что подвязочное давление может влиять лишь на силу звука. Этот вопрос был подробно рассмотрен нами в ряде специальных статей еще в 1955 году.

на неприменимость закона Бернулли к неустановившимся процессам и приводит более общее уравнение (2) гидродинамики. Но из него как раз и вытекает, что при больших скоростях v , возникающих в момент раскрытия голосовой щели, p может сделаться отрицательной величиной и создать «эффект присасывания» голосовых связок. Член $\frac{\partial v}{\partial t}$ представляет собой ускорение частиц воздуха, проходящих через голосовую щель, а это ускорение может быть очень велико. Однако без точных расчетов и экспериментов эффект «обратного всасывания» пока остается гипотетическим. Но отбрасывать его безоговорочно, как это делает Р. Юссон, не следует.

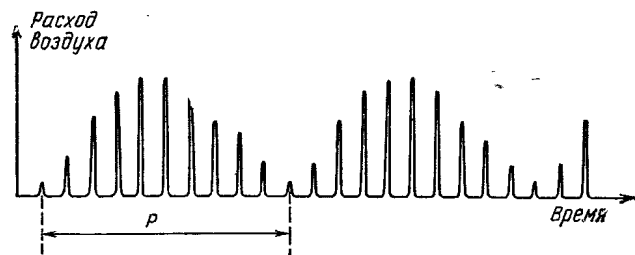


Рис. 28. Опыты Джулио и Феррони в Турине (1957). На горизонтальной оси отложено время, на вертикальной — расход воздуха. P — период пульса. Испытуемый поет длительную гласную. Каждый период диастолы сердце, расслабляясь, сжимает легкие и увеличивает расход воздуха. Высота звука остается неизменной

Опыты Пике и его сотрудников (1956) над больным с рассеченной гортанью (трахеотомия) подтвердили наши выводы. В этих опытах подсвязочное давление, создаваемое воздухом из легких, заменялось искусственным давлением, нагнетавшимся аппаратом. Когда испытуемый издавал длительный звук, исследователи изменяли подсвязочное давление в пределах от 10 до 100 см водяного столба. Практически высота звука оставалась неизменной, тогда как его сила соответственно возрастала¹.

В 1957 году Джулио и Феррони (Институт физиологии человека в Турине) при помощи остроумных опытов снова проверили вышеуказанное положение. Они показали, что каждый период диастолы² сердце сдавливает и уменьшает объем легких на 10—30 см³ и, следовательно, на столько же увеличивает расход воздуха. Соответственно с этим увеличивается сила звука, но при этом высота остается неизменной.

§ 27. Косвенная роль подсвязочного давления

Хотя подсвязочное давление влияет лишь на интенсивность звука и не оказывает прямого воздействия на частоту колебаний, тем не менее оно играет важную косвенную физиологическую роль,

¹ К нашему удивлению, Пике и Терракол в книге «Болезни гортани» (1958, с. 97) сделали из этих опытов неправильные выводы, усмотрев в них подтверждение старой миозластической теории фонации. В действительности же, согласно этой теории, высота звука должна была бы возрастать с увеличением подсвязочного давления. — *Примеч. автора.*

Вопрос о независимости высоты звука от подсвязочного давления до сих пор не может считаться окончательно решенным. Различные авторы приводят противоположные доводы и также ссылаются на эксперименты. Следует заметить, что голос даже здорового певца неустойчив по высоте, имеет тенденцию к постоянным флуктуациям и вибрато. Р. Юссон пишет: «Практически высота звука оставалась неизменной». При экспериментах необходимо было бы установить величину флуктуаций в герцах или центах, чтобы иметь точные критерии независимости высоты от подсвязочного давления.

² Диастола — расслабление мышцы сердца.

Рис. 29. Ларингоскопическая картина максимального раскрытия голосовой щели. Баритон филирует c^1 на гласной E открытой. a — звук pianissimo (25 дБ); b — звук fortissimo (100 дБ)

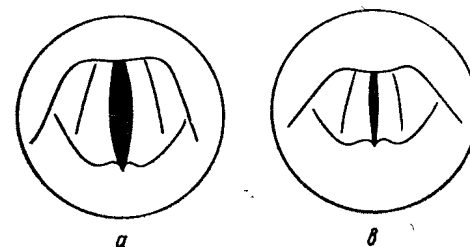
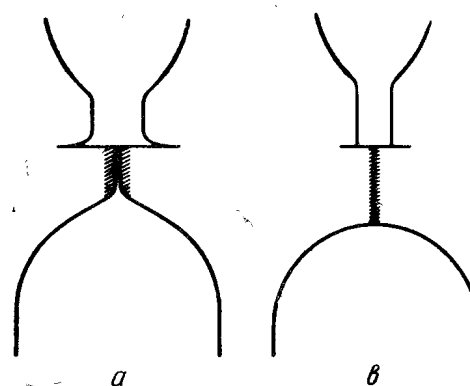


Рис. 30. Томографическая картина смыкания голосовых связок при филировании. Поет Ж. Вайан, бас. Гласная A . a — pianissimo (30 дБ); b — fortissimo (125 дБ). Отмечается сближение ложных голосовых связок, а также исчезновение морганиевых желудочков



изменяя условия возникновения нейромышечных сил, определяющих характер колебаний голосовых связок.

Экспериментальные данные подтверждают это положение.

1. *Прямое ларингостробоскопическое наблюдение.* В процессе филировки звука от piano к forte можно наблюдать последовательное сокращение гортанного сфинктера и уменьшение амплитуды колебаний (рис. 29).

2. *Измерение длительности фазы раскрытия голосовой щели.* Тимке (1957) при помощи сконструированного им ларингоскопа с автоматической регулировкой фазы измерял длительность фазы раскрытия голосовой щели во время филировки звука. Для мужского грудного звука на E открытом и частоте 160 кол/сек он получил следующие данные:

Интенсивность	Длительность открытия в миллисекундах	Длительность открытия в % периода
Pianissimo	4,4	70
Mezzo forte	3,2	51
Fortе	2,7	44

Из таблицы видно, что при низком грудном звуке увеличение подсвязочного давления сократило время раскрытия голосовой

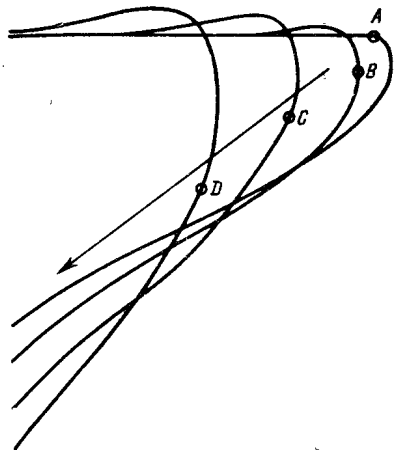


Рис. 31. Опыт Кирикае (1943). Показаны последовательные положения голосовой связки во время раскрытия голосовой щели. Маленький кусочек угля А был наклеен на край голосовой связки. Стрелка показывает направление движения голосовой связки. Если бы связка двигалась под влиянием подвязочного давления, то исчезновение уголька А было бы невозможно

связочного давления, которое изменяется от величины импеданса, созданного у гортани той или иной величиной раскрытия рта (рис. 30).

4. *Ларингостробоскопические наблюдения Кирикае (1943).* Кирикае в 1943 году приклеил недалеко от свободного края голосовой связки маленький кусочек угля и наблюдал его движение во время фонации в ларингостробоскоп. Ему удалось проследить движение частички угля в течение полного периода колебаний. Когда голосовая связка удалялась от средней линии, частица угля погружалась вниз и скрывалась под поверхностью голосовой связки. Такие же движения частички в обратном порядке происходили во время фазы смыкания (рис. 31).

Это явление убедительно показывает, что размыкание голосовых связок осуществляется под воздействием некой силы T , которая вызывает натяжение свободного края в сторону от средней линии и книзу, а никак не силы P подвязочного давления, которая действовала бы в сторону от средней линии и вверх.

Очевидно, что сила T создается сокращением гёртлеровских волокон внутренних щито-черпаловидных мышц. Отсюда можно прийти к предположению, что размыкающее действие подвязоч-

щели с 4,4 до 2,7 мсек, то есть длительность фазы размыкания уменьшилась на 1,7 мсек. Это обстоятельство указывает на более сильное сокращение волокон щито-черпаловидных мышц вследствие повышения их возбудимости, вызванного миотатическим¹ действием.

3. *Фронтальная томография² гортани во время фонации.* Юссон и Джан в 1952 году выполнили фронтальную томографию гортани одного певца во время фонации. В процессе съемок изменялась только интенсивность звука при неизменной высоте пропеваемой гласной. Было обнаружено, что при переходе от *piano* к *forte* связки утолщаются от 1 до 7 мм; при этом наблюдалось и соответствующее уменьшение амплитуды колебаний. Позднее (1955) было обнаружено, что толщина связок зависит даже от над-

ного давления неизмеримо слабее действия, вызванного сокращением щито-черпаловидных мышц. Ниже мы подтвердим это предположение при помощи расчетов.

Из рассмотренных явлений можно сделать вывод, что подвязочное давление воздействует на рецепторы, воспринимающие давление и натяжение и расположенные как на поверхности, так и в глубине внутренних щито-черпаловидных мышц. Это воздействие поднимает их тонус и возбудимость, увеличивает скорость их сокращения и облегчает реакцию на быстрые импульсы возбуждения.

Можно пожалеть, что многие авторы проводили аналогию между гортанью и язычковыми духовыми инструментами, в которых поток воздуха играл роль «двигателя», и это не позволило им отметить важную роль давления как фактора, повышающего возбудимость голосовых связок.

§ 28. Общий расчет сил, действующих на голосовые связки во время фонации¹

Нейромышечная сила, действующая на край голосовой связки при одновременном сокращении волокон внутренней щито-черпаловидной мышцы, может быть оценена (разр. ред. — Е. Р.) при

¹ Этот сугубо ориентировочный расчет очень интересен и важен. Если бы его можно было безоговорочно принять, то одного этого параграфа было бы достаточно, чтобы сразу перечеркнуть всю миоэластическую теорию. Юссон не случайно говорит, что сила F может быть оценена, а не вычислена. В тексте автор не дает полного объяснения происхождения формулы (1), в которой, по существу, следовало бы написать не знаки $=$, а знаки $\approx$, то есть «приблизительно равняется». Фактически это не расчет, а скорее «интуитивно-математические» соображения. Они довольно правдоподобны, но выходят за рамки строгих математических операций. В «Физиологии фонации» (1962) и своей математической диссертации (1965) Юссон делает оговорку, что «величина F наиболее трудна для оценки», приводит вместо формулы (3) более точное дифференциальное уравнение из теории удара

$$(1) \int_0^t F dt = mv,$$

но беда в том, что это уравнение нельзя использовать для вычислений, так как неизвестны функциональные зависимости от времени как F , так и v . Поэтому Юссон пишет приближенную формулу:

$$(2) F = m \frac{dv}{dt} = 1 \frac{0,1}{(0,001)^2} 100\,000 \text{ дин},$$

вытекающую из приведенной в тексте формулы (3). Формула (2) выводится на основании элементарных, но весьма нестрогих соображений:

по закону Ньютона «сила равна массе, умноженной на ускорение», можно записать: $F=ma$; так как величины dl и dt очень малы, то можно допустить, что скорость $v = \frac{dl}{dt}$ (путь, деленный на время), а ускорение $a = \frac{v}{dt} = \frac{dl}{(dt)^2}$

(ускорение равно скорости, деленной на время). Отсюда $F = m \frac{dl}{(dt)^2}$. Вышеприведенные рассуждения являются ориентировочными, и относительно цифр $F=100\,000$ и $f=20\,000$ можно лишь предполагать, что они правдоподобны.

¹ Миотатический — мышечно-осозательный.

² Рентгеновский аппарат помещается перед гортанью.

уподоблении ее удару F , действующему очень короткое время dt , по формуле:

$$(3) Fdt = mv = m \frac{dl}{dt},$$

где m и v — масса и скорость движения связки; а dl — величина ее смещения от среднего положения. Принимая $m=1$ г, $dt=0,001$ сек, $dl=1$ мм и подставляя эти значения в формулу (3), находим в системе CGS значение $F=100\,000$ дин. Так как значение F не постоянно за время dt , а проходит через максимум, то действительная величина F близка к двойной величине, то есть $F=200\,000$ дин.

Аэродинамическая сила, действующая на связки, может быть вычислена по формуле:

$$(4) f = Pds_g,$$

где можно принять: подсвязочное давление $P=20$ см водяного столба; плотность воды $d=1$ г/см³; ускорение силы тяжести $g=981$ см/сек²; общая поверхность края связки $s=1$ см². Подставив эти значения, получаем $f=20\,000$ дин.

Отсюда следует, что нейромышечная сила F по крайней мере в 10 раз больше аэродинамической силы f . Этот подсчет объясняет, почему голосовые связки колеблются почти одинаково и с подсвязочным давлением и без него.

§ 29. Поддержка подсвязочного давления

В пении подсвязочное давление, необходимое для поддержания определенной интенсивности звука, создается стойким действием всей или части выдыхательной мускулатуры. Вследствие этого дыхание в пении коренным образом отличается от так называемого свободного дыхания (без фонации). Из этого следует, что типы свободного дыхания, часто описываемые в учебниках по фонации, не имеют никакого отношения к вентиляции легких во время пения (рис. 32).

В пении, и особенно оперном пении или пении с большой силой, действие выдоха целиком зависит от уровня подсвязочного давления и требуемого расхода воздуха. Этот расход воздуха изменяется в зависимости от интенсивности звука, открытого или закрытого характера гласной, от высоты и, наконец, от художественных задач, поставленных певцом, влияющих на тембральную окраску голоса. Другими словами, уровень импеданса, возникающего у гортани, регулирует каждое мгновение действие выдыхательной мускулатуры. Эта регулировка происходит на основе бессознательного предвидения необходимого расхода воздуха, который потребуется для исполнения последующей музыкальной фразы. По мере увеличения необходимого расхода воздуха нетрудно за-

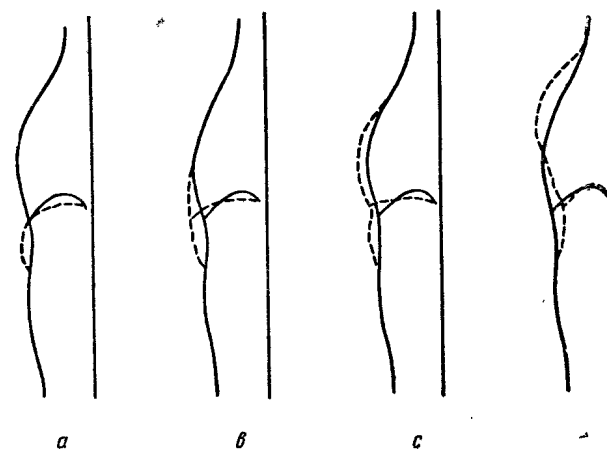


Рис. 32. Типы свободного дыхания (слева направо): а — брюшное; б — грудобрюшное с преобладанием брюшного; в — грудобрюшное (при вдохе равномерно участвуют и грудные стенки и диафрагма); д — чисто грудной тип дыхания

метить, что нервная активность охватывает все более низкие уровни спинного мозга.

Дальнейшие подробности по этому вопросу можно найти в замечательной работе профессора Панкончелли-Кальция, опубликованной в 1956 году.

Глава II

ФИЗИОЛОГИЯ ФОНАЦИИ РОТОГЛОТОЧНЫХ ПОЛОСТЕЙ

§ 30. Акустическая роль ротоглоточных полостей

Ритмические импульсы воздушного давления, исходящие из гортани во время фонации, вследствие своей периодичности и большой частоты уже сами по себе являются звуком. Этот звук претерпевает изменения в полостях, находящихся над гортанью, из которых наиболее важной является ротоглоточная полость (рис. 33 и 34). При изучении акустической роли ротоглоточной полости мы не будем рассматривать гипотезы Гельмгольца (1857) и Германа (1868) и воспользуемся более новыми данными науки. С точки зрения акустики, глотку и рот можно рассматривать как рупор в строго физическом смысле этого слова. Входное отверстие этого рупора подвергается воздействию переменного давления, создавае-



a

b

Рис. 33. Профили ротоглоточных полостей певческого и речевого голоса. Бас Ж. Вайан. *a* — профиль при речи; *b* — профиль при пении гласной *ou* на высоте d^1 . При переходе от речи к пению отмечается значительное понижение гортани и сужение надсвязочного пространства

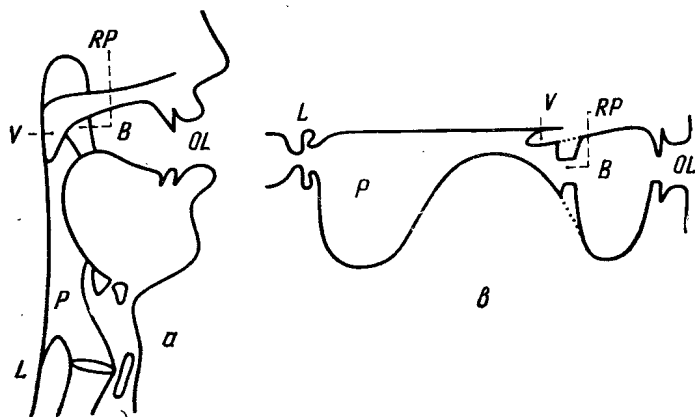


Рис. 34. Профиль ротоглоточного рупора при фонации гласной *A*. *a* — профиль нормальный; *b* — профиль выпрямленный; *B* — полость рта; *L* — гортань; *OL* — губное отверстие; *P* — полость глотки; *RP* — область нёбной занавески; *V* — нёбная занавеска

мого гортанью, а на его выходе, образованном губным отверстием, возникает импеданс наружного воздуха.

Внутри самого рупора происходит явление, известное под названием распространение волн.

До 1930 года теория физических процессов в рупоре сравнительно мало разрабатывалась, но в последующие годы развитие радиовещания побудило заполнить пробел. Большой вклад в этой области был сделан французским физиком И. Рокаром в его фундаментальных трудах «Распространение и поглощение звука» (1935) и «Общая динамика колебаний» (1949). Прежде чем перейти к изложению идей И. Рокара, рассмотрим некоторые данные относительно первоначального звука самой гортани.

31. Акустическая характеристика первоначального звука гортани

Первоначальным звуком гортани мы назвали тот звук, который мы могли бы услышать при его выходе из гортани, если бы не существовало ротоглоточной полости. Брюнингс услышал этот звук в 1938 году у человека, покушавшегося на самоубийство и перерезавшего себе глотку в верхней части щитовидного хряща. Во время электромиографических опытов профессора Портмана в 1954 году автору этой книги также удалось услышать первоначальные звуки гортани, так как у исследуемого больного оперативным путем были обнажены голосовые связки (поперечная тиротомия).

Первоначальные звуки имели следующие особенности:

- а) они обладали определенной высотой;
- б) они потеряли характер гласных звуков;
- в) когда больной пытался издавать различные гласные, тембр звуков оставался всегда неизменным.

В 1956 году Ж. Бекман в Киле произвел при помощи спектрометра акустический анализ частотного спектра первоначальных звуков гортани. Его исследования подтвердили наши слуховые оценки. Бекман нашел, что первоначальный звук гортани состоит из ряда возрастающих частот приблизительно равной амплитуды. Этот состав по своему характеру приближается к звуку сирены или генератора коротких прямоугольных импульсов¹.

Эти факты указывают на то, что гортань, изолированная от ротоглоточной полости, дает приблизительно один и тот же спектральный состав звука, зависящий лишь от величины подсвязочного давления и тонууса гортани. Далее мы рассмотрим, как изменяется первоначальный спектр гортани под воздействием надсвязочных полостей или ротоглоточного рупора.

¹ Обычный звуковой генератор создает переменное звуковое давление в воздухе, которое характеризуется непрерывной синусоидальной кривой. Генератор прямоугольных импульсов дает короткие прерывистые импульсы, соответствующие резким прорывам воздушного давления через быстро открывающееся и закрывающееся отверстие.

32. Главные акустические свойства рупора по И. Рокару [1935]

И. Рокар, изучая рупор любой произвольной формы, показал, что его можно рассматривать как выпрямленный, если длина волн достаточно велика по сравнению с его поперечными размерами (рис. 35, *a* и *b*).

Взяв слой воздуха в сечении $ABCD$, переходящий в процессе распространения волн в сечение $A'B'C'D'$, он вывел для этого сечения общее дифференциальное уравнение распространения волн и уравнение непрерывности. Эти уравнения, в приложении к более простым случаям, позволили определить свойства цилиндрических, конических, экспоненциальных (рис. 35, *c*) и других рупоров. Общий случай предполагает, что амплитуды колебаний «конечны»¹. Однако рассмотрение уравнений для «бесконечно малых» амплитуд позволяет внести в них значительные упрощения². Достаточно простым оказывается исследование экспоненциального рупора, то есть рупора такой формы, у которого поперечное сечение увеличивается в геометрической прогрессии, в то время как длина оси увеличивается в арифметической. Мы ограничимся изучением наиболее общих свойств рупоров.

Рассмотрим одно очень важное явление. Будем подавать на вход рупора простые³ звуки различных частот. В этом опыте можно будет отметить следующее: для частот ниже некоторого предела C , называемого частотой среза⁴, воздух в рупоре колеблется всей массой, своего рода «блоком», без заметной разницы фаз у частиц, колеблющихся на входе и выходе рупора. Другими словами, распространения волн в рупоре не наблюдается. Для частот, превосходящих частоту среза C , наоборот, наблюдается распространение волн, то есть в рупоре возникает явление, сходное с распространением волн на поверхности воды⁵.

Наличие для рупоров частоты среза приводит к очень важным следствиям.

1. Ниже частоты среза рупор плохо проводит звуковую энергию, создаваемую генератором звука⁶ на входе рупора. Наружный воздух на выходе приводится в колебание только слоем воздуха, ко-

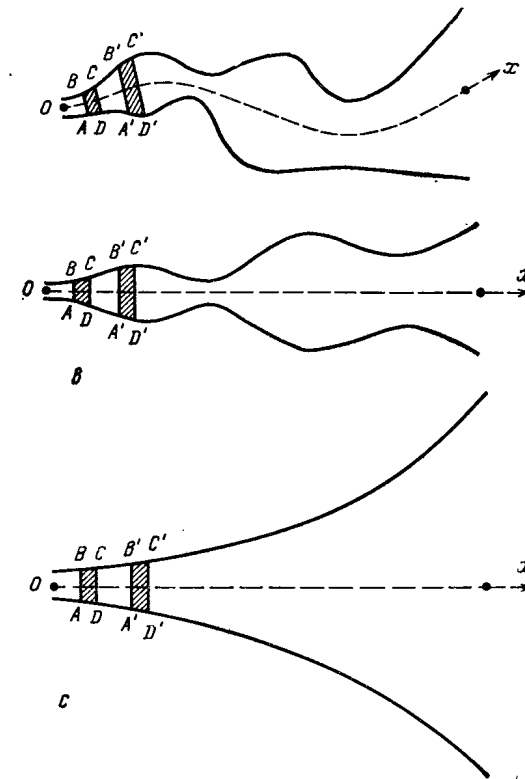


Рис. 35. Типы рупоров. *a* — теоретический, близкий к ротоглоточному; *b* — тот же выпрямленный; *c* — экспоненциальный, у которого при возрастании x в арифметической прогрессии ширина увеличивается в геометрической

торым заканчивается рупор. Для частот более высоких, чем частота среза C , распространение волн происходит внутри рупора, от слоя к слою, и звуковые волны, порожденные генератором на входе, непосредственно распространяются из рупора во внешнее пространство.

2. Ниже частоты среза в рупоре могут возникать явления резонанса, сходные с явлениями в резонаторах Гельмгольца, геометрические размеры которых значительно меньше длины волны, соответствующей максимальному резонансу. Для частот более высоких, чем частота среза, условия резонанса крайне различны. При резонансе этих частот в различных частях рупора возникают узлы и пучности, а для этого необходимо, чтобы длина волны была меньше длины рупора.

3. При больших интенсивностях звука колебания уже нельзя рассматривать как бесконечно малые, и уравнения распространения волн становятся нелинейными. В этих условиях возникают частотные искажения. Это значит, что рупор, на вход которого будет

¹ Когда в математике употребляется термин «конечная величина», то предполагается, что уравнение даст правильное решение для любой реальной величины, участвующей в данном процессе. Например, уравнение действительно для звуков любой громкости.

² «Бесконечно малые» амплитуды предполагают величины, близкие к нулю. Это значит, что уравнение будет давать правильный результат для звуков небольшой интенсивности.

³ Простые звуки — синусоидальные звуки одной определенной частоты без обертонов. Музыкальные звуки, как правило, сложные и состоят из нескольких различных частот.

⁴ В русской литературе частоту среза называют критической частотой.

⁵ Существенно соотношение между длиной волны и длиной рупора. Для звука A большой октавы длина волны равна приблизительно 3 м, то есть почти в 10 раз превышает длину ротоглоточного рупора.

⁶ В частном случае генератором звука являются голосовые связки.

подаваться простой, синусоидальный звук, превратит его в сложный, в котором будут содержаться 2-й, 3-й, 4-й и т. д. обертоны, величина которых будет существенно зависеть от интенсивности основного тона. Эти искажения частоты, если они возникают, оказываются более значительными для частот, лежащих выше частоты среза, чем для частот более низких.

4. Импеданс, создаваемый рупором перед механизмом атаки¹, оказывается более значительным для частот, лежащих выше частоты среза, чем для частот более низких. В последнем случае говорят, что рупор создает плохую нагрузку на механизм атаки и ограничивает акустическую мощность, которую этот механизм мог бы создать.

§ 33. Приложение теории И. Рокара к изучению акустических свойств ротоглоточного рупора

Изучая с 1956 года в Лаборатории физиологии Сорбонны акустические свойства ротоглоточных полостей, мы смогли отметить ряд их важных особенностей. Весьма существенную роль здесь играет частота среза, значение которой особенно подчеркивается незначительной длиной ротоглоточного рупора. В большинстве случаев расстояние от гортани до губ колеблется в пределах от 15 до 20 см, достигая иногда 25 см при большом понижении гортани у профессиональных певцов. Можно предполагать, что частота среза, в зависимости от гласной, изменяющей форму ротоглоточного рупора, а также индивидуальных особенностей певцов, изменяется в сравнительно небольших пределах от 2300 до 2500 кол/сек.

Исследования показывают, что спектры гласных, формируемых на любом основном тоне, содержат гармоники 3500, 4500 и даже 5500 кол/сек. В спектрах гласных даже 20-е гармоники оказываются достаточно интенсивными. Из этого можно сделать заключение, что весьма значительная часть спектрального состава гласных звуков лежит выше частоты среза. Исключение представляют лишь звуки, пропетые *pianissimo*. Вскрывается весьма сложная картина образования гласных и функционирования самого ротоглоточного рупора. Рассмотрим некоторые особенности.

1. Составляющие первоначального спектра гортани, лежащие ниже частоты среза, плохо передаются во внешнее пространство. Составляющие или гармоники, лежащие выше частоты среза, передаются значительно лучше. Ротоглоточный рупор благоприятствует высоким частотам.

2. Ротоглоточный рупор вносит значительные амплитудные изменения в гармоники первоначального спектра гортани, лежащие ниже частоты среза. Эти изменения существенно зависят от формы

¹ Под механизмом атаки следует понимать механизм, возбуждающий колебания на входе рупора. Это может быть мембрана громкоговорителя, голосовые связки гортани и т. п.

рупора в момент звукообразования. Рупор оказывает малое воздействие на гармоники, лежащие выше частоты среза.

3. Импеданс, создаваемый каждое мгновение рупором на уровне гортани, существенно зависит от процента гармоник в первоначальном спектре, лежащих выше частоты среза. Более низкие гармоники этого спектра создают лишь слабый импеданс, который увеличивается только при резонансе полостей на частотах этих гармоник.

4. Большие интенсивности звука порождают частотные изменения, более значительные для гармоник, лежащих выше частоты среза, чем для лежащих ниже.

5. В каждое мгновение в рупоре порождаются многообразные и сложные акустические режимы, различные для различных гармоник и их абсолютных высот. Эти режимы накладываются один на другой и создают общий акустический режим рупора.

6. Рупор функционирует с высокой внутренней энергией, которая возбуждает в каждой полости «собственные звуки» в соответствии с элементарной теорией «резонаторов Гельмгольца».

§ 34. Тембр гласной и тембр верхних частот (ТВЧ)

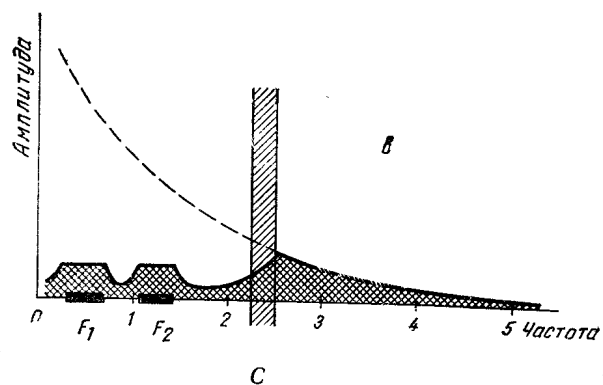
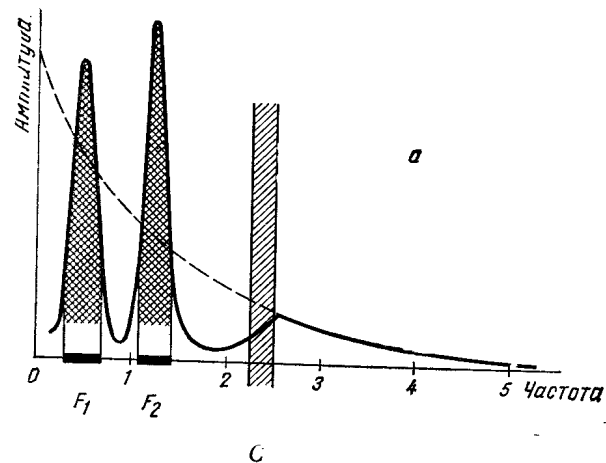
Вышеизложенные факты приводят к важному выводу: тембр каждой певческой гласной является наложением двух тембров. Один из этих тембров мы назовем условно тембром гласной — он формируется из гармоник, характерных для данной гласной, независимо от индивидуальных особенностей певца. Второй тембр, названный нами тембром верхних частот (ТВЧ), определяется индивидуальными акустическими и физиологическими особенностями голосового аппарата певца. Тембр гласной является результатом воздействия ротоглоточного рупора на первоначальный спектр гортани, так как резонансное воздействие рупора оказывается наиболее сильным на гармоники, лежащие ниже частоты среза. Поэтому тембр гласных формируется за счет амплитудных искажений (изменений) частот, лежащих приблизительно до 2500 кол/сек.

Эти изменения появляются в окончательном, суммарном спектре в виде двух пиков (редко трех или еще реже четырех). Дальше мы еще вернемся к этому вопросу.

Что касается ТВЧ, то он образуется из всего остатка певческого спектра после удаления пиков, лежащих ниже частоты среза. В тембре верхних частот главная роль принадлежит пикам, лежащим выше частоты среза. Эти пики придают голосу блеск и полетность¹, то есть важнейшие качества профессионального певческого голоса (рис. 36).

Тембр верхних частот, или суммарный тембр гармоник, лежащих выше частоты среза, может быть легко выделен и услышан

¹ В подлиннике — *mordant* — пронзительность. У Юссона не встречается понятий, аналогичных русским вокальным терминам «носкость голоса» или «полетность».



при помощи усилителя с полосовыми фильтрами, который срежет все форманты гласных и гармоники, лежащие ниже частоты среза¹. Полученное таким способом звучание голоса обладает следующими акустическими качествами:

- а) оно лишено характера певческого голоса;
- б) оно сохраняет первоначальный блеск гласной;
- в) оно не изменяется при перемене гласной, например, с *a* на *и*;
- г) это звучание практически неизменно для данного певца, но для разных лиц имеет значительные различия;
- д) тембр верхних частот является важнейшей характеристикой первоначального спектра гортани и может быть назван «основной» индивидуальной характеристикой певца».

**35. Физиологическое происхождение тембра
области формант гласных.
Основные фонационные формы ротоглоточного рупора.
Десять основных гласных по Хеллвагу (1781)**

Было установлено, что ротоглоточный рупор производит искажающее действие только на гармоники первоначального спектра гортани, лежащие ниже частоты среза. Но это действие, конечно, изменяется в зависимости от формы рупора. Очевидно, что форма рупора изменяется каждое мгновение и разнообразие форм может быть бесконечным.

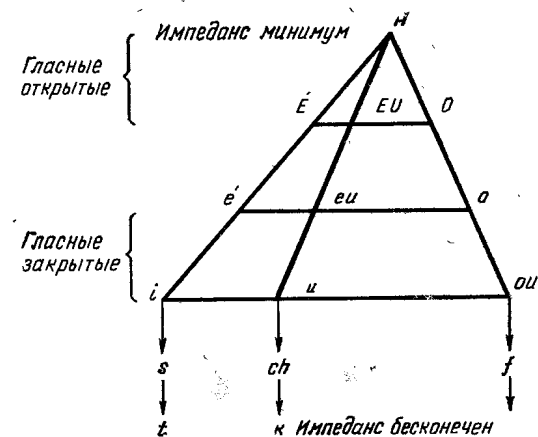
Но уже 200 лет тому назад было доказано (Хеллваг, 1781), что практически это бесконечное многообразие форм создает лишь 10 основных окрасок гласных (рис. 37), и, следовательно, формы рупора могут быть также сведены к основным типам. Оказывается, что достаточно рассмотреть три типа, учитывая положение задней части языка по отношению к нёбным дужкам, отделяющим глотку *Ph*, от полости рта *B* (рис. 38).

1-й тип. Задняя часть языка образует с нёбной дужкой сфинктер (сжиматель). Таким образом, в рупоре создаются две полости. Разница в звучании *О* открытого, *о* закрытого и *ou(y)* возникает лишь за счет изменения формы передней части рта и губ.

2-й тип. Задняя часть языка понижена и образует сфинктер, разделяющий глотку на две части. Возникают три полости: *PhI*, *PhS*, *B*. Звучание соответствует светлому *A*.

3-й тип. Кончик языка продвинул вперед и немного вверх. Образуется нёбный сфинктер, делящий полость рта на две части. В рупоре формируются три полости: $P\bar{h}$, $B\bar{P}$ и BA .

Эти области формируют гласные: *EU* (открытое), *eu* (закрытое) при условии, что кончик языка достаточно отодвинут во рту назад. При близком положении кончика языка к губам формируются гласные: *Ē* (открытое), *é* (закрытое) и *i*. В каждой серии



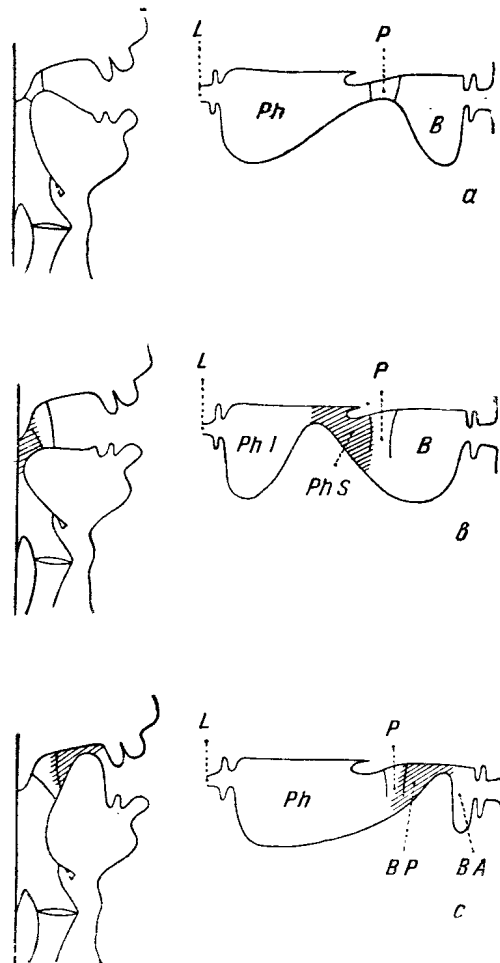
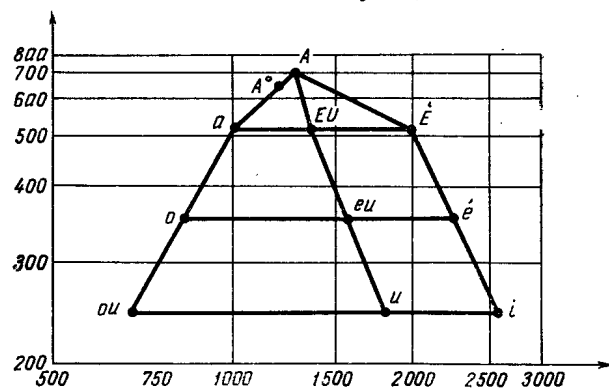


Рис. 38. Основные формы ротоглоточных полостей при артикуляции гласных

Рис. 39. Треугольник французских речевых гласных по Делатру. На вертикали отложены частоты более низких первых формант, на горизонтали — частоты вторых формант. Пересечение линий определяет две форманты любой речевой гласной. A° — округленное a имеет две более низкие форманты, чем у светлого a . Соответственно понижение наблюдается у всех певческих гласных



выходное отверстие, образованное губами, дифференцирует каждую из трех звуковых.

Пьер Делатр в 1948 году путем анализа установил 10 основных звучаний гласных во французском языке (рис. 39). Его схема является, конечно, частным случаем вокального треугольника Хеллвага, но она представляет интерес потому, что из нее можно определить частоты двух главных формант для каждой гласной. Такие же результаты были получены Штумпфом еще в 1926 году.

Едва ли нужно говорить, что ключ ко всем этим вопросам находится в соотношении расширенных объемов рупора, взаимном соединении этих объемов и содержащихся в них внутренних энергиях, возникающих во время фонации.

Каждый из 10 основных спектров звучания гласных содержит по крайней мере два пика, соответствующих макси-

мальным энергиям глоточной и ротовой полостей. Эти пики почти невозможно спутать, разве что на темном A . Иногда в спектре появляется третий пик, соответствующий полости PhS и только на светлом A . Обычно этот пик соответствует заднему объему ротовой полости. По частоте, в зависимости от случая, он может лежать ниже или выше второй форманты. В очень редких случаях язык может сразу делить на две полоски и глотку и рот, создавая, таким образом, четыре пика.

36. Замечания об относительной стабильности формант гласных

Проблема стабильности или нестабильности формант гласных возникла в самом начале исследовательских работ. Для Гельмгольца (1859) форманты были фиксированы, то есть не зависели от частоты основного тона. Для Ауэрбаха (1877) они сдвигались параллельно основному тону. Нам скажут: «Достаточно было поставить эксперименты!» Эксперименты, действительно, проводились часто, но истолковывались противоречивым способом. Карл Штумпф (1926) проводил прекрасные опыты, синтезируя гласные при помощи камертона, и пришел к выводу, что частоты формант гласных постоянны. Кухарский (1933) синтезировал гласные при помощи двух генераторов и установил, что сохраняют постоянство лишь интервалы между формантными пиками, а это равносильно признанию, что форманты могут изменять свою частоту. Поттер и Штейнберг (1950), анализируя голоса взрослых и детей, пришли к выводу, что форманты повышаются или понижаются в сторону движения основного тона, но значительно медленнее. Все эти кажущиеся противоречия в действительности легко объяснимы, если мы признаем, что формантные области каждой гласной постоянны, но относительно широки, а также примем во внимание сильное затухание, имеющее место в ротовой и глоточной полостях. Так, например, формантная область $ou(y)$ лежит в пределах частот 150—350 кол/сек, то есть имеет протяженность более октавы; область нижней форманты A лежит в пределах частот 500—900 кол/сек и охватывает почти октаву. Внутри этих пределов в спектре всегда имеются две-три гармоники, которые легко принять за форманты и сделать противоречивые заключения. Формантные области, создаваемые полостью рта, также достаточно широки, как и формантные области глотки.

Если теоретически мы допускаем, что высота основного тона может влиять на положение формант гласной, то опыт показывает, что и сила звука существенно изменяет условия резонанса и тем самым значительно влияет на положение формант. Наконец, форманты гласных подвергаются изменениям, и притом весьма значительным, будет ли гласная произнесена или пропета и тем же лицом.

Например, рентгенографическое наблюдение над басом-кантанте парижской оперы показало, что при пении гласной A на 250

кол/сек его гортань понижается примерно на 7 см по отношению к речевой позиции и, следовательно, объем глотки увеличивается по крайней мере в три раза. В то же время изменение объема рта оказывается незначительным, что и соответствует почти неизменному положению формант, создаваемых полостью рта, тогда как форманта глотки понижается на сексту.

Следует также принять во внимание, что первоначальный спектр гортани весьма различен для певческого и для речевого голоса. Отсюда очевидно, что тембр верхних частот значительно отличается для певческих и речевых гласных. Можно также предположить, что в пении глоточная форманта всегда будет более или менее понижена для каждой гласной. На этом вопросе здесь мы не будем останавливаться.

§ 37. Изменение тембров гласной в зависимости от регистров. Общая пирамида гласных

Серьезным пробелом традиционной фонетики является то, что в ней иногда рассматривается формирование гласной без обозначения основного тона или той высоты, которая автоматически меняется во время свободной речи. Действительно, мужчина говорит в нормальном грудном регистре в диапазоне частот приблизительно от 100 до 250 кол/сек, женщина, говорящая в головном регистре, использует частоты в пределах 300—500 кол/сек. Наконец, в речи используются различные регистры, соответствующие различному функционированию гортани. Очевидно, что формирование гласных должно изменяться от регистра к регистру, хотя бы потому, что первоначальный спектр гортани претерпевает существенные изменения.

Наблюдения показывают, что первый регистр простирается в среднем от 65 до 500 кол/сек, второй регистр — от 500 до 1000 кол/сек, третий — от 1000 до 1500 кол/сек и четвертый от 1500 до 2000 кол/сек. Так как формантные области гласных лежат в постоянных частотных пределах, хотя и достаточно широких, очевидно, что по мере продвижения голоса вверх основной тон может превзойти по частоте как первую, так и вторую форманту. Поэтому на верхах гласные теряют свой нормальный тембральный рисунок и распознаваемость. По этой причине гласные *o* и *y* не распознаются в верхней половине второго регистра, а нижняя половина третьего регистра допускает только гласные *u* и *e* закрытые, а четвертый регистр выявляется лишь на *u*.

Наконец, в пределах двух первых регистров вторгается прикрытие звука (переход), возникающее приблизительно в областях 300 и 600 кол/сек. Выше этих частот в каждом регистре исчезают открытые и назализованные гласные и остаются лишь прикрытые.

Неизбежное следствие: треугольник гласных Хеллвага (рис. 37) по мере повышения основного тона обязательно должен получиться усеченным и уменьшенным. Если для каждой тональной высоты

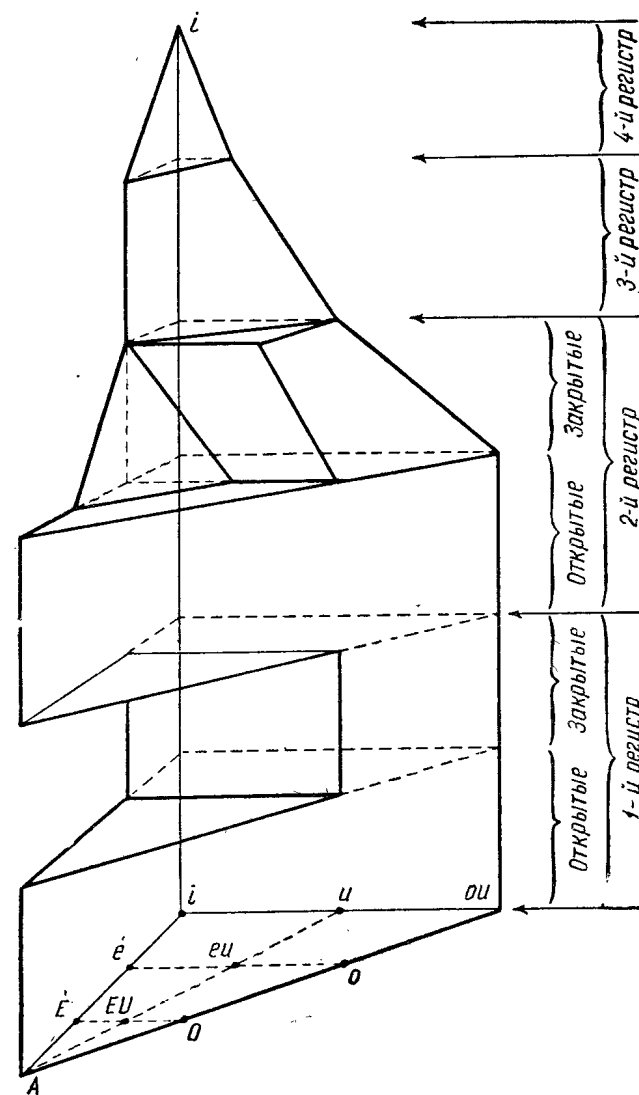


Рис. 40. Пирамида певческих гласных по Р. Юссону

наложить соответствующий треугольник гласных (или то, что от него останется), то получится некоторая геометрическая форма, напоминающая собой пирамиду, названную мною общей пирамидой гласных. Ее свойства впервые были разобраны в 1952 году на лекциях в Сорбонне (рис. 40).

Каждое горизонтальное сечение пирамиды, соответствующее данной высоте звука (от 65 до 2300 кол/сек), дает треугольник гласных (или то, что от него осталось), из которого видно, какие гласные могут быть пропеты на данной высоте.

§ 38. О роли морганиевых желудочков в образовании гласных

Морганиевы желудочки — это щелевидные углубления слизистой оболочки между истинными и ложными голосовыми связками. В прошлом авторы «вокальных теорий» нередко приписывали им большую акустическую роль либо в фиксации высоты звука, либо в формировании вокального тембра. Так, Гильмен считал, что в них образуются «вихревые генераторы звука»; в наши дни аналогичные мысли развивал Д. Вейс, полагая, что желудочки, изменяя свой объем, могут влиять на высоту звука. Совсем недавно инженер-электрик Ван ден Берг приписывал желудочкам роль акустических фильтров нижних частот.

Экспериментальные исследования вскрыли несостоятельность этих гипотез и дали им правильную оценку. Фронтальные рентгенограммы гортани, полученные мною в 1952 году совместно с А. Джианом, показали следующее.

1. У одного и того же певца при пении с одной и той же интенсивностью восходящей гаммы на определенной гласной форма желудочка практически остается неизменной. Это доказывает, что желудочки не оказывают влияния на фиксацию высоты звука.

2. У различных певцов, поющих одинаковую гласную с одной и той же интенсивностью, форма желудочков весьма различна (рис. 41).

У одного и того же певца пение различных гласных на одной и той же высоте с одинаковой интенсивностью иногда совершенно не изменяет форму желудочков. Это доказывает, что желудочки

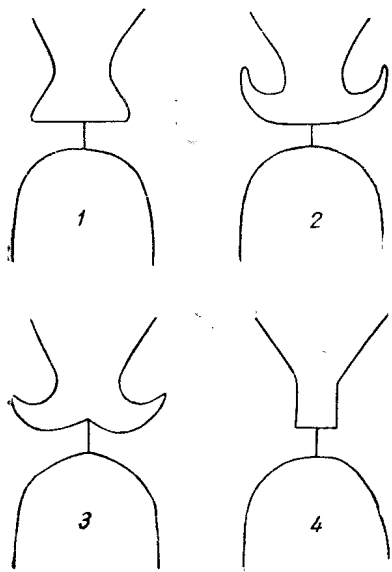


Рис. 41. Формы морганиевых желудочков. 4 — желудочки отсутствуют (наблюдалось у баритона и меццо-сопрано)

не играют никакой роли в образовании вокального тембра или формировании гласных.

3. Наконец, у некоторых певцов с мощными голосами желудочки не существуют: они заполнены развивающимися щито-черпаловидными мышцами.

Прибавим, что Г. Бекману удалось в 1956 году заполнять и освобождать эти желудочки. Анализируя звук, полученный в том и другом случае, он установил, что разница в силе этих звуков не превышает ту, которая получается, если певец будет многократно повторять один и тот же звук. Очевидно, что и в этом случае исключается влияние морганиевых желудочков на фонацию.

§ 39. Физиологическое происхождение тембра верхних частот. Его значение для голоса

В § 34 было показано, что тембр верхних частот — это звуковой остаток от певческой гласной, если из нее удалить две главные формантные области F_1 и F_2 . Этот остаток достаточно хорошо характеризует первоначальный спектр гортани и его индивидуальные акустические свойства.

С помощью дифференциального усилителя частот типа Пименова легко выявить акустическое значение различных областей певческого спектра. Этих областей намечается приблизительно семь (рис. 42).

Области F_1 и F_2 — это области формант гласных. Их подавление уничтожает распознаваемость гласной. Область A вблизи основного тона создает «объем» голоса («массивность»). Область B (межформантная) и область C , идущая от верхней форманты гласной до частоты среза, вместе с областью A дают голосу ту или иную степень густоты. Область D , идущая от частоты среза приблизительно до 3500 кол/сек, придает голосу блеск и полетность.

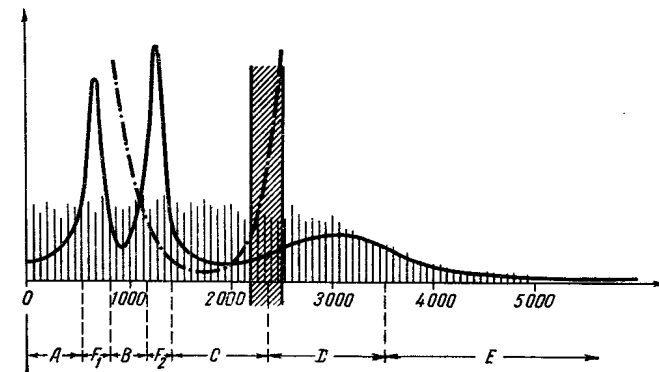


Рис. 42. Первоначальный спектр гортани. Пунктирная кривая показывает, какие частоты срезаются при назализации

Область *E*, если она существует, придает голосу неприятные качества: жесткость, резкость и крикливость.

Все эти данные делают понятным большое значение для пения тембра верхних частот (ТВЧ). Как мы увидим дальше, главными эстетическими качествами голоса являются: мощность, блеск, густота и объем, но как раз они-то и создаются в основном гармониками области верхних частот, идущей за частотой среза.

Весьма интересны физиологические причины этих качеств. Блеск и полетность голоса зависят в основном от тонуса смыкания голосовых связок, то есть от длительности фазы контакта голосовых связок в каждый период, — блеск быстро возрастает с увеличением тонуса и длительности смыкания. Что же касается густоты и объема голоса, то они возрастают одновременно с увеличением глубины смыкания связок по вертикали. Наконец, объем голоса существенно зависит от величины или объема глоточной полости, так как в этой полости основной тон часто получает значительное усиление, особенно между 250 и 400 кол/сек.

Можно заключить, что тембр гласной создается ротоглоточным рупором, а тембр области верхних частот определяется качеством гортани.

§ 40. Физиологические и акустические явления при назализации

Известно, что назализация гласных возникает при опускании нёбной занавески и прохождении звуковой энергии через носовые полости и ноздри. При назализации обязательным является также участие полости рта, ибо при закрытом рте гласные сразу теряют и свои признаки и свой назализованный характер. Некоторые ученые утверждали, что назализация прибавляет каждой гласной одну или несколько формант в определенных частотных областях, создаваемых якобы «резонансом» носовых полостей. Однако эти форманты у всех авторов оказывались различными, их число изменялось от 1 до 18 и притом в пределах от 200 до 7500 кол/сек. Последние исследования, проведенные в Лаборатории физиологии Сорбонны при помощи точной аппаратуры, разработанной Пимонным, показали, что назализацию какой-либо гласной невозможно произвести добавлением к спектру «формант-назализаторов». К спектру гласной можно добавлять какие угодно частоты, но назализация никогда не последует.

В действительности при образовании назализованных звуков носоглоточная полость имеет характер акустической емкости¹, отводящей энергию от ротоглоточного рупора. Она выпол-

¹ В теоретической акустике широко используются электрические аналогии и термины: емкость *C*, индуктивность *L*, сопротивление *R*. Дело в том, что электрические и механические колебания описываются одними и теми же дифференциальными уравнениями.

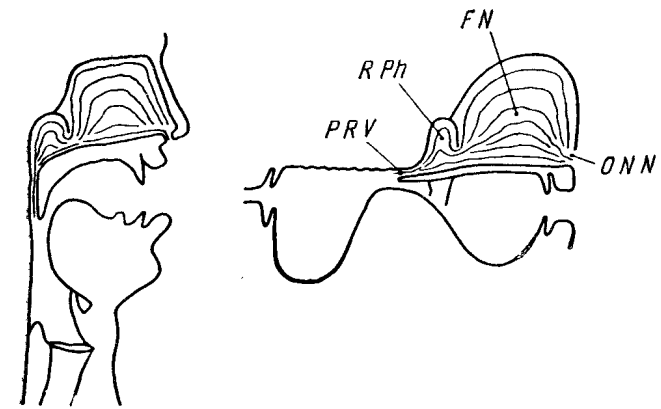


Рис. 43. Профиль ротоглоточного рупора при слегка опущенном мягком нёбе. *PRV* — проход в носоглотку; *RPh* — носоглотка

няет функцию «фильтра нижних частот». Но существование прохода к ноздрям с большим импедансом усложняет проблему: прибегая к электрическим аналогиям, мы можем рассматривать носоглоточную полость как последовательно соединенные емкость и индуктивность. В конечном итоге эту совокупность приходится трактовать как фильтр, вырезающий из спектра определенную полосу частот, а именно 1200—2000 кол/сек. Этот результат был получен еще в 1935 году Борзинским и Тинхаузом, но предан забвению, так как ученые были увлечены поисками «носового резонанса». Проверить последнюю теорию нетрудно: срезая частотную полосу 1200—2000 кол/сек у открытой гласной, получаем назализованную гласную; добавляя ту же полосу к назализованной гласной, превращаем ее в открытую гласную (рис. 43).

Результат умеренного понижения нёбной занавески не ограничивается только назализацией гласных. Можно обнаружить три вторичных явления:

а) на уровне гортани от действия носовой полости создается большой импеданс, изменяющий колебания голосовых связок. Вследствие этого смыкание голосовых связок становится менее плотным и в первоначальном спектре гортани ослабляется интенсивность гармоник, лежащих выше частоты среза 2500 кол/сек. Этот эффект добавляется к вышеописанной фильтрации звука;

б) сильнее выявляется соединение ротовой и глоточной полостей, что вызывает заметный сдвиг их собственных частот;

в) наконец, циркуляция воздуха позади нёбной занавески может порождать очень слабые и неясные звуки, обычно сопровождающие аэродинамический эффект вытекания струй, — они достигают иногда частоты 10 000 кол/сек. Возможно, что некоторые экспериментаторы принимали их за те желанные и неуловимые «назализованные форманты», которые они так упорно отыскивали.

§ 41. Импеданс, приведенный на голосовые связки

Как показал И. Рокар, механизм, возбуждающий колебания в любом рупоре, нагружается всеми сопротивлениями, которые создаются рупором и препятствуют распространению в нем звуковых волн. Гортань не является в этом отношении исключением. Все сопротивления, возникающие на уровне гортани, при постоянном расходе воздуха повышают подсвязочное давление. Это повышение в свою очередь вызывает у гортани различные реакции: значительно изменяется омыкание голосовых связок, характер их колебаний, одним словом, весь механизм атаки.

При повышении импеданса наблюдается, например:

- а) увеличение длительности фазы открытия голосовой щели во время каждого периода (Рольф Тимке, 1955);
- б) утолщение голосовых связок (Р. Юссон, А. Джиан, 1952);
- в) увеличение расхода воздуха.

В результате этих изменений первоначальный спектр гортани имеет тенденцию к обеднению гармоник, лежащих выше частоты среза в пользу других, более низких. Почти всегда обнаруживается заметное воздействие на вентиляцию легких, связанную с фонацией. Увеличение расхода воздуха вызывает реакцию приспособления дыхательных механизмов: более глубокий вдох и усиление работы выдыхательной мускулатуры при одновременном повышении подсвязочного давления.

При образовании назализованных гласных все эти явления еще более усиливаются: импеданс, создаваемый носовой полостью, достигает очень большой величины и присоединяется к импедансу, создаваемому ротоглоточным рупором. Последний в свою очередь также усиливается сужением отверстия между языком и небом. В некоторых случаях подобное усиление импеданса может стать помехой нормальному функционированию механизма атаки.

Таким образом, форма рупора регулирует каждое мгновение величину импеданса, возникающего на уровне гортани, и управляет механизмом атаки звука.

§ 42. Импеданс как защитный механизм голосовых связок

При исполнении восходящей гаммы в первом регистре на открытой гласной, как известно, тонус смыкания гортанного сфинктера быстро возрастает и достигает очень большой интенсивности перед осуществлением прикрытия звука. В этих условиях амплитуда раскрытия голосовых связок становится очень незначительной. Соответственно и длительность фазы раскрытия заметно уменьшается. В результате этого удары, получаемые голосовыми связками при сокращении гёртлеровских волокон, достигают большой силы.

Нетрудно дать ориентировочные расчеты увеличения силы соударения связок, основываясь на расчетах и данных § 28. По глот-

тограммам профессора Фабра можно принять длительность удара связок во время смыкания приблизительно за 0,2 мсек, а величину максимального открытия связок — за 0,2 мм. При этих данных удар связки о связку становится приблизительно в 25 раз более сильным. Это означает, что любое волокно внутренних щито-черпаковидных мышц, сокращаясь, чтобы оттянуть свободный край связки, испытывает каждый период на своем связочном включении нагрузку, увеличенную примерно в 25 раз. Учитывая чрезвычайную тонкость этих волокон и их включений, нетрудно предвидеть большую вероятность их разрыва. Когда происходит подобный разрыв, реакция соединительной ткани в точке повреждения может принять экссудативную форму с разрастанием клеток и развитием в этой точке «узелка». Следовательно, здесь в первую очередь надо искать причины возникновения узелков на голосовых связках певцов. Известно также, что наиболее часто узелки появляются у певцов, «открывающих» свои «переходные ноты». Что же касается места наиболее частого возникновения узелков в передней трети голосовых связок, то по Гёртлеру это объясняется недостаточностью иннервации и питания на этом участке. Мы здесь не настаиваем на правильности этого объяснения. Существование достаточно большого импеданса на уровне гортани во время фонации открытых гласных вызывает небольшое снижение гортанного тонуса, которое в свою очередь слегка увеличивает амплитуду колебаний связок и длительность периода раскрытия. Поэтому сила мгновенных ударов во время каждого сокращения уменьшается, а следовательно, уменьшается и опасность разрыва мышечных волокон.

Таким образом, импеданс, создаваемый рупором на уровне гортани, является мощным защитным механизмом голосовых связок во время фонации.

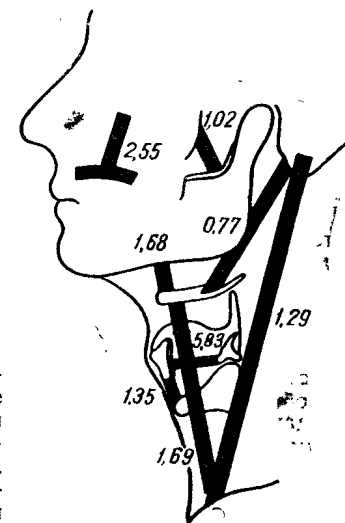


Рис. 44. Сравнительная длина и диаметр двигательных аксонов, приводящих в действие мышцы гортани и ротоглоточных полостей (Е. Кромпотич, 1957). Длина и диаметр определяют время пробега двигательного импульса. Из схемы видно, что колебания голосовых связок предшествуют всем другим фонационным установкам ротоглоточного рупора

Здесь уместно напомнить о важном открытии, сделанном Е. Кромпотич. Она показала, что во время речевой артикуляции двигательные импульсы, исходящие из узлов продолговатого мозга, в первую очередь достигают мышц, управляющих установками гортани, глотки и рта, а во вторую очередь — голосовых связок, после того как уже установлена необходимая форма рупора (рис. 44). Отсюда очевидно, что фонация начинается только тогда, когда рупор подготовлен для создания определенной величины сопротивления. С этой точки зрения нейрологическое явление, открытое Кромпотич, может быть отнесено к разряду защитных механизмов, которыми столь богата физиология человека.

43. Дополнительное действие импеданса. Влияние на фонацию акустических свойств помещений

После появления работ Сэбина (1895) акустические свойства помещений стали в первом приближении характеризовать «временем реверберации»¹.

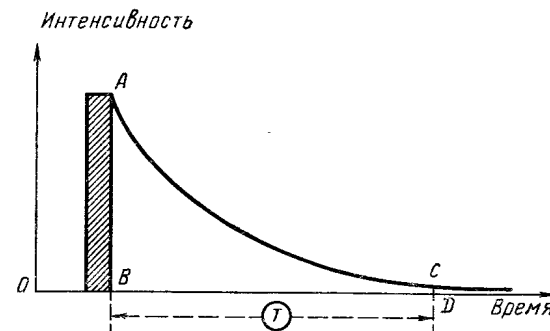
В нашем столетии было проведено огромное количество исследований в области архитектурной акустики, но все они ставили перед собой задачу выяснить наилучшие условия с точки зрения слушания в этих помещениях речи, пения или музыки. Напомним, что для помещений, например, концертных залов средних размеров оптимальное время реверберации: для речи — 1 сек, для пения — 1,4 сек, для симфонического оркестра — 1,5 сек, для органа — 1,8 сек.

¹ Реверберация, или послезвучание, зависит от акустических свойств помещения или пространства, в котором возникают звуки. Некоторые помещения нам кажутся гулкими: пропетый в них короткий звук как бы удлиняется, а иногда порождает даже многократное эхо; в других помещениях тот же самый звук сразу прекращается, создавая впечатление мгновенного уничтожения звуковой волны. Последние нам кажутся неприятными, и поэтому их не случайно называют «глухими».

Иногда говорят, что гулкие помещения обладают «большим резонансом», но это лишь неправильное истолкование физической сущности наблюдаемых явлений. Никакого «резонанса» ни в гулких, ни в глухих помещениях не возникает. В одних помещениях звуковые волны многократно отражаются от стен и воздух долгое время сохраняет энергию звуковых колебаний, в других помещениях, наоборот, отражающие поверхности быстро поглощают звуковые колебания и плотность звуковой энергии в воздухе очень быстро падает.

Поэтому временем реверберации называется время, необходимое для того, чтобы объемная плотность звуковой энергии после выключения источника звука, создающего частоту 100 кол/сек, достигала одной миллионной своей первоначальной величины, что соответствует уменьшению на 60 дБ. Опыт показал, что звучание в помещениях, обладающих чрезмерно большим или чрезмерно малым временем реверберации, неблагоприятно для восприятия. Оказалось, что для каждого объема помещения и вида исполнения (речь, пение, симфоническая музыка, орган и т. п.) существует оптимальное время реверберации.

Рис. 45. Кривая затухания звука в помещении. Заштрихована интенсивность и длительность первоначального импульса частоты 100 гц. Интенсивность CD на 60 дБ ниже AB. T — время реверберации



Но для условий фонации или с точки зрения певца или оратора проблема должна ставиться совершенно с других позиций.

С незапамятных времен известно, что певцы утомляются очень быстро при пении на открытом воздухе или в глухих помещениях, и наоборот, в некоторых залах пение для них становится очень легким и приятным. Также существуют залы, которые оказываются превосходными для слушателей и неприятными для певцов и ораторов (противоположные оценки встречаются реже). Это показывает, что условия легкой фонации целиком отличны от условий наилучшего слушания, хотя и в том и в другом случае эти условия в первом приближении могут быть охарактеризованы временем реверберации.

Таким образом, исследование условий легкой фонации в зависимости от акустических свойств помещения составляет самостоятельную проблему, которая сводится в общем к изучению механизма воздействия акустики помещения на физиологию фонации оратора или певца. Эта проблема была нами поставлена и целиком разрешена в сотрудничестве с Э. Гардом и А. Ришаром. Ниже мы приводим некоторые существенные результаты.

1. Физиологический анализ условий фонации в помещениях со слабой или нулевой реверберацией. Эти условия одновременно и неприятны и тягостны. Они имеют следующие объективные признаки:

- ощущение неудержимой потери дыхания;
- ощущение сжатия гортани;
- «обеление» тембра;
- ослабление или потеря внутренних нёбных ощущений.

2. Изменение условий фонации в зависимости от увеличивающегося времени реверберации. Исходя из времени реверберации $T=0$, можно проследить, что условия фонации изменяются следующим образом:

для T меньше 0,5 сек фонация всегда очень затруднительна, быстро утомляет и связана с явлениями, отмеченными выше в четырех пунктах;

для T , лежащего между 0,5 и 1 сек, фонация все еще затруднительна, но опытный певец путем произвольного приспособления своего ротоглоточного рупора может изменить способ фонации, значительно уменьшив «ощущение ваты во рту» и затрудненность фонации;

для T , лежащего между 1 и 2 сек, ощущается еще некоторая неловкость на уровне гортани, часто исчезающая вследствие чисто рефлекторных приспособлений;

для T , лежащего между 2 и 4 сек, фонация становится легкой, петь становится «удобно»; певец говорит, что он «чувствует свой голос» и что рот у него «полон звуков»;

для T , лежащего между 4 и 8 сек, фонация становится очень легкой, певец чувствует, что «его рот полон звуков» и что «его голос заполняет зал»;

для T больше 8 сек фонация всегда остается легкой, зал как бы «сливается в одно целое со ртом». Однако в гортани иногда появляется ощущение некоторого неудобства на отдельных тональных высотах, совпадающих с низкими звуками самого зала.

3. *Акустическое происхождение рассмотренных физиологических явлений.* Описанные выше физиологические явления всецело находятся в зависимости от импеданса выходного отверстия, образованного губами, и от импеданса, установившегося во внешней среде в предротовом пространстве. Последнее возрастает с увеличением времени реверберации. Если эти два импеданса малы, то акусти-

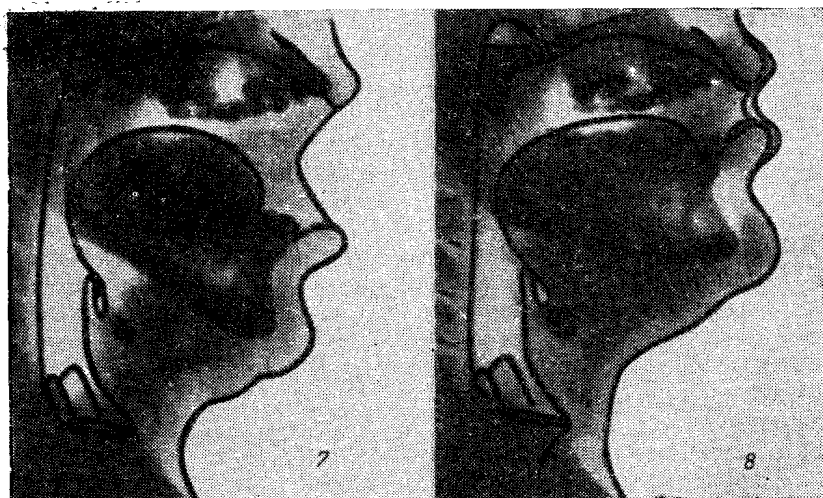


Рис. 46. Увеличение импеданса за счет уменьшения ротового отверстия и вытягивания губ вперед («тюбаж»). 7 — первый тенор парижской оперы П. Финель поет *forte* гласную O открытую на высоте d^1 . 8 — на той же высоте открытое O переходит в закрытое. Отмечается сужение рта и вытягивание губ вперед

ческое давление в ротовой полости понижается, вызывая в свою очередь падение импеданса на уровне гортани, что непосредственно и создает вышеописанные неприятные ощущения.

4. *Механизм физиологического приспособления, позволяющий певцу бороться с недостаточной реверберацией.* Если певцу приходится петь в помещениях с малой реверберацией, то, чтобы избежать неприятных ощущений, у него есть единственное средство — повысить импеданс на уровне гортани, что он может выполнить двумя способами:

а) удлинить ротоглоточный рупор, понизив для этого гортань;

б) уменьшить величину выходного ротогубного отверстия с одновременным выдвиганием губ вперед для удлинения выходной «трубочки».

Последний прием называют «тюбажем». Заметим, что оба приема вызывают сомбрирование звука и они применимы только в той мере, пока не вызывают чрезмерного ухудшения вокального тембра (рис. 46).

Если спад импеданса во внешнем предротовом пространстве незначителен, то певец может простой регулировкой внутренних небных ощущений создать необходимую настройку голосового аппарата, которая позволит ему преодолеть неприятные ощущения; при более сильном спаде импеданса вышеуказанные приспособления могут оказаться недостаточными и певец должен будет прибегать к предварительно осознанной ротоглоточной регулировке механизма фонации; наконец, если спад сопротивления чрезмерно велик, тогда всякое приспособление, еще сохраняющее вокальный тембр, окажется бесполезным.

§ 44. Об анатомо-физиологической структуре стенок ротоглоточного рупора

Все, что было сказано выше о свойствах ротоглоточного и носового рупоров, совершенно не касалось природы перегородок и стенок — они могли бы быть из стекла или стали. Однако в голосовом аппарате человека эти стенки покрыты чувствительными окончаниями, поэтому нам придется теперь рассмотреть некоторые осложнения нейробиологического порядка.

Эти осложнения могут быть трех видов, и они настолько важны, что их детальному изучению будет посвящена целиком третья глава. Здесь мы лишь бегло их рассмотрим.

Во-первых, акустические и аэродинамические давления, возникающие в ротоглоточном рупоре, стимулируют свободные чувствительные окончания, находящиеся в слизистой оболочке, которые через рефлексную дугу, идущую к продолговатому мозгу, увеличивают тонус смыкания гортанного сфинктера. Это положение подтверждают многочисленные опыты, о чем будет сказано дальше в § 51.

РОЛЬ ВНУТРЕННИХ ОЩУЩЕНИЙ В ПЕНИИ

45. Об общей природе внутренней чувствительности фонационного происхождения

Самые выдающиеся оперные певцы во все времена и во всех странах писали о певческом голосе или о своем искусстве. Они всегда с особым вниманием рассматривали свои внутренние ощущения, испытываемые во время пения, иногда находя для них очень точную локализацию. Во Франции к таким певцам можно отнести А. Лабрие, Ж. Морана, П. Разаве, Ж. Вайана; в Германии — Лили Леман. Все они отмечали наличие возможной связи между локализацией и силой внутренних ощущений, с одной стороны, и легкостью и качеством звучания — с другой. Некоторые авторы с большим или меньшим успехом давали описание своих ощущений.

Это, казалось, должно было бы привлечь внимание ларингологов и фониатров, однако, за немногим исключением, ученые не проявили никакого интереса к данному вопросу. Некоторые из них, например Фрешель, усмотрели во «внутренней чувствительности» певцов лишь «гиперфункционирование»¹, а во Франции поставили диагноз «психопатия» тем, кто осмеливался отстаивать важность этой проблемы.

В данной главе мы рассмотрим этот вопрос, строго придерживаясь физиологии. Внутренние ощущения, возникающие во время пения и особенно во время пения с большой мощностью, входят в общую категорию «чувствительности», характерной для сложных двигательных актов, подкрепленных определенной практикой. Сначала мы рассмотрим их природу и периферическую локализацию. Затем мы проследим восходящий путь этих сигналов, возникших на периферии, к коре головного мозга. Мы отметим, что на этом восходящем пути могут проявляться различные рефлекторные действия. Вся эта совокупность ощущений и действий была включена Лермитом и Сулераком в общее понятие «телесная схема». Вернувшись к фонационной функции, мы сможем дать полную картину воздействий внутренней чувствительности на характер певческого голосообразования. Это составит новую главу физиологии, в течение века ожидаемую певцами и непонятым образом отвергнутую ларингологами.

¹ «Сверхфункционирование». Юссон хочет сказать, что Фрешель подменил серьезное рассмотрение вопроса псевдонаучной терминологией.

Во-вторых, эти внутренние восходящие ротоглоточные ощущения не останавливаются на уровне продолговатого мозга, но доходят до коры головного мозга. Здесь они достигают сознания и суммируются при помощи сложных механизмов проприоцептивной¹ памяти и всевозможных ассоциаций, приводящих к образованию вокально-телесных схем².

При помощи своей вокально-телесной схемы, в которой во многих случаях преобладают ротоглоточные ощущения, певец каждое мгновение контролирует свое звукообразование. По ней он мало-помалу создает целый комплекс управлений, относящихся в одно и то же время и к механизму смыканий голосовой щели и к приспособлению ротоглоточного рупора. Не углубляя чрезмерно этот вопрос, отметим, что в оперном пении певец буквально заполнен внутренними ощущениями, при помощи которых он регулирует свои двигательные гортанные и ротоглоточные приспособления, ибо непрерывно изменяется характер звука, а вместе с ним и фонационные установки.

В-третьих, в результате умеренных понижений нёбной занавески возникают нейрологические осложнения, может быть еще более значительные, чем вышеописанные, но на этот раз крайне неблагоприятные по своим физиологическим воздействиям. Понижение нёбной занавески немедленно вызывает понижение звукового давления внутри полости рта, а это в свою очередь ослабляет стимуляцию чувствительных нёбных участков, что приводит к падению тонуса гортанного сфинктера, к потере «блеска» голоса и вуалированию тембра.

Еще более неприятный физиологический эффект возникает при попытках певца форсировать понижение нёбной занавески, употребляя открытые гласные на частотах, лежащих за пределами переходов на прикрытые звуки.

Когда певец пытается назализовать открытую гласную выше этих критических переходов, звукообразование становится крайне затруднительным и даже невозможным: звук обрывается вследствие прекращения колебаний голосовых связок. Это явление можно объяснить следующим образом: понижение нёбной занавески требует активного торможения соответствующих двигательных ядер в продолговатом мозгу; последние находятся в соседстве с двигательными ядрами перстне-щитовидных мышц, сокращение которых вызывает прикрытие звука. Процесс торможения может захватить и ядра перстне-щитовидных мышц и помешать осуществлению прикрытия звука. В этих условиях голосовые связки не получают добавочной возбудимости от повышения натяжения и не будут отвечать на повышение частоты импульсов, идущих по возвратному нерву.

¹ Идущие из мышц, суставов и сухожилий возбуждения объединяются названием проприоцептивных (от латинского proprius — собственный).

² Система индивидуальных внутренних ощущений, возникающая при певческой фонации.

§ 46. Периферическая клавиатура внутренней чувствительности фонационного происхождения

Внутренняя чувствительность, или ощущения, вызываемые фонацией у любого певца, могут быть отнесены к девяти областям, образующим своего рода чувствительную «клавиатуру». Анализ этих явлений был дан мною впервые в 1952 году в курсе лекций, прочитанных в Сорбонне.

Область № 1 (рис. 47) — передненёбная; область № 2 — задненёбная, или область мягкого нёба; область № 3 — заднеглоточная область. В этих областях под влиянием звукового давления возникают внутренние (интероцептивные) возбуждения, которые передаются в высшие разделы нервной системы тройничным, языкоглоточным и блуждающим нервами. Ощущения в этих областях иногда очень точно локализируются.

Область № 4 — гортанная. Она собирает только проприоцептивные рассеянные возбуждения, очень слабые и часто почти невоспринимаемые.

Область № 5 охватывает весь костяк лица (порой простирается до черепной коробки) и получает вибрационные возбуждения, передаваемые костной проводимостью от хрящей гортани. Эти возбуждения, порой весьма интенсивные, воспринимаются в большей своей части тройничным нервом.

Область № 6 — внутритрахеальная. Это область внутренних (интероцептивных) возбуждений, которые, однако, редко бывают осознанными. Область № 7 — грудной клетки. В ней возникают вибрационные рассеянные возбуждения. Ощущения в этой области плохо локализованы.

Область № 8 — область брюшного пресса. Область № 9 — нижнебрюшная, охватывающая мускулатуру таза и даже промежностей. Здесь могут возникать проприоцептивные и двигательные (кинестезические) возбуждения большой интенсивности, создаваемые фонационным выходом.

На этой пространной клавиатуре наиболее важной чувствительностью с наиболее четкими ощущениями будут:

а) внутренняя (интероцептивная) чувствительность нёбных областей № 1 и № 2. Здесь певцы хорошо локализируют свои ощущения, но порой смешивают их с вибрационными ощущениями соседней носо-лицевой области № 5. Образная терминология певцов во всех странах усматривает здесь «место звучания»;

б) двигательные (кинестезические) ощущения в области брюшного пресса № 8 (иногда и № 9), порождаемые дыхательной активностью. Певцы усматривают здесь «опору дыхания».

Прибавим к этому, что все профессиональные певцы единодушно утверждают, что в области гортани № 4 не должно возникать никаких ощущений, кроме слабых, рассеянных проприоцептивных ощущений, иногда имеющих приятный характер, несмотря на то что здесь создается очень большое подсвязочное давление и огромный тонус смыкания голосовых связок.

47. Специфические восходящие пути внутренней чувствительности фонационного происхождения

Мы ограничимся здесь рассмотрением осознаваемой чувствительности, достигающей коры головного мозга в виде формации телесной схемы. В первую очередь мы рассмотрим чувствительность, возникающую в нёбной и лицевой областях (область № 1 и 5), возбуждающую тройничный нерв, а также чувствительность, создаваемую дыхательной активностью брюшного пресса.

Стимуляций, собираемые тройничным нервом, являются интероцептивными в части, относящейся к слизистой оболочке нёба, и палестезическими — в части костно-лицевого массива, — они поступают сначала в ганглий¹ Гассера. Волокна тройничного нерва, проникая во вздутие, здесь образуют первый синапс в чувствительных ядрах нерва V. От этих чувствительных ядер отходит вторая система нейронов, которая после перекреста достигает таламуса. Отсюда третья система нейронов передает импульсы возбуждения в теменную часть коры полушарий, где формируется телесная схема. На рис. 48 показана рефлекторная дуга: от нёба *PPAP* импульсы передаются чувствительному ядру *NST* тройничного нерва, затем — в зрительный бугор *Th* или таламус, составляющий основную часть промежуточного мозга, и наконец достигают теменной части коры полушарий *PA*.

Стимуляции кинестезические, исходящие из брюшного пресса (рис. 49), собираются спинномозговым нервом *NRS*, затем по канатику Голля и Бурдаха *СGB* переходят к ядрам Голля и Бурдаха *NGB* в продолговатом мозгу и через таламус *Th* поступают в теменную зону коры *PA*, где дополняют брюшную область вокально-телесной схемы.

¹ Ганглий — скопление нервных клеток, нервный узел.

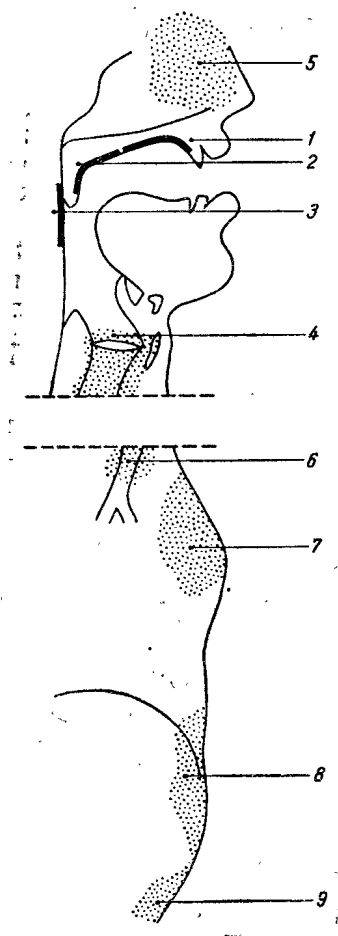


Рис. 47. Области внутренних фонационных ощущений

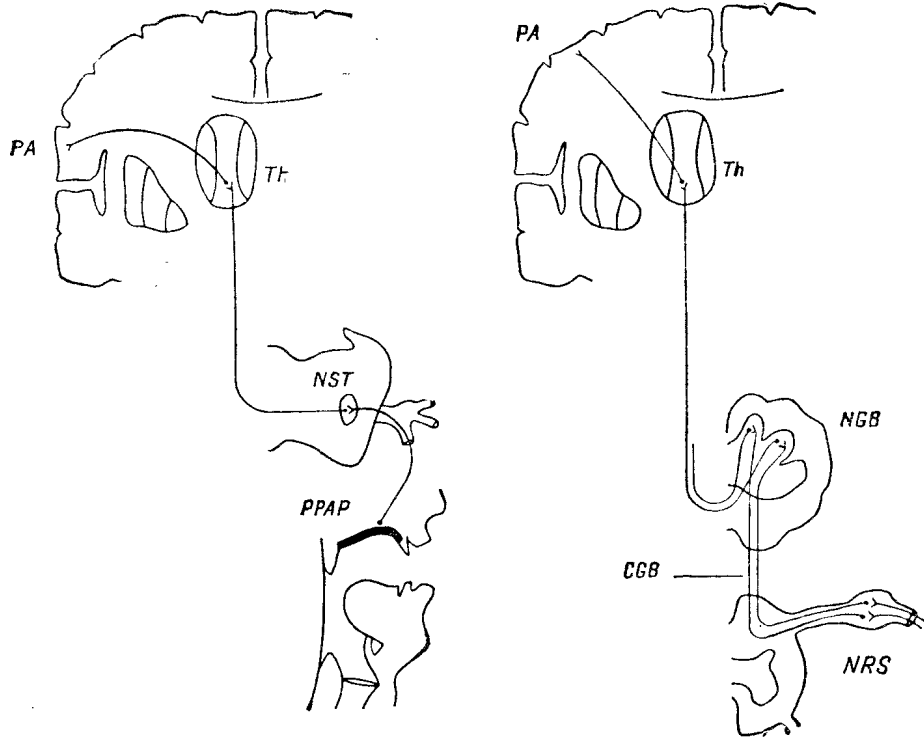


Рис. 48. Схема передачи чувствительности, воспринятой тройничным нервом на уровне твердого неба. Показан восходящий чувствительный путь через чувствительное ядро тройничного нерва NST к таламусу Th (бугру в промежуточном мозге)

Рис. 49. Схема передачи кинестезической чувствительности от брюшного пресса

§ 48. Восходящая система диффузных активизаторов Маруци — Магуна

Описанные выше спино-таламические пути называются специфическими, поскольку они примыкают к полям коры, специфическим для каждого типа чувствительности и для каждой телесной формации. Недавние работы, датированные последним десятилетием, показали, что стимуляции коры головного мозга могут происходить не только по описанным выше путям, но и по другим — побочным. Волокна различных нервов, включаясь в сетчатую формацию спинного мозга, могут передавать свои афферентные стимуляции в подбугровую часть промежуточного мозга (гипоталамус), и отсюда распространять импульсы возбуждения в таламические формации и кору, вызывая диффузную (рассеянную) активизацию различных полей. В § 50 будет показана роль диффузной активизации Маруци — Магуна в певческой фонации.

Различные формы чувствительности и ощущений создают у каждого человека представление о собственном теле. Этот возникающий в нашем сознании образ был назван Ж. Лермитом «телесной схемой» — в ее формировании принимают участие многие зоны или поля головного мозга. Зоны и поля сильно отличаются по своей микроструктуре. Эти отличия неодинаковы у различных индивидуумов, и поэтому вопрос о числе полей долгое время оставался спорным. В настоящее время принято по Бродману (рис. 50) разделять кору на 47 полей. Предполагается, что при формировании вокально-телесной схемы существенную роль играют поля 1, 2 и 3.

Когда человек говорит и особенно когда поет с большой интенсивностью, он осознает каждое мгновение совокупность ощущений, которую создает его «клавиатура» внутренней чувствительности. С особой интенсивностью он воспринимает ощущения, исходящие из областей небной и носо-лицевой; к этому прибавляются ощущения, исходящие от брюшного пресса. К полям Бродмана 1, 2 и 3 добавляются еще поля слуховые, неизбежно возбуждаемые при пении. В 1955 году Андре Сулерак назвал весь комплекс фонационных внутренних ощущений вокально-телесной схемой. Эта схема формируется у певца постепенно в течение первых четырех лет обучения, в первую очередь ясно осознаются ощущения, возникающие в небе и брюшном прессе. Слуховые и зрительные восприятия несомненно помогают процессу становления схемы. Каждый вид вокальной техники порождает свою специфическую вокально-телесную схему, наличие которой в свою очередь стабилизирует данную технику.

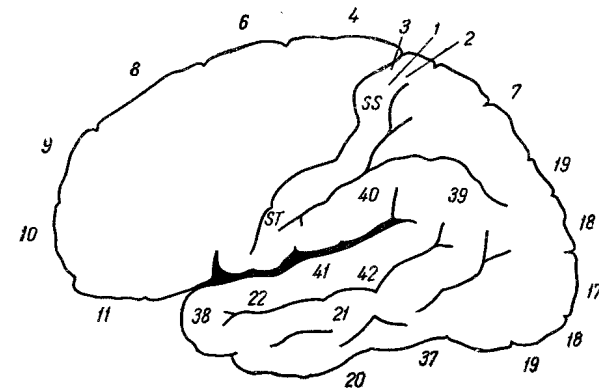


Рис. 50. Зоны коры головного мозга, связанные со слухом и речью

§ 50. Нёбные области — активизаторы фонации

Как мы видели выше, во время фонации внутренняя (интерцептивная) чувствительность оказывается наиболее заметной и наиболее четко локализованной во рту, по длине нёбного свода — от верхних резцов до мягкого нёба. Глубина чувствительной области существенно изменяется от качества гласной и особенно от ее открытого и закрытого характера. Но и для каждой гласной глубина области зависит от высоты звука. Однако наиболее замечательным явлением оказывается постоянство возбуждения чувствительности в передней части твердого нёба — оно возникает всегда на всех гласных и на всех тональных высотах, особенно при пении с большой интенсивностью (рис. 51, а). Это явление было хорошо изучено Ж. Мораном, первым баритоном парижской оперы. Нетрудно понять, что возбуждение передней части нёба вызывается некоторыми гармониками первоначального спектра гортани, образующими здесь узел звукового давления; другой узел должен находиться на уровне голосовой щели, и, следовательно, расстояние между узлами будет колебаться в пределах от 10 до 14 см. Волнам такой длины соответствуют звуковые частоты в полосе от 2500 до 3200 кол/сек — это частоты верхней певческой форманты, которая обладает большой интенсивностью у всех хороших профессиональных голосов.

Часто отмечается и другое явление: когда певец осуществляеткрытие какой-либо открытой гласной, то область передненёбной чувствительности отодвигается назад и нередко достигает задней стенки глотки. Это объясняется тем, что во время перехода на

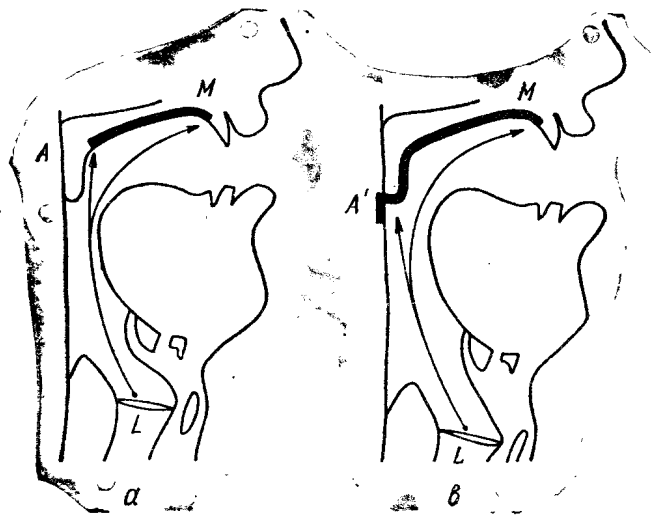


Рис. 51. Нёбная область — активизатор фонации и ее расширение в зависимости от высоты звуков. а — открытые звуки; б — закрытые

прикрытые звуки происходит понижение гортани и в действие вступают узлы давления, соответствующие частотам 3200 кол/сек, но в то же время частоты порядка 2300 кол/сек, обычно очень интенсивные на закрытых гласных, продолжают возбуждать передненёбную область (рис. 51, б). Эта широкая область, разделенная (см. § 46) на три участка (1, 2 и 3), представляет большой интерес для физиологии фонации, так как возникающие здесь внутренние (интерцептивные) возбуждения играют роль стимуляторов, повышающих блеск и полетность голоса. Последние качества являются столь важными для певческого голоса, что мы дали нёбным областям название активизаторов фонации.

§ 51. Механизмы активизации

Певческий опыт показывает, что существует тесная связь между внутренними ощущениями, воспринимаемыми в нёбных областях, и наличием высоких гармоник (выше 2500 кол/сек) в спектре гласных, тех гармоник, которые обуславливают блеск голоса. Можно отметить следующее:

а) когда нёбные области-активизаторы достаточно сильно возбуждаются, в голосе намечается блеск и «металличность». Эти качества усиливаются с увеличением интенсивности внутренних ощущений;

б) если же внутренние ощущения теряют свою интенсивность до полного исчезновения, то голос сохраняет свой объем, характерный первоначальный тембр, но теряет свой блеск, полетность и направленность, то есть качества, определяемые частотами выше 2500 кол/сек.

Для выяснения физиологических механизмов описанных явлений были проделаны многочисленные экспериментальные работы.

Рассмотрим некоторые результаты этих исследований.

1. *Опыты Юссона, Гарда и Ларже (1951)*. Авторы подвергали электрическим возбуждениям полости рта, иннервируемые ветвью тройничного нерва. В надлежащих точках укреплялись при помощи мастики электроды и ток подавался от небольшой индукционной катушки. В процессе опыта певец издавал длительные звуки, а колебания голосовых связок наблюдались в ларингостробоскоп.

При слабом токе и соответствующем возбуждении реакция на уровне голосовых связок оказывалась односторонней, при усилении тока — двухсторонней, и при очень сильном токе реакция распространялась на все окологортанные мышцы. Наблюдалось увеличение тонуса и добавочное сокращение мышц. Что касается голосовых связок, то можно было отметить увеличение их натяжения и значительное уменьшение амплитуды колебаний. Явления становились наиболее отчетливыми на тихих звуках и при фальцете.

2. *Опыты Юссона и Гарда (1952)*. Эти опыты по отношению к предшествующим являлись своего рода «доказательством от противного». В то время когда певец издавал длительные звуки с

возможно для него постоянной интенсивностью, производилась кокаинизация передней части нёбного свода, то есть области № 1. По мере того как действие кокаина распространялось к нёбной занавеске, звук начинал «белеть», что являлось признаком быстрого снижения тонуса смыкания голосовой щели.

Когда кокаинизация полностью охватывала области № 1 и № 2, певец уже никакими изменениями формы ротовой полости, ни увеличением подвязочного давления не мог вернуть первоначальный блеск и полетность голоса. Ларингостробоскоп показывал увеличение амплитуды колебаний связок, то есть явный признак ослабления тонуса.

3. *Опыты Е. Себастиани (Турин, 1957).* В Турине в клинике оториноларингологии доктор Е. Себастиани поставила следующий опыт: для уничтожения фонационных возбуждений нёбных полос-

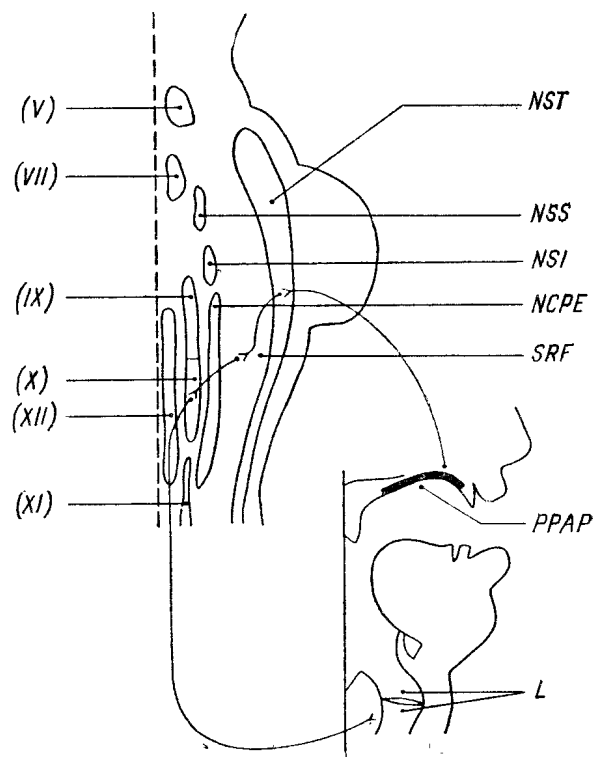


Рис. 52. Рефлекторная дуга нёбно-гортанной активности. Римскими цифрами обозначены моторные ядра: V — тройничного нерва, VII — лицевого нерва, IX — языкоглоточного, X — блуждающего, XI — добавочного, XII — подъязычного. Нёбные рецепторы передают возбуждение чувствительным ядрам тройничного нерва (V) NST с последующим диффузным возбуждением вышеперечисленных моторных ядер

тей она производила их замораживание при помощи хлоралэтила и наблюдала в ларингостробоскоп колебания голосовых связок. Замораживание было строго односторонним. По мере того как замораживание производило свое очень быстрое действие, можно было наблюдать, как связка, соответствующая замороженной стороне нёба, теряла свою упругость и начинала вибрировать с увеличенной амплитудой (признак потери тонуса).

4. *Влияние уменьшения реверберации на певцов (Юссон, 1951).* Выше мы уже отмечали, что уменьшение времени реверберации в залах приводит к потере блеска и полетности голоса. Изменение времени реверберации можно легко осуществить либо опуская перед певцом широкий мягкий занавес, либо открывая окна и двери в помещении, где происходит пение. Во время подобных опытов легко заметить, как голос «белеет» и теряет свой блеск. Певцы жалуются на ощущение «ваты во рту» и на то, что «больше чувствуют свой голос». Спектральный анализ подтверждает изменение гармонического состава певческого звука.

Мы показали в 1951 году, что эти неблагоприятные для пения условия и ощущения возникают вследствие падения звукового давления во внутриворотной полости и уменьшения импеданса на уровне гортани.

5. *Общий механизм активизации гортани нёбными стимуляциями.* Явления активизации гортани, отмеченные певцами путем самонаблюдений, становятся более понятными в свете недавних работ Маруци и Магуна. На рис. 52 показано, что при интенсивной певческой фонации стимуляции, исходящие от нёбной области PPAP, носящие, по Маруци и Магуну, диффузный характер, могут вызывать активность чувствительных и двигательных ядер многих черепномозговых нервов (V, VII, IX, X, XI и XII)¹.

§ 52. О других афферентных возбуждениях, активизирующих тонус гортани

Тот факт, что возбуждения, полученные тройничным нервом, активизируют ядра возвратного нерва в продолговатом мозгу, заставляет предполагать, что и другие афферентные возбуждения, достигающие сетчатых структур продолговатого мозга, могут оказывать динамическое воздействие и на тонус гортани, а следовательно, и на голос. Это предположение подтверждается многими опытами, из которых мы рассмотрим лишь главные.

Во-первых, все импульсы возбуждения стато-кинематического происхождения, то есть возникающие в наших мышцах при совершении произвольных движений или удерживании положения равновесия, могут оказывать тормозящее или активизирующее действие на гортань. В 1952 году Юссон, Гард и Амейль в Лаборатории физиологии Сорбонны провели ларингостробоскопические наблюдения над певцом, лежавшим на спине в расслабленном состоянии

¹ См. вступительную статью, с. 35.

и певшим длительный звук. Его гортань представляла типичную картину неполного паралича (пареза) функций приведения и натяжения. Не прекращая наблюдений, певцу предложили сначала слегка приподнять голову, а затем последовательно отделить и плечи от их горизонтальной опоры. Можно было видеть, как постепенно исчезал образ почти парализованной гортани и восстанавливалось нормальное натяжение и смыкание связок.

Во-вторых, было обнаружено воздействие на тонус гортани со стороны костного лабиринта внутреннего уха. В 1957 году П. Менц в туринской клинике проводил стробоскопические наблюдения при одновременном охлаждении уха певца, издававшего длительный звук. Можно было наблюдать, как связка с охлаждаемой стороны через 4—5 сек после начала охлаждения начинает увеличивать свое натяжение и уменьшать амплитуду (признак увеличения тонуса). Частота колебаний во время этих процессов оставалась неизменной.

В-третьих, опыты Гарда и Ларже в 1951 году вскрыли влияние сильных возбуждений слуха на тонус гортани. Чрезмерно интенсивные стимуляции слуха не только поднимают тонус гортанных мышц, но и активизируют деятельность всей дыхательной мускулатуры. В этом можно усмотреть правильное объяснение так называемого опыта Ломбарда. В этом опыте к ушам поющего человека подводится смесь звуков различной частоты, маскирующая собственный голос певца, — тогда независимо от своей воли он увеличивает силу звука.

Однако систематическое изучение вскрыло более сложную картину. Очень низкие частоты, возбуждающие слух, лежащие ниже 500 кол/сек, вызывают падение гортанного тонуса и возбудимости возвратного нерва (Х. Шеней, 1956); противоположное действие вызывают частоты, превышающие 1000 кол/сек. В этом направлении проводились интересные исследования А. Томатисом (1954), П. Шошаром и Г. Мацье (1955) и автором этой книги (1957).

Несомненно, имеется много других афферентных возбудителей, оказывающих воздействие на сетчатые структуры продолговатого мозга с последующим повышением тонуса гортанного сфинктера и блеска голоса. К ним можно отнести импульсы возбуждения, исходящие от поверхности легких, например при повышенном дыхании, увеличение психологических напряжений (система нисходящих активизаторов) и т. п. Сильное стимулирующее действие могут производить и некоторые гормоны, как, например, тироксин и некоторые препараты коры надпочечников (исследования Ж. Амадо, 1951—1955).

Наконец добавим, что Рсже, Россе и Жирондоли (1955), проводя на собаке электрофизиологические опыты, показали, что из всех чувствительных афферентных импульсов, воздействующих на сетчатые формации продолговатого мозга, наиболее действенными оказываются возбуждения, исходящие из тройничного нерва. Это, пожалуй, является наилучшим объяснением активизирующей роли нёбных полостей.

§ 53. О субъективной направленности внутренних ощущений

Рассматривая проблемы внутренней чувствительности фонационного происхождения, нельзя не затронуть и другой род чувствительности или внутренних ощущений, носящих более субъективный характер и, следовательно, более трудных для изучения. Тем не менее и они играют важную роль в совокупности тех ощущений, которые достигают сознания певца во время пения и также участвуют в формировании его вокально-телесной схемы (рис. 53).

Опыт показывает, что большинство певцов ощущает ту или иную направленность звуков во время пения. У всех мужчин в первом регистре и в малой октаве (от 125 до 250 кол/сек) создается впечатление, что звук голоса направлен вперед и горизонтально. А у женщин в самой верхней четверти второго регистра (от 900 до 1200 кол/сек) — что звук направлен вертикально вверх, к темени.

Эти впечатления нашли свое обобщение в известной книге Лили Леман «Мое искусство пения» (1909). Автор иллюстрирует субъективную направленность собственных ощущений в виде расположенного вокруг головы веера, раскрывающегося в соответствии с высотой исполняемых звуков (от c^1 до f^3), а также излагает свой педагогический метод, при помощи которого ученики могут воспитать в себе необходимые ощущения (рис. 54).

Несмотря на субъективность вышеописанных ощущений, они являются общими и характерными для многих певцов, поэтому перед нами возникла проблема — установить физиологическое про-

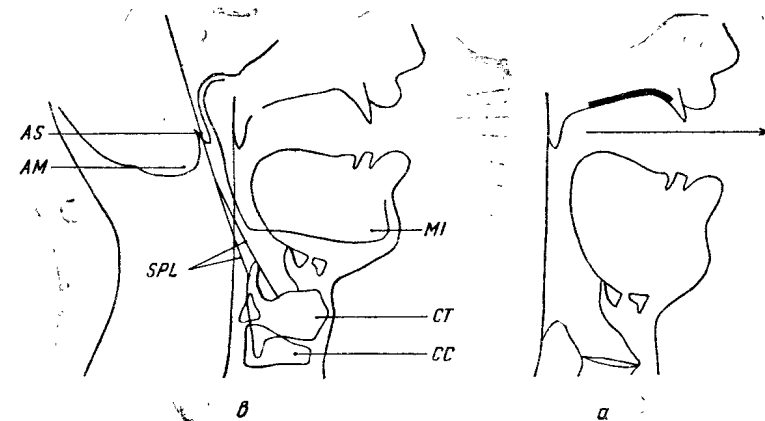


Рис. 53. Субъективная оценка направленности внутренних ощущений. *a* — низкое положение гортани, воспринимаются нёбные ощущения, кажется, что они проектируются в горизонтальном направлении; *b* — гортань поднята, сокращение шило-глоточной мышцы *SPL* создает впечатление направленности внутренних ощущений по вертикали; *CT* — щитовидный хрящ; *CC* — перстневидный хрящ; *AM* — сосцевидный отросток; *AS* — шиловидный отросток; шило-глоточная *SPL* — носит еще название «нижнего сжимателя глотки»

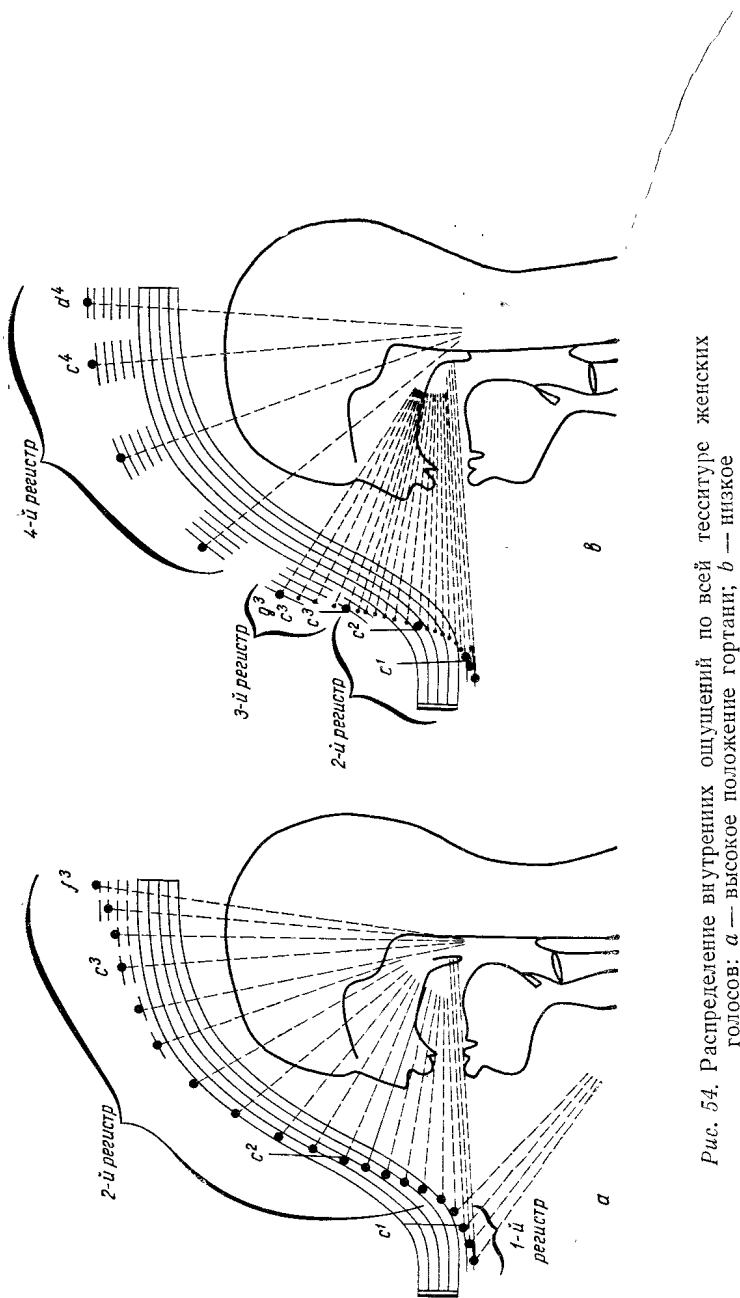


Рис. 54. Распределение внутренних ощущений по всей тесситуре женских голосов: *a* — высокое положение гортани; *b* — низкое

исхождение этой направленности звука. Нам удалось ее разрешить между 1951 и 1955 годами путем опроса певцов, рентгеноскопических исследований и различных экспериментов. В работе принимали участие многие известные французские оперные певицы и певцы. Приводим их имена в порядке возрастающих хронаксий. Певицы: Мадо Робен, Берта Монмарт, Сюзанна Жиоль, Симона Кудрек, Рита Горр. Певцы: Роже Галиа, Эрнест Бланк, Рене Бианко, Жорж Вайан. Были сделаны следующие выводы:

а) субъективное ощущение горизонтальной направленности звука вызывается возбуждением передних нёбных областей № 1. С прекращением этого возбуждения при белых открытых звуках небольшой интенсивности исчезает и ощущение направленности (рис. 54, *a*);

б) субъективное ощущение вертикальной направленности звука (к темени) вызывается сокращением шило-глоточно-гортанных мышц, поднимающих гортань со всеми хрящами в направлении шиловидного отростка основания черепа. Это ощущение появляется только при подъеме гортани и отсутствует даже на предельно высоких звуках, если при этом гортань остается в опущенном состоянии (рис. 54, *b*);

в) когда возникают в верхней квинте каждого регистра одновременно ощущения горизонтальной и вертикальной направленности звука, то создается суммарная промежуточная направленность под некоторым углом к горизонтальной линии. Этот вид чувствительности, порождающий ощущения субъективной направленности звука, привлекал внимание многих певцов и педагогов, которые однако, не смогли использовать свои наблюдения для разработки предпочтительной вокальной техники. Ощущения направленности звука приобретают большое значение в связи с тем, что они оказывают существенное влияние на положение и настройку ротоглоточного рупора, а также на колебательные процессы в гортани.

Рассмотрим один наводящий на размышления факт. Все выдающиеся женские голоса, которые мы привели выше, сохраняют до самых верхних звуков второго регистра, а иногда и третьего, ощущение горизонтальной направленности, без какого-либо участия головных вертикальных направлений. Это можно объяснить тем, что певицы на всей тесситуре поддерживали низкое положение гортани. Мадо Робен, одна из наиболее высоких колоратурных сопрано, ощущала появление вертикальной направленности звука только в четвертом регистре (от a^3 до d^4), когда возникал постепенный подъем гортани (рис. 54, *b*).

§ 54. Автоматическое управление и самоконтроль звукообразования на основе вокально-телесной схемы

Последние экспериментальные данные позволили уточнить важную роль внутренней чувствительности в фонации и особенно при пении с большой мощностью. Певцы и ораторы каждое мгновение

осознают совокупность своих внутренних ощущений, что позволяет им в большей мере судить о качестве своего звукообразования и приспособлять голосовой аппарат к создавшимся условиям. Другими словами, вокальная телесная схема позволяет им управлять работой чувствительно-двигательных ассоциаций, охватывающих все органы во время фонации.

Несомненно, во всем нашем поведении, жестах, связанных с выполнением тонких и сложных движений, имеется нечто общее и со становлением вокальных процессов. Но в последних управление и контроль осуществляются механизмами более сложными, с координированной двигательной активностью, отдельные элементы которой ускользают от нашего внимания и волевых воздействий.

Механизмы управления представляют особый интерес, и мы могли в них углубиться в процессе наших исследований. Можно было наблюдать, что у всех певцов на основе вокальной телесной схемы в первую очередь вырабатывается совокупность рефлекторных автоматических и полуавтоматических механизмов управлений, во вторую очередь — механизмы приспособлений, уже более подчиненные волевым намерениям. Но в конечном итоге все эти сознательные и бессознательные воздействия на тонус гортани, установки ротоглоточных полостей, приспособление дыхания сводятся к тому, чтобы снова воссоздать вокальную телесную схему, ранее воспринятую и осознанную певцом.

Включение этих механизмов управления становится особенно заметным, когда пение происходит в зале с очень маленькой реверберацией. В этом случае давление внутри ротоглоточных полостей, а следовательно, импеданс оказываются весьма незначительными. Певец, стремясь повысить давление и сопротивление, бессознательно уменьшает раскрытие рта, то есть выход ротоглоточного рупора. Если падение реверберации не слишком велико, вокальная телесная схема певца восстанавливается вследствие усилившихся возбуждений нёбных полостей. Если же падение реверберации слишком велико, чтобы его можно было компенсировать рефлекторным сужением ротового отверстия, то певец должен уже применить волевые, сознательные управления и воздействия на свой голосовой аппарат, выработанные предварительной тренировкой и вокальной практикой.

§ 55. Обратные связи фонационного происхождения. Анализ эффекта Томатиса (1954)

В 1954 году с Томатисом нами был поставлен следующий опыт: певец, певший перед микрофоном, снова получал свой голос, но не из внешнего пространства, а через головные телефоны. Из микрофона первоначальные звуковые колебания проходили через усилитель, снабженный системой полосовых фильтров, позволявших изменять интенсивность гармоник первоначального спектра певческого звука, поступавшего в микрофон. Таким образом, эксперимен-

таторы могли воздействовать на слух певца тембром, измененным по их произволу (рис. 55). При некоторых изменениях спектра было обнаружено, что певец независимо от своего желания изменяет качество звукообразования.

Более позднее изучение этих явлений в Лаборатории физиологии Сорбонны позволило сделать некоторые обобщения.

1. *Случай, когда спектр X^1 , возбуждающий слух, близок к первоначальному певческому спектру X .* Если спектр X^1 , возбуждающий слух, близок к первоначальному спектру X и если изменение режимов гортани и ротоглоточных полостей позволяет перейти от X к X^1 , то певец бессознательно переходит на спектр X^1 :

а) если в спектре X^1 слегка увеличена интенсивность полосы 2500—3500 кол/сек, такое же усиление этой полосы появляется и в спектре X . Ларингостробоскоп показывает соответствующее увеличение тонуса гортанного сфинктера;

б) если в спектре X^1 увеличена интенсивность полос глоточных формант (или полости рта), то и в спектре X также усиливаются эти области, при соответствующем приспособлении глоточной полости (или полости рта) и улучшении их резонансного состояния.

2. *Случай, когда спектр X^1 сильно отличается от X , но еще физиологически возможен для гортани певца.* Если спектр X^1 , поступающий в уши певца, представляет гласную, достаточно удаленную от первоначальной X , то голос певца самопроизвольно переходит от X к X^1 . Но этот переход не является полным и зависит от индивидуальности певца. Здесь интересны два случая:

а) если в спектре X^1 усилена (или ослаблена) интенсивность полосы 1200—1800 кол/сек, то в спектре X уменьшится (или увеличится) назализация звука. Соответственно можно наблюдать подъем (или понижение) нёбной занавески;

б) уменьшение интенсивности всех спектральных составляющих, лежащих выше 500 кол/сек в спектре X^1 , вызывает аналогичное уменьшение и в спектре X . Особенно это сказывается на поло-

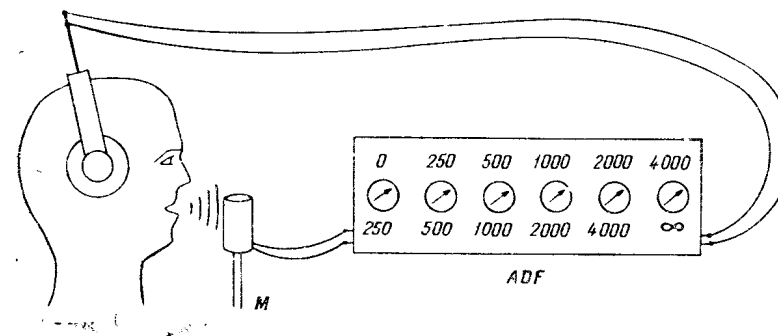


Рис. 55. Схема установки А. Томатиса, позволяющая подавлять или усиливать различные полосы частот певческого спектра. Первоначальный спектр голоса певца X преобразуется усилителем в спектр X^1 , который через головные телефоны воздействует на слух певца

се 2500—3500 кол/сек — следствие падения тонуса гортани, наблюдаемого в ларингостробоскоп.

3. *Случай, когда спектр X^1 физиологически невозможен для певца или слишком далек от X .* В этом случае певец продолжает придерживаться своего первоначального спектра X , ощущая неприятную помеху. Удаление из спектра X^1 двух формант либо лишает спектр X окраски гласной, либо переводит его в гласную другого качества, например O открытое в U .

4. *Общее истолкование наблюдаемых явлений.* Рассмотренные результаты можно объяснить следующим образом: певец создает спектр X , который трансформируется фильтрами в спектр X^1 ; последний возбуждает слуховые зоны коры, захватывает зоны интеграции, где формируется вокально-телесная схема певца, и она в соответствии с установившимися обратными связями переходит в схему X^1 с перестройкой установок голосового аппарата, приспособляя его к созданию нового спектра X^1 .

Эти явления впервые были описаны Томатисом, поэтому преобразование спектра при помощи обратного слухового воздействия мы называли «эффектом Томатиса».

5. *Дополнительные экспериментальные наблюдения:*

а) эффект обратного воздействия спектра X^1 , возбуждающего слух певца, проявляется более ясно, если интенсивность X^1 превышает интенсивность X , воспринимаемую певцом через костную проводимость;

б) эффект обратного воздействия проявляется сильнее у тех профессиональных певцов, которые хорошо чувствуют свою вокально-телесную схему и ее соответствие с качеством звучания голоса;

в) у необученных голосов эффект перехода спектра X в X^1 происходит только тогда, когда физиологически этот переход может быть легко осуществим;

г) обратное воздействие легко осуществляется и для голоса разговорного. «Разговорная телесная схема» может рассматриваться как повседневный стереотип, выработанный многолетней практикой;

д) обратные воздействия, связанные с изменением гортанного тона, возникают наиболее легко, так как они вызваны изменением конфигурации ротоглоточного рупора.

6. *Соответствие между измененными полосами частот и группами мышц, активизированных обратным воздействием.* Анализ этих явлений позволяет установить достаточно ясное соответствие между полосами измененных частот и группами мышц, на которые распространилось обратное воздействие. Замечательно то, что в этом соответствии частота среза ротоглоточного рупора играет весьма существенную роль:

а) при увеличении интенсивности гармоник, лежащих выше частоты среза, гортань отвечает единственной реакцией — увеличением тонуса смыкания голосовых связок (увеличение блеска и полетности голоса). Понижение интенсивности дает обратную картину;

б) воздействие на гармоники, лежащие ниже частоты среза, не вызывает изменения гортанного тонуса, но влияет исключительно на установки ротоглоточного рупора. В частности, если изменить полосу частот 1200—1800 кол/сек, то это вызывает лишь увеличение или уменьшение назализации, то есть приводит к опусканию или подъему небной занавески. Избирательное воздействие на зоны формант гласных вызывает приспособления и модификации в областях глотки или рта.

Глава IV

КЛАССИФИКАЦИЯ И КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ ПЕВЧЕСКИХ ГОЛОСОВ

§ 56. Классификация и классифицирование

Классификация — это система (или таблица), разделяющая певческие голоса на типы в соответствии с их главными характеристиками: диапазон или протяженность, сила, тембр и т. п. *К л а с с и ф и ц и р о в а н и е* — это либо обозначение типа голоса в данной системе классификации, либо процедура, устанавливающая различие между голосами.

§ 57. Традиционные классификации

Изучение старинных нотных текстов (некоторые из них относятся к средним векам) показывает, что первоначально мужские и женские и даже детские голоса делились только на два типа: низкие и высокие. Тесситура, соответствующая каждому типу, охватывала 9 или 10 звуков, причем высокие голоса были лишь на терцию выше соответствующих им низких. Только в XVIII веке появляются музыкальные произведения, написанные для средних голосов, в первую очередь для женских и реже для мужских, в то же время соответствующие низкие и высокие тесситуры оставались почти неизменными.

Лишь опера XIX века сломала эти тесные рамки. Для мужских голосов стали использовать три достаточно широких диапазона: бас, баритон и тенор; а для женских — контральто, меццо и сопрано. Вскоре и эта классификация оказалась недостаточной, оперные композиторы стали употреблять классификацию, учитывающую тембральные особенности голоса, однако она мало отличалась от классификации по диапазону. Так появился легкий баритон, совпадающий с высоким баритоном, легкий тенор, соответствующий высокому тенору, драматическое сопрано, совпадающее с низким сопрано, и т. д. Это вторжение тембральной классификации в классификацию по диапазону стало постоянным

источником трудностей и подчас непоправимых ошибок. На этой эмпирической и во многом порочной классификации основываются и в настоящее время музыкальные произведения для сформировавшихся певческих голосов.

§ 58. Старые способы классифицирования певческих голосов

Из прежних способов классифицирования отметим следующие:

1. Классифицирование на слух по звуковому диапазону певца.

Это классифицирование является наиболее старым и наиболее употребительным. Певцу предлагают петь на всех гласных звуки его диапазона, переходя от самых низких к самым высоким, при этом обращают внимание на главные особенности голоса, определяют самые высокие и самые низкие звуки диапазона, отмечают, на каких звуках появляется прикрытие открытых гласных, а также обращают внимание на область, наиболее легкую для исполнения, и т. п. Очевидно, что этот способ классифицирования предъявляет в первую очередь требование к личному опыту и способностям педагога.

Однако подобное классифицирование, как уже давно отмечалось, встречается с многочисленными трудностями, которые оно не в состоянии преодолеть. Вот эти трудности:

а) в начале вокального обучения у певцов редко бывают достаточно устойчивые и определенные вокальные характеристики, особенно это относится к верхним звукам певческого диапазона, кроме того, некоторые начинающие певцы не могут осуществлять прикрытие звука и правильный переход в головной регистр. В этом случае осторожный педагог делает предварительную оценку типа голоса, которую в дальнейшем предполагает уточнить, но и здесь он сталкивается с весьма существенной неопределенностью — неизвестно, в каком направлении должен работать ученик, а эта неясность, несмотря на предосторожности педагога, может в конечном итоге привести к порче голоса;

б) некоторые голоса в начале вокального обучения имеют укороченный диапазон за счет верхних звуков, что бывает обусловлено либо недостаточным развитием гортанного сфинктера, либо недостаточным функционированием эндокринной системы (особенно щитовидных желез). В результате певцу приписывают пониженную классификацию, тенор превращается в баритона и т. п.;

в) некоторые голоса от природы, наоборот, обладают очень большим диапазоном с хорошими верхними и нижними звуками, а это дает основание для еще больших сомнений и колебаний при попытке классификации голоса на слух.

В 1955 году нам пришлось наблюдать певца с превосходным голосом, совершенно легко исполнявшего музыкальные отрывки в пределах от E до h^1 , то есть более двух с половиной октав. У профессора, обучавшего этого певца, возникло законное сомнение, классифицировать ли его как баса-кантанта, баритона или низкого

тенора; было решено обучать певца как центрального баритона (см. § 61).

Подобные случаи более часто можно наблюдать на женских оперных голосах. Певицы с хорошо развитой гортанью и активной эндокринной конституцией, особенно с небольшой гиперфункцией щитовидной железы, легко достигают c^3 , а в вокализах — d^3 и es^3 . При использовании грудного регистра они, спускаясь вниз, достигают g^3 малой октавы, а иногда и еще более низких звуков. Подобные голоса с легкостью исполняют и партию Кармен и партию Тоски, однако одна из этих партий оказывается для певицы более утомительной. Неопределенность классификации иногда вызывает повышенную утомляемость в обеих партиях;

г) наконец, существуют трудно классифицируемые голоса, постоянно переходящие от одного педагога к другому, так, драматическое сопрано и низкий тенор у одного педагога превращаются в меццо-сопрано и высокий баритон у другого. В таком случае никакие партии современного репертуара для них не подходят: одни оказываются слишком низкими, другие слишком высокими. Этот вопрос будет рассмотрен в § 62.

2. Классифицирование на слух по тембру. Этот способ, видимо, возник вследствие вышеуказанных трудностей классифицирования по диапазону. Он состоит в том, что певца признают тенором по той причине, что он обладает теноровым тембром, а баритоном будет считаться тот, кто обладает баритональным тембром. Этот способ является совершенно абсурдным и приводит подчас к весьма удивительным ошибкам.

В настоящее время известно, что тембр и тесситура или диапазон обусловлены совершенно различными физиологическими факторами. Тесситура певца зависит только от возбудимости его возвратного нерва, тогда как тембр от нее не зависит и определяется другими факторами (см. § 35 и 39).

Так, голос с определенной тесситурой, например высокий баритон, может иметь легкий и светлый тембр, но может и обладать густым сомбринированным звуком.

Дальше мы увидим, что тембр голоса зависит в очень большой степени от постановки голоса или вокальной техники, которой обладает певец или которую приобретает в процессе обучения.

3. Ларингологическое классифицирование по длине голосовых связок. Со времени изобретения Гарсиа ларингоскопа в 1855 году, позволявшего рассматривать гортань во время фонации, начали искать зависимость типа голоса от длины голосовых связок. Для той эпохи эта идея казалась вполне обоснованной аналогией со струнными музыкальными инструментами: длинной струне соответствуют низкие звуки, короткой — более высокие. Добавлялось еще, что воздух действует на голосовые связки так же, как смычок на скрипичную струну. Несмотря на необоснованный характер этого уподобления, сразу делался вывод, как вполне логичный и естественный, что высоким голосам должны соответствовать короткие связки, низким — длинные. Это правило, сформулированное самим

Гарсиа, быстро завоевало признание ларингологов. Несомненно, многим представлялась весьма заманчивой возможность классифицировать голоса столь простым способом, при помощи одного зеркала.

Однако уже в самом начале ларингоскопических наблюдений ряд выдающихся ларингологов отнеслись к этому методу скептически. Так, Морель Макензи (1886) заявил: «Ларингоскоп не приносит пользы, он не позволяет с уверенностью отличать контральто от сопрано или тенор от баса». Ленокс Браун (1883), Мандль (1897), Кастекс (1894), Цукеркандль (1900), Имхофер (1926) и другие придерживались такого же мнения. Помимо этого, Кюно (1906) в своей работе отметил, что при попытках измерения голосовых связок при помощи ларингоскопа сталкиваются с тем обстоятельством, что почти никогда передние и задние включения голосовых связок не видны одновременно и что даже если бы они были видны, то неизбежны погрешности порядка 1 мм при оценке их точных положений.

Мои личные наблюдения над профессиональными певцами, типы голосов которых не вызывали сомнения, подтверждают, что старое правило Гарсиа находится в абсолютном противоречии с фактами. Например, Карузо обладал столь длинными связками, что в соответствии с их длиной должен был бы обладать голосом более низким, чем бас-профундо; Лабрие, бас-кантанте, обладал очень короткими голосовыми связками; Мариз Божон, высокое сопрано, обладает связками, длина и ширина которых соответствуют баритональным; Ж. Дарля, высокое колоратурное сопрано, обладающее великолепным третьим регистром, имеет очень длинные, широкие и толстые связки и т. д. Можно было бы продолжить эти примеры, но уже сказанного достаточно, чтобы сделать определенное заключение: никто не отрицает, что существуют басы, обладающие длинными связками, но существуют и с короткими, и, наконец, басы со связками неопределенной средней величины. То же самое можно сказать про любой другой тип голоса. Очевидно, что между типом голоса и длиной голосовых связок не существует никакой определенной зависимости.

Очень интересный и редкий случай, убедительно подтверждающий последний вывод, был отмечен итальянским ларингологом Паньини в 1957 году: у юноши 17 лет был зарегистрирован гигантизм гортани. После нормального периода половой зрелости, наступившей в 14 лет, у молодого человека стала непрерывно увеличиваться во всех своих размерах лишь одна гортань, и голосовые связки достигли длины 4,5 см. Профессора пения признали, что молодой человек является тенором с ограниченным диапазоном. На рис. 56 воспроизведен профиль этого юноши.

Ларингологическое изучение показало, что гортань этого человека функционирует совершенно нормально во время фонации: связки колеблются по всей длине с нормальной амплитудой, создавая впечатление, что рассматривается самая обычная гортань через увеличительное зеркало.

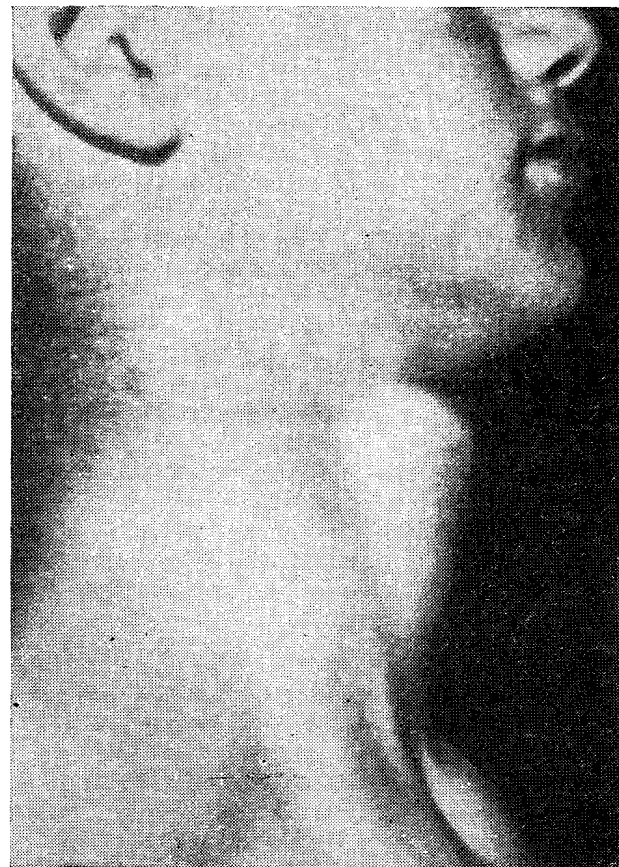


Рис. 56. Гигантизм гортани — длина связок 4,5 см. Признан профессорами пения «тенором с ограниченным диапазоном»

4. *Классифицирование по объему ротоглоточных полостей.* Этот способ приписывает низким голосам большой объем ротоглоточных полостей, а малый объем — высоким голосам. Однако доказано, что объем ротоглоточных полостей влияет только на тембр голоса.

5. *Классифицирование по морфологическим¹ признакам.* Длина голосовых связок и объем ротоглоточных полостей в попытках анатомо-физиологического определения типа певческих голосов не являются единственными критериями: для этой цели привлекались еще и данные общей морфологии. Так, Турис ван Борре разделял людей на две большие группы — «плоских» и «круглых»; к первым у мужчин он относил басов, а ко вторым — теноров. Для женщин

¹ Морфология — наука о закономерностях строения организма.

он применял такую же классификацию, но с некоторыми нюансами. Он писал: «Санчо Панса является скорее карикатурой тенора, Дон Кихот — карикатура баса. Баритоны сочетают в себе типы того и другого». Другие авторы, исходя из тех же позиций, «длинных» относят к басам, а «коротышек» — к тенорам. Однако при столкновении с фактами от этих концепций ничего не остается.

Среди современных оперных певцов, типы голосов которых не вызывают сомнения, можно найти высоких и сухощавых теноров, возможно даже больше, чем маленьких и толстых, маленького роста басов-профундо, огромного роста сопрано, баритонов — одних высоких, других маленьких и коренастых и т. д. Очевидно, что соответствие между морфологическим типом певца и его голосом является иллюзией.

6. *Классифицирование по признакам пола.* К области безудержного воображения следует отнести попытки некоторых авторов трактовать типы голосов как олицетворение мужского или женского начала: бас — это мужской тип, тенор — тип женоподобный, сопрано — олицетворение сверхженственности, контральто — промежуточный тип. Нелепость подобных утверждений очевидна.

7. *Классифицирование по кашлю.* Этот способ описан доктором Тарно (1957). Для определения типа голоса по этому методу певцу предлагают не петь, а кашлять и замеряют высоту звуков¹.

§ 59. Основные данные физиологии фонации

Некоторые исследования в области физиологии фонации, начатые во Франции в 1950 году, а в других странах — в 1954 году, были изложены нами в трех предшествующих главах. Опираясь на них, мы можем сделать следующие выводы.

1. Диапазон звуков, доступных певцу в каждом регистре, зависит только от возбудимости его возвратного нерва (двигательный нерв гортани), но совершенно независим от других вокальных характеристик (тембр, интенсивность и т. д.).

2. Мощность певческого голоса, измеренная в децибелах, зависит в первую очередь от подсвязочного давления, которое способен создать певец, и во вторую очередь от того, как он использует свои ротоглоточные полости, то есть от его вокальной техники. Подсвязочное давление в свою очередь зависит от многих факторов: гортанных, дыхательных, сердечных и эндокринных.

3. Тембр голоса певца, отображаемый спектрограммами, зависит в первую очередь от первоначального звукового спектра, создаваемого гортанью, и во вторую очередь — от характера использования ротоглоточных полостей, то есть от вокальной техники. Первоначальный спектр гортани, в свою очередь, зависит от раз-

мерсв голосовых связок, тонуса их смыкания и создаваемого подсвязочного давления.

В § 39 было показано, что тембр голоса определяется многими факторами, поэтому при классификации певческого голоса необходимо раздельно рассматривать следующие характеристики:

- а) звуковой диапазон;
- б) мощность, или сила голоса в дБ;
- в) тембр, или общая окраска голоса;
- г) блеск и полетность голоса;
- д) густота голоса;
- е) объем голоса.

Если принять во внимание, что сила голоса и характеристики тембра находятся в некоторой зависимости, то для классификации можно удовольствоваться двумя характеристиками: диапазон, с одной стороны, и тембр-мощность — с другой, но при этом следует помнить, что во многих случаях это может оказаться недостаточным, особенно в оперном пении.

§ 60. Физиологическая классификация певческого голоса в зависимости от диапазона

Мы уже видели, что певческий диапазон зависит исключительно от возбудимости возвратного нерва. Поэтому физиологическое определение типа голоса по диапазону сводится к измерению этой возбудимости.

1. *Практический способ измерения возбудимости возвратного нерва. Работа Х. Шенея.* Экспериментальная проблема измерения возбудимости возвратного нерва была разрешена в 1953 году доктором Христианом Шенеем в Лаборатории физиологии Сорбонны. Исследования, проведенные на многих певцах, позволили Шенею установить, что возбудимость возвратного нерва равна возбудимости спинномозгового нерва, иннервирующего грудино-ключично-сосковую мышцу, возбудимость которой легко измеряется приложением электродов к поверхности шеи.

Факт, что возбудимость возвратного нерва, который является ответвлением блуждающего нерва (вагуса, или нерва X), оказывается равной возбудимости спинномозгового нерва (ветвь нерва XI), не должен вызывать удивления, так как нервы X и XI физиологически тесно связаны между собой и представляют систему единого функционирования. В ходе эволюции позвоночных часть блуждающего нерва X приобрела самостоятельность, превратившись в так называемый «добавочный» нерв XI пары. У этого нерва имеются только двигательные волокна, которыми он снабжает грудино-ключично-сосковую и трапецевидную мышцы. Важные исследования в этом направлении были проведены в последние годы Е. Кромпотич.

Исходя из вышесказанного, мерой возбудимости возвратного нерва данного певца мы можем считать меру возбудимости правой или левой грудино-ключично-сосковой мышцы.

¹ Этот метод, видимо, предполагает без достаточной экспериментальной проверки, что высота кашля должна закономерно располагаться на определенном участке певческого диапазона и характеризовать оптимальные частоты ротоглоточных резонаторов.

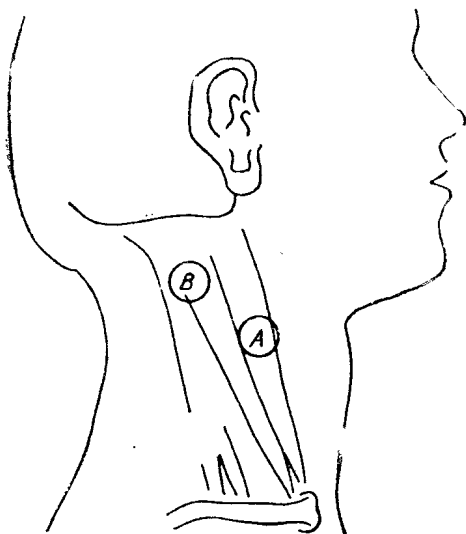


Рис. 57. А и В — «моторные точки» для определения реобазы на грудно-ключично-сосковой и грудно-затылочной мышцах

моторной точке мышцы. На рис. 57 показано положение моторных точек грудно-ключично-сосковой мышцы в двух областях А и В на ветвях грудно-сосковой и грудно-затылочной. Измерение возбудимости распадается на два этапа. На первом этапе определяют максимальное напряжение, при котором наблюдается пороговое сокращение мышцы при достаточно большой длительности импульса. Это напряжение называется реобазой. Затем напряжение реобазы удваивается, и экспериментатор при этом двойном напряжении определяет минимальную длительность импульса, вызывающую сокращение мышцы. Эта минимальная длительность импульса и называется хронаксией. Хронаксия измеряется обычно в миллисекундах (мсек) или тысячных долях секунды. Например, хронаксия тенора равна 0,07 мсек, а хронаксия баритона — 0,1 мсек. Это значит, что возвратный нерв тенора способен передавать более высокие частоты голосовым связкам, чем тот же нерв баритона. Отсюда следует: чем меньше значение хронаксии у певца, тем более высокие звуки доступны для его голоса.

Реобазу для контроля следует измерять в двух вышеуказанных точках А и В, при этом будут получаться различные значения для реобазы, но хронаксия будет иметь одно и то же значение. Измерения следует проводить, когда у певца отсутствуют следы вокаль-

Возбудимость определяется при помощи специальной электрофизиологической меры, так называемой хронаксии. В современной медицинской практике для измерения хронаксии нерва или мышцы используется специальная электронная аппаратура. Эти аппараты, называемые хронаксиметрами или электронными импульсными стимуляторами, позволяют определять длительность и напряжение очень короткого электрического импульса, вызывающего сокращение изучаемой мышцы или нерва. Процедура измерения возбудимости мышцы является сравнительно простой. Для этой цели положительный электрод хронаксиметра предлагают испытуемому зажать в руке, а отрицательный электрод прикладывают к

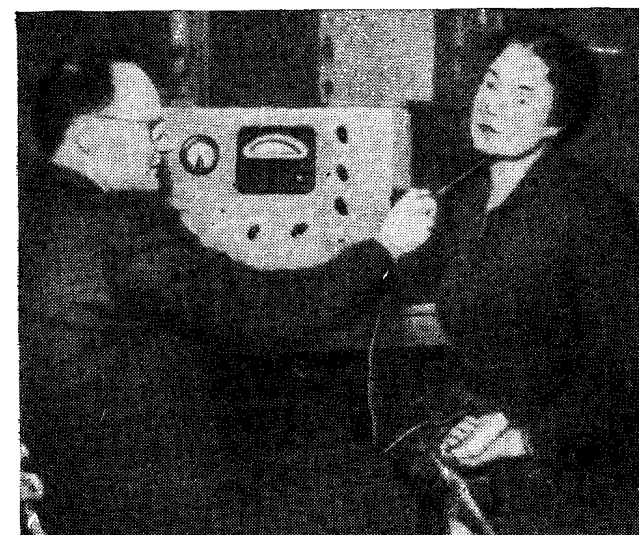
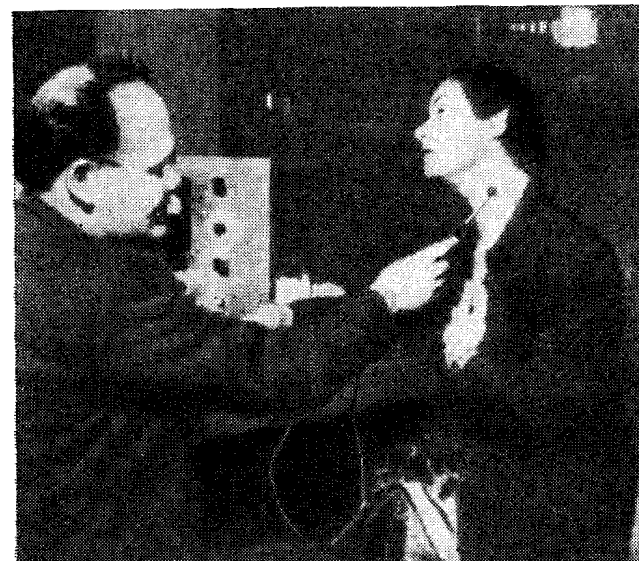


Рис. 58 и 59. Техника измерения хронаксии. Х. Шеней в лаборатории измеряет хронаксию оперной певицы Е. Бувье

ного утомления. В этих случаях ошибки измерений не превосходят 4%.

Равенство возбудимости возвратного нерва в грудино-ключично-сосковой мышце было установлено Х. Шенеем сначала на двух певцах с резко различными тесситурами (бас-профундо и высокий тенор), а затем на 11 певцах с хорошо установившимися тесситурами. Дальнейшие измерения 400 певцов подтвердили возможность хронаксиметрического классифицирования голосов. На рис. 58 и 59 показаны право- и левосторонние измерения хронаксии на оперной певице Е. Бувье.

2. *Непосредственные измерения возбудимости внутренних щито-черпаловидных мышц человека.* Непосредственные измерения хронаксии внутренних щито-черпаловидных мышц человека впервые были выполнены в Париже в 1957 году доктором Гардом и в Буэнос-Айресе профессором Квирсом. Эти опыты проводились под местной анестезией глотки и гортани при помощи специальных удлиненных электродов с притупленными окончаниями. Все певцы в нормальных и патологических случаях имели: а) очень маленькую реобазу; б) хронаксию, равную хронаксии, полученной на грудино-ключично-сосковой мышце и на стороне соответствующей связи.

3. *Диапазон голоса и его зависимость от возбудимости возвратного нерва.* Получив значение хронаксии грудино-ключично-сосковой мышцы, можно по простым формулам вычислить частоты: самого высокого звука, доступного для певца; самого низкого звука и оптимальную высоту для прикрытия открытых звуков.

Вычисления можно провести для каждого регистра, используемого певцом.

В первом регистре наиболее высокий звук, доступный певцу, может быть вычислен по значению хронаксии C , выраженной в миллисекундах. Частота определяется следующей формулой:

$$F_{(\max)} = \frac{1000}{20C}.$$

Звук наиболее низкий определяется формулой:

$$F_{(\min)} = \frac{1000}{120C}.$$

Частота «перехода» (passage), на которой певец должен начать прикрывать открытые звуки, определяется формулой:

$$F_{(\text{pas})} = \frac{1000}{32C}.$$

Добавим, что коэффициенты, стоящие в вышеприведенных формулах, 20, 120 и 32, получают достаточно простое физиологическое истолкование из кривой Эрлангера и Гассера (рис. 16). Из этой кривой видно, что после прохождения импульса нервные волокна в интервале OB , соответствующего 20 хронаксиям, практически остаются невозбудимыми; в интервале BC возбудимость возрас-

тает и становится нормальной в C , то есть при значении хронаксии 32; в интервале CD возбудимость оказывается повышенной и становится нормальной только в точке D , соответствующей значению 120.

Отсюда видно, что наиболее низкая нота получается тогда, когда два последовательных импульса возвратного нерва разделяются длительностью относительного рефрактерного периода OC плюс длительность периода повышенной возбудимости CD ; трудности выполнения перехода возникают в том случае, когда каждый импульс приходится на относительный рефрактерный период предшествующего импульса. Наиболее высокий звук достигается певцом при условии, что два последовательных импульса разделяются практическим рефрактерным периодом OB .

Во втором регистре или регистре бифазном мы знаем, что волокна возвратного нерва разделяются на две поочередно работающие группы. В результате этого частоты, данные предшествующими формулами, удвоятся и второй регистр будет определяться следующими формулами:

$$F_{(\max)} = \frac{2 \cdot 1000}{20C},$$

$$F_{(\text{pas})} = \frac{2 \cdot 1000}{32 \cdot C},$$

$$F_{(\min)} = \frac{2 \cdot 1000}{120C}.$$

Последние формулы соответствуют женским голосам, за исключением самых низких нот, которые женщины обычно исполняют в грудном регистре, а также детским голосам. В частности, для средних женских голосов позиция перехода или прикрытия открытых звуков располагается приблизительно на частоте:

$$F_{(\text{pas})} = \frac{2000}{32 \cdot 0,1} = 625,$$

то есть между es^2 и e^2 , как это и наблюдается у меццо-сопрано.

Наконец, для высших регистров, третьего и четвертого, верхние пределы определяются формулами:

$$F_{(\max)} = \frac{3 \cdot 1000}{20C},$$

$$F_{(\max)} = \frac{4 \cdot 1000}{20C}.$$

Отметим, что данные выше формулы для характеристик пределов каждого регистра были предметом тщательной проверки приблизительно на 400 певцах с установившимися диапазонами и ярко выраженным типом голоса. Хронаксии этих певцов были тщательно и помногу раз измерены. Испытуемые являлись либо оперными артистами, либо учениками Парижской консерватории.

Совокупность экспериментальных работ, проведенных в период 1953—1958 годов, позволила сделать вывод, что все частотные характеристики человеческого голоса, то есть верхний и нижний пределы певческого диапазона, а также переходы являются функцией единственного физиологического фактора — возбудимости возвратного нерва.

Это открытие, сделанное в Лаборатории общей физиологии Сорбонны, наметило решение старой проблемы классификации певческих голосов, историческое развитие которой было дано в начале этой главы.

§ 61. Физиологическая классификация певческих голосов. Общая таблица Юссона и Шенея (1954)

С помощью измерений, проведенных в 1953—1955 годах на многочисленных оперных певцах и учениках Парижской и провинциальных консерваторий, Р. Юссону и Х. Шенею удалось составить таблицу, позволяющую установить зависимость между диапазоном и хронаксией певца, измеренной на грудино-ключично-сосковой мышце.

ТАБЛИЦА КЛАССИФИКАЦИИ ПЕВЧЕСКИХ ГОЛОСОВ

Мужские голоса	Хронаксия в миллисекундах	Женские голоса
	0,055	Сверхвысокое сопрано
Сверхвысокий тенор	0,060	Сверхвысокое сопрано
Высокий тенор	0,065	Высокое сопрано
Центральный тенор	0,070	Высокое сопрано
Низкий тенор	0,075	Центральное сопрано
Промежуточный голос	0,080	Низкое сопрано
Промежуточный голос	0,085	Промежуточный голос
Высокий баритон	0,090	Высокое меццо-сопрано
Центральный баритон	0,095	Центральное меццо-сопрано
Низкий баритон	0,100	Низкое меццо-сопрано
Промежуточный голос	0,105	Промежуточный голос
Промежуточный голос	0,110	Высокое меццо-контральто
Бас-кантанте высокий	0,115	Меццо-контральто
Бас-кантанте низкий	0,120	Низкое меццо-контральто
Центральный бас	0,130	Промежуточный голос
Центральный бас	0,140	Промежуточный голос
Низкий бас	0,150	Контральто
Низкий бас	0,160	Контральто
	0,170	Контральто

В дополнение к таблице сделаем следующие замечания.

1. Для каждого пола имеется три или четыре типа голосов, но между двумя крайними значениями хронаксий 0,055 (редчайший случай) наиболее высоких голосов и хронаксий 0,170 (редкий

случай) наиболее низкого голоса располагается бесконечная градация значений. Наиболее часто встречаются хронаксии, лежащие в пределах между 0,80 и 0,140.

2. Предельные границы певческих диапазонов, которые можно вывести по формулам хронаксии, дают крайние значения, которые наблюдаются только у хорошо обученных певцов с установившимися голосами. Для голосов необученных цифры, приведенные в таблице, могут являться только прогнозом, что не уменьшает их практической ценности.

3. Вышеприведенная классификация относится только к звуко-высотным границам певческого диапазона, но отнюдь не предопределяет ни тембра, ни силы голоса певца. Это будет очевидно из дальнейшего.

§ 62. О «промежуточных голосах»

Мы только что видели, что для каждого пола, помимо общепринятых трех, четырех типов певческих голосов, существует бесконечное многообразие голосов, которые располагаются между крайними значениями хронаксий (0,055 для женщин и 0,065 для мужчин) самых высоких и самых низких голосов, соответствующих значению хронаксий 0,170.

Действительно, не существует «типа голоса» в строгом биологическом смысле: «типы голосов», принятые классической оперной музыкой, являются лишь своего рода опорными точками для классификации. В результате этого некоторые голоса оказываются промежуточными, если подходить к ним с общепринятой классификацией. Это обстоятельство и объясняет трудности, возникающие в вокальной педагогике при определении типа некоторых певческих голосов.

Эти промежуточные голоса располагаются в следующем порядке:

а) между низким и высоким баритоном, имеют хронаксию между 0,080 и 0,095;

б) между низким баритоном и высоким басом-кантанте, имеют хронаксию в пределах от 0,105 до 0,120;

в) между низким сопрано и высоким меццо-сопрано, имеют хронаксию от 0,080 до 0,090;

г) между низким меццо-сопрано и высоким меццо-контральто, имеют хронаксию от 0,100 до 0,110;

д) между низким меццо-контральто и контральто, имеют хронаксию от 0,120 до 0,150.

В процессе измерений, проведенных в январе 1953 года, были обнаружены все типы промежуточных голосов как среди оперных певцов, так и среди учеников консерваторий и частных школ. Но далеко не все типы промежуточных голосов могут иметь одинаковое значение в оперной практике.

Женские промежуточные голоса с хронаксиями, близкими к 0,135 (тип Риты Горр), без труда могут исполнять оперные партии низких меццо-сопрано типа Амнерис в «Аиде». Промежуточные голоса типа Симоны Кудрек с хронаксией, близкой к 0,105, легко исполняют почти все оперные партии меццо-сопрано. Это происходит отчасти от того, что все эти партии написаны с большим родством вокальных тесситур.

То же самое можно сказать и о мужских голосах с хронаксиями, близкими к 0,110—0,115: им доступны и партии из «Таис» и партии Эскамильо из «Кармен». Примером может служить Жорж Вайан. Но для таких голосов роль Риголетто оказывается слишком высокой, а роль Короля из «Лоэнгрина» — слишком низкой. Однако имеются голоса, для которых выбор репертуара становится затруднительным: это мужские голоса, промежуточные между баритоном и тенором, с хронаксиями, близкими к 0,085 и 0,090, и женские голоса, промежуточные между меццо-сопрано и сопрано, с хронаксиями, близкими к 0,085. К этой области, почти одинаковой и для мужских и женских голосов, как правило, принадлежат певцы, для которых затруднительно исполнение классического репертуара. Партии сопрано или теноров для этих голосов оказываются слишком высокими, а партии меццо-сопрано или баритонов — слишком низкими. Подобные голоса встречаются довольно часто. Они составляют ту массу учеников, которых одни педагоги классифицируют как теноров или сопрано, а другие как баритонов или меццо-сопрано. Эти певцы принуждены часто менять свой репертуар; получив в консерватории квалификацию тенора, в опере певец вследствие вокального утомления принужден переклассифицироваться на баритона, однако и это не спасает его от вокального утомления. Женские голоса подобного типа начинают обычно с партий низкого (драматического) сопрано, например Тоски, но после наступления вокального утомления или в периоды месячных переходят на партию Ортруды из «Лоэнгрина».

Подчеркиваем, что для голосов подобного типа с хронаксиями 0,085 и 0,090 возникающие трудности практически неразрешимы, так как традиции музыкальной композиции не предусмотрели для них никаких партий, соответствующих точно их тесситуре.

§ 63. О мужских и женских голосах с одинаковой хронаксией

Мужчина и женщина, имеющие одинаковую хронаксию, то есть одинаковую возбудимость возвратного нерва, обладают диапазонами, точно смещенными на октаву. Откуда происходит это различие? Ответ здесь достаточно прост: мужчина обычно использует свой монофазный регистр (грудной), тогда как женщины поют обычно в бифазном регистре (головном). Из предшествующих формул видно, что монофазный и бифазный регистры отличаются по высоте на одну октаву. Существенная разница между мужчина-

ми и женщинами состоит в том, что в нормальных физиологических условиях гортань первых реагирует более легко на стимуляции монофазные, тогда как женская гортань отвечает лучше на стимуляции бифазные. Утверждают, что эта разница возникает в результате действия специфических мужских (андроженных) гормонов. Э. Гард наблюдал двух женщин, подвергавшихся в течение длительного времени лечению мужским гормоном тестостероном. Можно было проследить, как их нормальный головной голос стал переходить в грудной регистр. Это смещение голоса на октаву носило чисто терапевтический характер, при этом значение хронаксии оставалось неизменным. Вместе с Ж. Амадо можно предполагать, что мужские гормоны способствуют некоторому разрастанию саркоплазмы среди мышечных волокон гортани, что приводит к захвату больших масс мышечных волокон при возбуждении их возвратным нервом, то есть они теряют способность разделяться на группы для поочередной работы в бифазном режиме. Конечно, мужчина может использовать свой бифазный режим, исполняя звуки фальцетом, и женщины могут петь в грудном регистре, но постоянное пение в несвойственном регистре утомительно. Вышесказанное приводит к настоятельной рекомендации мужчинам (даже самым высоким тенорам) никогда не использовать при пении фальцет, а женщинам, даже самым низким контральто, не использовать первый регистр.

§ 64. О факторах, изменяющих возбудимость возвратного нерва

Начиная с 1953 года мы изучали возможные изменения хронаксии под влиянием различных факторов. Были зарегистрированы следующие результаты.

1. Вместе с Ж. Амадо мы систематически измеряли хронаксию у лиц с ослаблением различных эндокринных функций и подвергнутых лечению соответствующими гормонами. Установлено:

а) андрогены не изменяют хронаксии возвратного нерва;
б) гормоны коры надпочечников не изменяют хронаксии возвратного нерва;

в) тироксин (гормон щитовидной железы) слегка уменьшает хронаксию. Опыты показывают, что под действием тирокина уменьшается длительность рефрактерной паузы. У всех женщин, обладавших исключительно высокими верхами, мы всегда обнаруживали конституцию с легкой гиперфункцией щитовидной железы.

2. Возраст не дает заметных изменений хронаксии. Бургийон установил, что все группы мышц приобретают постоянную хронаксию к четырехлетнему возрасту.

3. Период мутации — измерение хронаксии до и после мутации у одних и тех же лиц не позволило обнаружить какие-либо изменения.

4. Вокальная тренировка, интенсивная, но правильная — никаких изменений хронаксии не обнаружено.

5. Вокальное утомление чрезвычайно сильно воздействует на хронаксию. Наблюдается при утомлении всегда и одновременно:

- а) уменьшение реобазы;
- б) увеличение хронаксии.

Если это увеличение хронаксии незначительно, то под влиянием одного вокального отдыха она сравнительно быстро возвращается к своему прежнему значению.

Э. Гард показал, что когда наступает значительное утомление, то оно в первую очередь оказывает влияние на наиболее управляемую связку — правую у нормальных людей и левую у левшей. Равенство хронаксий обеих связок является критерием исчезновения вокального утомления.

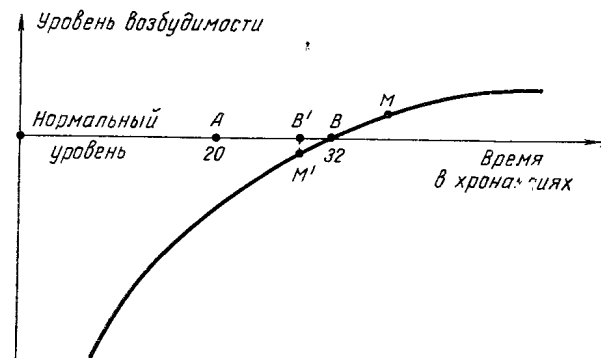
§ 65. Непрерывное повышение высоты стандартного камертона и физиологические последствия

Хорошо известно, что в течение двух веков камертон, используемый в оперных театрах, непрерывно повышается. Мы не будем рассматривать причины, вызвавшие это повышение. В XVI веке в Париже камертон a претерпел изменения с 410 до 425 кол/сек. Совер предложил принять за основу $a=405$ кол/сек, и этот камертон был принят при дворе Людовика XIV. Несколько позднее сам же Совер предложил принять за стандарт $c=256$ кол/сек, что соответствовало $a=426,8$ кол/сек (это так называемый физический строй).

В 1833 году Шейблер исследовал камертоны, применяющиеся в оперных театрах различных европейских столиц. В Париже он обнаружил в опере строй 434 кол/сек, а в консерватории — 440,5 кол/сек, в Берлине — 426,5. В Вене применялись камертоны от 434 до 445 кол/сек. Чтобы предотвратить это непрерывное повышение камертона, конгресс немецких физиков в Штутгарте предложил в 1934 году принять за стандарт для камертона 440 кол/сек. Тем не менее камертоны, используемые в практике, продолжали завышаться: в Париже к 1857 году он поднялся до 448 кол/сек, в то же самое время в Берлине камертон достиг 447,5 кол/сек; 445 кол/сек — в Неаполе; 451,5 — в Ла Скала (Милан) и 455 кол/сек — в Лондоне. 15 февраля 1859 года на основании доклада Лиссажу правительством был установлен для Франции камертон $a^1=435$ кол/сек. Однако даже во Франции этот стандарт не выдерживался, и камертон продолжал завышаться. В 1939 году Международная организация по стандартизации собралась в Лондоне и приняла как международный стандарт камертон $a^1=440$ кол/сек. Французские физики не были приглашены, и их мнение не было принято во внимание. Но и после этого камертон во Франции продолжает завышаться; так, в опере он достигает 442 кол/сек, а во французском радиовещании превосходит 446 кол/сек.

Повышение камертона вызывает у певцов определенные физиологические последствия.

Рис. 60. Влияние повышения стандартной частоты камертона на прикрытие звука. Повышение камертона приводит к тому, что частота прикрытия звука из точки M оказывается в точке M' , то есть в относительный рефрактерный период, где уже сказывается недостаток возбудимости



Во-первых, значительно повышается частотный предел верхних нот, встречаемых в партитурах. Так, верхнее теноровое c^2 при камертоне 426 кол/сек имело частоту 505 кол/сек, а в наши дни частота c^2 доходит до 531 кол/сек. Для верхнего c^3 сопрано повышение частоты произошло с 1010 до 1062 кол/сек. Таким образом, это повышение требует значительного увеличения нейромышечной нагрузки на связки певца и доходит до предела физиологических возможностей. Во-вторых, это повышение приводит к еще более тяжелым последствиям в связи с необходимостью выполнения певческих «переходов» на определенных частотах. Поясним это примером. Так, низкий тенор с хронаксией 0,080 нормально прикрывает открытые гласные, переходя от $e^1=326$ кол/сек к $f^1=345$ кол/сек при камертоне 435 кол/сек. Это значит, что на e^1 каждый рекуррентный импульс начинает захватывать часть относительного рефрактерного периода, созданного предшествующим импульсом (см. § 16, 17 и 18). Если же камертон достигает 446 кол/сек, певец, привыкший петь открыто e^1 , поет теперь открыто 335 кол/сек вместо 326 кол/сек, то есть заставляет ненормально работать свою нейромышечную систему. Каждый стимул, доходящий до голосовой щели (рис. 60), должен преодолеть некоторый недостаток возбудимости. Это достигается либо при помощи добавочных волевых усилий, либо тоническим действием, увеличивающим натяжение голосовых связок. В обоих случаях функционирование гортани находится в опасности (§ 18).

§ 66. Классификация голосов по мощности

Протяженность певческого диапазона не зависит от силы голоса певца и от его тембра. Поэтому все голоса данной тесситуры необходимо еще разделить на подклассы по мощности и тембру.

Мощность певческого голоса весьма просто измеряется при помощи калиброванного «интегратора интенсивности» или измери-

теля уровня звука, связанного с микрофоном, который всегда располагается на расстоянии 1 м от лица певца. При измерениях отмечается максимум достигнутой певцом интенсивности. Этот максимум изменяется в пределах от 40 дб (разговорная речь) до 130 дб (наиболее мощные оперные голоса).

В соответствии с достигнутыми максимумами певцов можно разделить на следующие категории:

Голоса большой оперы	120 дб и более
Голоса оперные	110—120 дб
Голоса музыкальной комедии	100—110 дб
Голоса оперетты	90—100 дб
Голоса камерные	80—90 дб
Голоса «микрофонные»	менее 80 дб

Мощность или интенсивность голоса, воспринимаемая слушателем, сильно изменяется в зависимости от расположения певца к слушателю (лицом или боком). Причиной этих изменений является большая «направленность» высоких обертонов певческого голоса, так, например, поворот лица на 20° по отношению к нулевому азимуту может уменьшить мощность на 3 или 4 дб. «Густые» голоса менее подвержены эффекту «направленности».

§ 67. Классификация певческих голосов в зависимости от акустических характеристик

Тембр голоса не зависит от диапазона певца. Следовательно, он может служить для классификации. Однако понятие «тембр голоса» является сложным — мы знаем, что в тембре нам приходится различать следующие качества: окраску, объем, густоту и блеск. В отношении окраски голоса можно классифицировать от «светлых» до «темных» (сомбрированных). Голоса «светлые» образуются при высоком положении гортани, и, наоборот, «темные» связаны с низким положением гортани. Вокальная техника, используемая певцом, в значительной степени отражается на окраске голоса.

В отношении объема голоса можно классифицировать от «маленьких» до «огромных». Здесь определяющим фактором является как подсвязочное давление, так и анатомическая структура гортани, но первостепенное значение имеет объем глоточной полости. Вокальная техника играет роль только в том случае, когда она может воздействовать на объем глоточной полости.

В отношении густоты мы можем разделить голоса на «жидкие» и «густые». В данном случае анатомические характеристики гортани имеют исключительное значение. Вокальная техника влияет постольку, поскольку она воздействует на конфигурацию ротогло-

точного рупора, который в свою очередь определяет поведение гортанного сфинктера.

В отношении блеска или носкости голоса делятся на «нетембристые» и «тембристые». Блеск и носкость голоса зависят исключительно от тонуса смыкания голосовых связок. Это физиологическое свойство является в основном конституционным, и лишь в некоторой степени его могут изменить школа и вокальная техника.

§ 68. Общая классификация амплуа в оперных театрах. Подбор исполнителей для данной оперы

В оперных театрах всех стран по крайней мере в течение столетия амплуа оперных певцов определяется исполняемыми партиями: первые, вторые, третьи партии и хористы. Это разделение в известной степени связано с мощностью голоса. Действительно, все оперные залы можно разделить на несколько категорий по их кубатуре:

1-й категории (Гранд-Опера)	30 000 м ³ или более
2-й категории (Опера-Комик)	от 16 000 до 30 000 м ³
3-й категории	от 10 000 до 16 000 м ³
4-й категории	от 7 000 до 16 000 м ³

В залах 1-й категории, таких, как Гранд-Опера, первые партии могут исполнять только те певцы, мощность голоса которых достигает 120 дб. Голосам, мощность которых достигает только 110—120 дб, дают в подобных залах только вторые партии, но они все же могут обеспечить первые партии в залах 2-й категории. Таким образом, амплуа в оперных театрах находится в зависимости от мощности голоса и кубатуры помещения.

При подборе исполнителей для данной оперы приходится учитывать различные факторы и обстоятельства:

а) амплуа исполнителей, их соответствие данной роли, их вокальную интенсивность (силу голоса) — в зависимости от размеров зала;

б) соответствие тесситуры партии с тесситурой исполнителя, соответствие характера роли с тембром исполнителя;

в) соответствие средств выразительности и актерского мастерства с данной ролью.

На практике обычно трудно удовлетворить все необходимые требования и приходится ограничивать выбор исполнителей в зависимости от состава труппы.

Это является причиной того, что одна и та же роль поручается различным исполнителям с неодинаковой силой голосов и тембрами.

Так, например, во Франции роль Виолетты обычно исполняется легкими сопрано, но иногда эту роль поют драматические сопрано

с очень сильными голосами; роль Надира из «Искателей жемчуга» исполняют легкие (лирические) тенора, но ее также исполнял Э. Карузо, обладавший могучим голосом.

Нередко одна и та же роль поручается исполнителям с различными типами голосов. Например, роль Атанаель из «Таис» исполняет и бас-кантанте и баритон. Но в данном случае роль написана таким образом, что она хорошо подходит к «промежуточному» голосу. Иногда роль Сантуцци из «Сельской чести» и Кармен поют меццо-сопрано и драматическое сопрано. Но выход из собственной тесситуры, если он происходит часто, достаточно опасен. Следует иметь в виду, что при постановках опер наиболее нежелательным является несоответствие партий с тесситурами исполнителей.

III ЧАСТЬ

Физиологический Анализ Управления Певческой Фонацией

УПРАВЛЕНИЕ ФОНАЦИЕЙ

§ 69. «Управление» как общее понятие

В этой небольшой главе мы покажем, что понятие «вокальная техника», употребляемое певцами, является лишь частным случаем более общего понятия — «управление фонацией», и это в свою очередь приводит нас к понятию «управление» вообще.

Человек способен осуществлять множество действий, связанных с движением. Каждое такое действие он может выполнить с помощью различных способов, которые в конечном итоге являются управлением. Наглядным примером может служить передвижение человека в пространстве. Оно осуществляется при помощи группы мышц нижних конечностей и туловища, требует координированной дыхательной активности и даже действий уравнивания при помощи верхних конечностей. Таким образом, передвижение человека в пространстве требует различных систем управления движением в зависимости от того, будет ли это ходьба или гимнастический шаг, изменение направления или прыжки; наконец, необычные системы управления применяются в танцах, попятном движении, ползании и т. д. Все эти приемы управления передвижением в равной мере «физиологичны», но все очень различны по своей эффективности, своему коэффициенту полезного действия.

§ 70. Классификация систем управления фонацией

Рассмотрим теперь не функцию перемещения, а функцию фонации. Она возникает в результате сложных нервных и двигательных процессов: движения мышц гортани, установок ротоглоточных полостей, особых дыхательных движений, не похожих на движения при свободном дыхании. Эта совокупность процессов, очень тонких и разнообразных, может комбинироваться в пространстве и во времени различным образом и порождать множество способов управления фонацией.

Все способы управления на основании различных физиологических критериев могут быть систематизированы. Не устанавливая формальной классификации, наметим следующие группы:

а) когда певец поет звук определенной высоты, то слуховые центры коры головного мозга формируют импульсы соответствующей частоты, идущие по возвратным нервам к связкам. Этот способ управления в пении мы назовем «кортикализированным», то есть находящимся под контролем коры головного мозга;

б) если же внимание не задерживается на высоте исполняемых звуков, то она не контролируется корой головного мозга и под

влиянием различного рода стимулов изменяется. Этот способ управления соответствует речевому голосу, и мы его назовем «некортикализированным»;

в) когда певец направляет свое слуховое внимание на осуществление данных тембров, для него необычных (различного рода подражания), тогда возникают способы управления подражательные, и работа коры головного мозга направлена на поиски нужного тембра;

г) если гортань человека повреждена, например, удалены голосовые связки или даже сама гортань, то возникают способы управления дополняющие или замещающие.

В этой книге мы ограничимся изучением лишь различных видов управления певческой фонацией, которые и будем называть вокальными техниками.

§ 71. Типы вокальной техники

Используя какой-либо тип вокальной техники, то есть один из видов управления певческой фонацией, певец каждое мгновение создает определенные звуки, высота которых строго фиксируется замыслом композитора. В основном у певца остается свобода в выборе тембра и силы своего голоса. Эта возможность двойного выбора позволяет певцу применять большое многообразие технических приемов, углубленному изучению которых мы посвятим дальнейшие страницы.

Мы рассмотрим все типы вокальной техники с точки зрения их эффективности и постараемся прежде всего изучить те максимальные требования, которые нам обычно предъявляет оперное пение.

Глава VI

ТРЕБОВАНИЯ К ОПЕРНОМУ ГОЛОСУ

§ 72. Четыре основных требования

Театральное искусство, требующее исполнения оперных произведений в помещениях с большой кубатурой (30 000 м³ и больше), ставит перед физиологией певческого голоса интересные и важные проблемы. Конечно, не существует двух фонационных физиологий — для камерного и оперного пения. Но практика оперного пения предъявляет столь большие требования к физиологии певца, что их необходимо рассмотреть особо.

Сначала перечислим главные требования, а затем, рассмотрев их последовательно, убедимся, в какой степени выбранный нами для примера певец удовлетворяет этим требованиям. Здесь мы отметим, что исследования, начатые нами в 1951 году на известной

певице Мадо Робен (колоратурное сопрано), в дальнейшем были расширены, и в них приняли участие многочисленные певцы Ассоциации национальных оперных театров и ряд видных ученых.

Главные требования, предъявляемые к оперным певцам, следующие:

- а) требование диапазона или частоты;
- б) требование силы звучания;
- в) требование тембра;
- г) требование неустойчивости.

Требование диапазона заключается в следующем: в речевом голосе мужчины редко использует частоту в 240 кол/сек (низкие голоса) и 280 кол/сек (высокие голоса). В певческом же голосе он пользуется часто верхним пределом своего регистра, а именно 400 кол/сек для басов и 550 кол/сек для теноров. У женщин разница еще значительнее: если речевой голос их укладывается в полосу частот (приблизительно) от 180 до 550 кол/сек, то в пении они достигают таких частот, как 2300 кол/сек (М. Робен). Ясно, что оперное пение предъявляет к нервам и мышцам гортани огромные требования.

Еще более поразительно и выполнение требований к силе голоса: звуковой уровень речевого голоса редко превышает 40 дБ, тогда как большие оперные голоса нередко создают интенсивность 130 дБ (на расстоянии 1 м от микрофона). В § 1 мы уже отметили, что изменение в пределах до 130 дБ соответствует физическому изменению силы звука в миллионы раз. Поэтому, рассматривая оперное пение, мы должны учитывать его большую интенсивность.

Требования к тембру являются более тонкими: голос прежде всего должен быть блестящим и полетным, что в первую очередь зависит от ТВЧ: он должен обладать густотой, чтобы сохранить свои звуковые качества, когда певец изменяет свое расположение по отношению к слушателям; наконец, голос должен обладать вибрато, лежащим в пределах определенных акустических характеристик.

Небольшое сравнение может дать представление о требовании неустойчивости. Например, в речевом голосе каждая гласная длится приблизительно 0,2 сек, и если она взята на высоте 150 кол/сек, то голосовые связки сомкнутся за это время лишь 30 раз, тогда как у тенора, который держит в «Фаусте» верхнее c^2 иногда до 10 сек, его связки за это время на большой частоте сократятся 5000 раз. Следует еще принять во внимание, что оперный певец должен не только долго, но также часто петь (ежедневные репетиции и выступления — от 5 до 30 в месяц).

§ 73. О диапазоне голоса

Оперное пение требует от каждого певца владения нормальным регистром голоса (первым регистром для мужчин и вторым для женщин) до его верхнего предела, к тому же с такой легкостью, которая позволяла бы использовать и силу звука без особого пере-

напряжения. Проведенные исследования показывают, что для этого необходим ряд благоприятных факторов, как-то: анатомических, нервно-двигательных и, наконец, эндокринных.

1. Человеческий голос может достигнуть вершины своего первого или второго регистра на любой (неназализованной) гласной лишь при условии, чтобы прикрытие звука происходило на его оптимальной высоте, меняющейся в зависимости от возбудимости возвратных нервов. Это прикрытие открытых звуков у певцов называется переходом и является обязательным вследствие своей первостепенной физиологической важности. Он был тщательно исследован нами в приведенных выше § 16, 20, и мы просим читателя снова их вспомнить.

Прикрытие открытых звуков должно совершаться на оптимальных высотах, определяемых физиологическими особенностями певца (§ 18), то есть согласно длительности относительного рефрактерного периода мускульных волокон голосовых связок каждого субъекта (32 хронаксии). Перемещение перехода на полтона вниз не имеет никакого значения. Перемещение же перехода на полтона вверх ставит под угрозу правильное нервно-мышечное функционирование означенных волокон внутреннего щито-черпаловидного мускула; по этой же причине поднятие оркестрового строя до 447 кол/сек оказалось столь пагубным для голосов, как мы это указывали в § 65.

Добавим следующее: предельная высота перехода, указанная в § 18, обозначена для гласной А и для гласной Е (открытое); иногда он совершается полутоном ниже на О (открытое) или EU (открытое), которые несколько более затемнены и не требуют повышения тонуса гортани. Переход всегда совершается полутоном ниже на гласных открытых назализованных и на звуках, взятых *riapo*, — по той же вышеупомянутой причине. И, наконец, когда у субъекта появляется определенно выраженное голосовое переутомление, то упадок возбудимости нервно-двигательной системы его гортани понизит нормальную кривую Эрлангера и Гассера его голосовых связок (рис. 61).

Точка В, обозначающая частоту прикрытия звука, переместится в В', указывающую на увеличение относительного рефрактерного периода и, следовательно, на неизбежное требование более низких частот для прикрытия звука.

Напомним, что для закрытых гласных прикрытие происходит фактически квинтой ниже и часто проходит незамеченным.

Использование этого приема на открытых гласных является всегда затруднительным, и редко у кого прикрытие получается само собой. По этой же причине речевой голос человека никогда не переступает этой критической высоты в первом регистре.

2. Если прикрытие звуков является неизбежным нервно-мышечным требованием при пении открытых гласных, то существует еще другое требование, которое не носит столь категорического характера, но дает певцу (мужчине и женщине) огромное облегчение в исполнении высоких частот (предельной терции) каждого регистра.

Уровень возбудимости

Нормальный
уровень

А

В

В'

Время
в хронаксиях

Рис. 61. Пунктирная кривая показывает понижение возбудимости вследствие вокального утомления. Певец вынужден совершать прикрытие звука не в точке В, а в точке В', соответствующей более низкой частоте

Требование это сводится к подаче на голосовые связки повышенного импеданса путем соответствующего приспособления ротоглоточных полостей. Этот физиологический механизм был проанализирован в § 41 и 42, к которым и отсылаем читателя. Это усиление импеданса особенно полезно в двух областях всякой восходящей гаммы:

а) прежде всего на открытых гласных, немного раньше области прикрытия звука. Выполнение перехода будет облегчено благодаря легкому повышению возбудимости голосовых связок, вызываемой действием их добавочного растяжения;

б) затем на всех гласных в предельной терции каждого регистра по тем физиологическим причинам, которые мы основательно проанализировали в § 42.

Из этих двух фактов следует вывод, что в пении с большой мощностью потребность охраны тончайших нервно-мышечных структур голосовых связок принуждает жертвовать тембром гласных для достижения требуемой высоты.

3. Мы видели (§ 44), что при образовании назализованных гласных импеданс бывает настолько велик, что он становится препятствием к нормальной нервно-мышечной функции гортани, по крайней мере в верхней части диапазона. Было также показано, что за пределами частот прикрытия звуков никакая назализация неосуществима, так как она вызывает торможение перстне-щитовидных мускулов, главных исполнителей этого перехода. Следовательно, в оперном пении назализация никак недопустима. Если назализованные гласные неизбежны, например, во французском и португальском языках, то они должны быть ограничены открытыми и назализованными гласными, притом с возможно облегченной назализацией. Кроме того, после перехода (300 или 600 кол/сек) всякая назализация должна исчезнуть и назализованная гласная заменяется закрытой акустически близкой гласной. Это объясняется физиологической причиной, которую мы считаем своим долгом здесь вновь напомнить: в недрах промежуточного мозга двигательные ядра, управляющие поднятием нёба, являются смеж-

ными с ядрами перстне-щитовидных мышц, сокращение которых вызывает прикрытие звука. Если певец собирается назализовать, то есть опустить нёбную занавеску, он должен затормозить ядра, управляющие мышцами, поднимающими нёбо. Это торможение может распространиться на соединение ядра и помешать сокращению перстне-щитовидных мышц; от этого певец потеряет целиком или частично верхнюю квинту.

4. Рассмотренные нервно-мышечные механизмы позволяют достигать без большого затруднения верхнего предела любого регистра, употребляемого певцами обоего пола. Но спрашивается, не существуют ли, помимо этих основных нервно-мышечных механизмов, другие, более тонкие физиологические факторы, способные принести профессиональным певцам дополнительное облегчение на верхнем участке диапазона, так часто встречающемся в оперных партиях?

В действительности существует еще по крайней мере один фактор, который удалось выявить благодаря последним исследованиям доктора Амадо эндокринных систем наиболее мощных голосов в оперных театрах Франции. Было установлено, что гиперфункция щитовидной железы создает певцу особую легкость на верхах и нередко способствует расширению тесситуры от одного до пяти полутонов.

Глубокая физиологическая причина этого явления заключается в том, что щитовидный гормон (именуемый порой психогенным) сокращает длительность рефрактерного периода нервов и мышц, ограничивающего верхний предел диапазона. Остается лишь выяснить, почему процент щитовидного гормона является более высоким (или более действенным) на уровне гортанной мускулатуры, чем в любой другой части нервной системы. На этот счет существует немало всяких гипотез. Можно, например, предположить существование сосудистых соединений между венозными системами щитовидной железы и артериальными системами гортани (Гёртлер), тесно переплетенных между собой, а также наличие прямых связей с лимфатическим трактом (Кромпотич) или же особую чувствительность гортанных тканей к щитовидному гормону (Сулерак).

5. Остается сказать несколько слов о третьем регистре, встречающемся у некоторых сопрано (Мадо Робен, Эрнэ Зак, Има Сулак, Жозе Дарля, Даниэль Врилле и т. д.) и позволяющем им издавать звуки от d^3 до a^3 , а также и о четвертом регистре Мадо Робен, идущем до d^4 .

Для достижения столь высоких звуков требуется прежде всего два анатомических условия: необычная ровность размера двигательных аксонов возвратного нерва, чтобы они могли обеспечить трехфазность и четырехфазность действующих при этом импульсов. Кроме этого, необходима достаточная толщина голосовых связок, чтобы способность к сокращению одной трети их волокон, как, например, при трехфазном режиме, была бы в состоянии обеспечить в каждом периоде открытие голосовой щели. Томограммы,

представленные в большом количестве доктором А. Джианом, показали, что голоса многих известных французских артистов, пользующихся третьим и четвертым регистрами, соответствуют этим требованиям.

Можно предположить, что существование особого эндокринного фактора (повышенная функция щитовидной железы и коры надпочечников) содействует работе голосового аппарата, но в то же время не следует забывать, что и снабжение ферментами голосовых связок облегчает их работу, создавая механизм, освобождающий их от холестерина.

§ 74. О точности певческой интонации

На первый взгляд кажется, что требование широты диапазона должно быть связано с требованием правильности интонации. В действительности, однако, дело обстоит иначе. Правильность интонации в пении зависит от качеств слуховой коры человека и от рецепторного передаточного аппарата, каким является ухо. Певец может обладать обширным диапазоном, однако неточно и фальшиво интонировать, что нередко и наблюдается в действительности. Диапазон его голоса зависит от нервно-мышечного аппарата, тогда как точность интонации связана главным образом с особенностями чувствительного отдела нервной системы. Но на этом, по видимому, излишне останавливаться.

§ 75. О силе голоса

Обладание голосом большой силы встречается значительно реже, чем большим диапазоном и определенными верхами. Это объясняется тем, что сила голоса требует сочетания многочисленных факторов, редко встречающихся у одного человека.

Во-первых, мы знаем, что сила звука (§ 26) определяется существенным фактором — подсвязочным давлением, непрерывно поддерживаемым певцом.

Во-вторых, сила звука находится в зависимости от степени поглощения ротоглоточным рупором звуковой энергии, создаваемой гортанью.

Рассмотрим теперь некоторые анатомические и физиологические факторы.

1. Для создания высокого подсвязочного давления гортанный сфинктер должен быть хорошо развит. Действительно, радиографические профили и фронтальные томограммы гортани, взятые у певцов с мощными голосами, указывают на то, что их голосовые связки всегда утолщены и смыкаются на большой глубине по вертикали (от 8 до 20 мм); отмечается также значительное развитие черпаловидных мышц, то есть мышц, обеспечивающих смыкание голосовой щели во время фонации.

Подобное анатомическое развитие гортани хотя и необходимо, но недостаточно. Замыкание гортанного сфинктера должно быть поддержано очень высоким мышечным тонусом. Сам же этот тонус управляется и поддерживается возбуждениями и рефлексам разного происхождения, захватывающими различные уровни центральной нервной системы. Многочисленные исследования, произведенные на певцах, показали, что главные афферентные сигналы, влияющие на тонус, возникают либо от соматической мускулатуры, либо от областей интероцептивных, иннервируемых тройничным нервом (чувствительность ротоглоточная и лицевого костяка), либо от действия чувствительных бульбарных ядер VIII нерва (слуховые стимуляции). Малейший недочет в одном из этих источников отражается на голосовых связках спадом тонуса их смыкания.

Помимо большого тонуса сила звука должна поддерживаться хорошо координированным выдохом с энергичным участием брюшной и тазовой мускулатуры. Во время фонации диафрагма должна равномерно подниматься кверху, поддерживая высокое подсвязочное давление, что было отмечено в работах Торис ван Борре (1927) и Г. Габермана (1957).

2. Необходимо отметить влияние высокого давления на деятельность сердца. Тот факт, что во время пения на сцене некоторые певцы с чрезвычайно мощными голосами развивают под связками давление в 400 см водяного столба и поддерживают его во время длительных звуков десятки секунд, заставляет предполагать, что подобная затрата энергии не может пройти без воздействия на общую физиологию певца. В первую очередь это сказывается на работе в сердце правого желудочка, на кровообращении и на питании мозга, на пульсе, на выделении окислительных продуктов в легких и на систолическом¹ давлении. Все эти явления находят отражение в электрокардиограмме.

Мы ограничимся тем, что остановимся на перегрузке правого желудочка. Обстоятельный анализ этого явления был дан в Турине в работах А. М. Джорджо (1957). В свободном нормальном дыхании правый желудочек должен поддерживать в легочных капиллярах давление, равное 4—13 см водяного столба. Во время фонации, которая создает нечто вроде задержки дыхания, давление в легочных альвеолах поднимается и становится внутри плевры положительным. Так как закон Паскаля не может быть применен к жидкости, находящейся в движении, и особенно по трубкам малого диаметра, внутриальвеолярное давление останется, конечно, ниже подсвязочного, но может тем не менее подняться настолько, чтобы блокировать кровообращение в легочных капиллярах и дать правому желудочку соответственную нагрузку для преодоления создавшегося опасного застоя. Работа правого желудочка будет тем самым сильно нарушена (рис. 62).

¹ Систола — сжатие сердца.

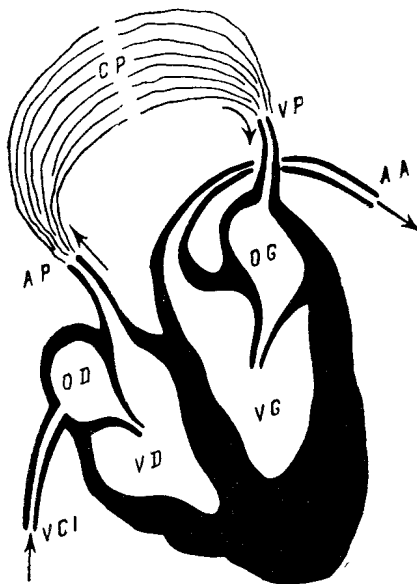


Рис. 62. Работа правых полостей сердца во время фонации. Сокращение правого желудочка *VD* прогналкивает венозную кровь в легочную артерию *AP*, которая проводит ее в легочные капилляры *CP*, в которых кровь должна преодолеть давление 4—13 см³ воды. Если давление в альвеолах очень высокое вследствие сильного подвязочного давления, то циркуляция крови в легочных капиллярах может быть нарушена. Это приводит к перегрузке правых полостей сердца. *OD* — правое ушко; *AA* — артерия аорты; *P* — легочная вена; *VG* и *OG* — левые желудочек и ушко

Таким образом, создание большого подвязочного давления непосредственно связано с сердечной деятельностью, что уже отмечалось в интересных работах А. Хустина. Нет ничего удивительного в том, что сердечная слабость правого желудочка подстерегает певцов с мощными голосами и может пагубно сказываться на их певческой карьере.

3. Мы показали, что сохранение во время пения высокого тона с смыкания голосовых связок требует интенсивного возбуждения формаций продолговатого мозга соответствующими афферентными сигналами. Но это лишь общее положение, и вряд ли оно является решающим для создания того высокого тона, который необходим при пении с большой мощностью. По-видимому, дело обстоит иначе. Так, во время эндокринных обследований, которые были проведены доктором Амадо на самых мощных голосах французской оперы, был подмечен один интересный факт: все мужские и женские голоса с интенсивностью выше 110 дБ принадлежат певцам, наделенным всегда повышенной функцией коры надпочечников, а нередко и половой сферы. Из этого следует, что наличие повышенного гортанного тона, сопутствующего большой силе голоса, обусловлено не только нервно-двигательными и анатомическими факторами, но и эндокринными.

4. В зависимости от своей формы ротоглоточный рупор поглощает большее или меньшее количество звуковой энергии. Для уменьшения поглощения энергии можно дать лишь общие рекомендации, применимые при фонации любой гласной:

а) плотное закрытие прохода за нёбной занавеской (исключения представляют назализованные фонемы);

б) резонансная настройка главных полостей рупора;
в) расширение перешейков рупора (неосуществимо по желанию певца, однако наблюдается на рентгенограммах у мощных голосов);

г) изменение формы губного отверстия;
д) приспособление положения гортани (для многих певцов — низкое положение гортани).

Эти рекомендации в большой мере являются условными, так как изменение формы рупора или губного отверстия сейчас же сказывается на таких важных факторах, как импеданс, и на качестве тембра гласной.

Легче всего контролю педагога и певца поддается форма губного отверстия, играющего очень большую роль в передаче звуковой энергии во внешнее пространство. Было бы ошибочно предполагать, что желательнее наибольшее раскрытие рта; подобное стремление привело бы к уменьшению импеданса и, следовательно, уменьшению отдачи акустической энергии. Поэтому правильное сказать, что губное отверстие (или раструб рупора) должно быть достаточно большим, но в сочетании с необходимым для каждой гласной и каждой частоты звука импедансом. Заметим, что растяжение рта в ширину недопустимо, так как сопровождается повышением гортани и сокращением объема глотки, тогда как раскрытие рта в высоту не ведет к таким последствиям¹.

§ 76. О тембре певческого голоса

Проблема тембра является наиболее сложной, так как одновременно приходится рассматривать следующие факторы:

- а) блеск и полетность голоса;
- б) густоту;
- в) объем;
- г) вибрато.

1. *Исследование блеска голоса.* Блеск (или яркость) тембра оперного голоса является тем основным качеством, отсутствие которого, при всех каких бы то ни было достоинствах голоса, делает сценическое пение почти невозможным, поскольку такой голос воспринимается слушателем как глухой и неполетный.

Мы знаем, что этот блеск создается присутствием в спектре каждой гласной гармоник от 2500 до 3500 кол/сек (рис. 63). Однако наличие достаточной интенсивности в этой области объясняется часто не усилением рупора, а качеством гортани и тоном смыкания голосовых связок (§ 39)².

¹ См. вступительную статью. Этот вопрос рассмотрен на основании уравнения И. Рокара.

² Последнее замечание Р. Юссона говорит в пользу гипотезы краевых тонов, объясняющей возникновение ВПФ в области частот 2500—3500 кол/сек. См. вступительную статью.

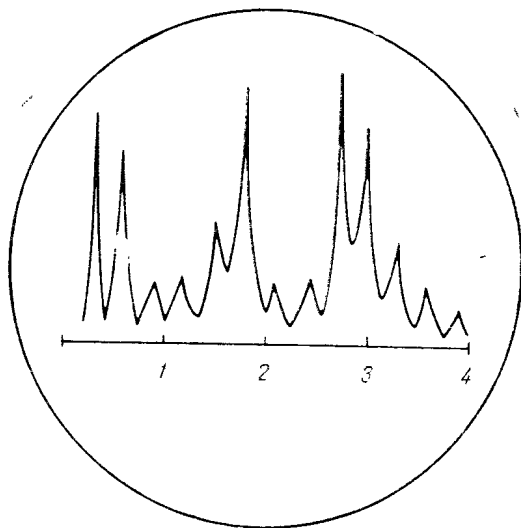


Рис. 63. Спектр гласной *i* на частоте 300 кол/сек. Интенсивность 90 дб. Исполняет М. Галия. Блеск и полетность голоса определяются пиками в области 2500—3500 кол/сек

2. *Густота голоса.* Это второе важное качество оперного голоса определяется интенсивностью и числом гармоник, лежащих ниже 2500 кол/сек и вне формант гласных, то есть почти не зависящих от артикуляции и резонансной настройки ротоглоточного рупора. Наши исследования показали, что в общем густота голоса усиливается с увеличением площади смыкания голосовых связок (в вертикальном направлении). Из чего следует, что большие гортани находятся в этом отношении в более выгодном положении.

Но вертикальная толщина голосовых связок отнюдь не зависит от внешнего объема гортани, наблюдаемого в ларингоскопе. Все певцы, имеющие высокие регистры, обладают, по-видимому, толстыми связками (§ 73, пункт 5), несмотря на гортань порою очень скромных размеров. Рентгенография, при условии большой точности и тщательности, позволяет дать верную оценку глубины смыкания голосовых связок. Нужно добавить, что глубина смыкания для каждого данного певца:

- а) более значительна на нижних нотах, чем на верхних;
- б) более значительна при закрытых гласных, чем при всех остальных;
- в) увеличивается для каждой данной гласной (любой) по мере затемнения тембра;
- г) увеличивается также для любого звука, когда форма рупора изменяется в направлении увеличения импеданса.

Хотя густота издаваемых певцом звуков зависит прежде всего от анатомических данных субъекта, однако вышеуказанные фак-

Выработка этого тонуса встречает два осложнения на своем пути:

а) в основном тонус поддерживается процессами, находящимися за пределами контроля певца;

б) высокий тонус может представлять опасность для гортани (§ 42).

Несмотря на эти обстоятельства, тонус в какой-то мере может быть поддержан волевыми действиями певца, а также небной активизацией (§ 50, 51), зависящей от его вокальной техники. Эти два источника тонической активизации представляют те элементы, на которые может опираться педагогический процесс.

торы представляют те физиологические элементы, которыми не следует пренебрегать при воспитании голоса.

3. *Исследование объемности голоса.* Объем голоса на любой гласной зависит от интенсивности основного тона. Последний сможет увеличить свою интенсивность в конечном спектре лишь тогда, когда в ротоглоточных полостях создаются условия для его усиления. Эти условия возникают в глотке для гласных *i, é, E* и *A* в полости рта — для гласных *O, EU, eu, u, o, ou* (§ 35).

Из этого можно заключить, что голоса с большим объемом принадлежат певцам, обладающим длинным, объемным рупором. Если педагогические приемы и не могут оказать влияния на увеличение объема ротоглоточных полостей, за исключением движения челюсти вперед и книзу, то с полостью глотки дело обстоит иначе: постепенное понижение гортани, доходящее до 7—8 см ниже положения покоя, может легко утроить объем глоточной полости (рис. 64).

К. Штумпф (1926) неоднократно отмечал присутствие интенсивного основного тона в медиуме некоторых женских голосов и в высоком медиуме у мужчин. Это подтверждается и нашими наблюдениями над певцами с большой объемностью голоса.

4. *Исследование вибрато.* Вибрато певческого голоса с точки зрения физики является модуляцией низкой частоты. Эта модуляция периодически изменяет певческий звук одновременно по высоте, интенсивности и тембру. Частота вибрато изменяется от 3 до 8 кол/сек. Средняя частота вибрато равна 6 или 6,5 кол/сек.

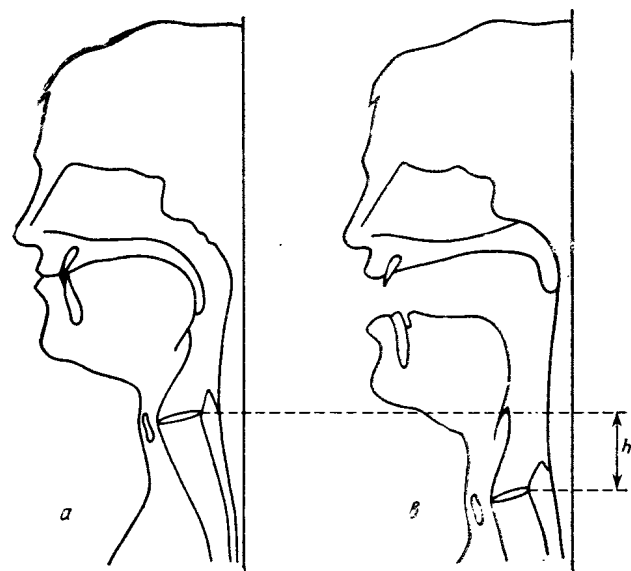


Рис. 64. Положение гортани: *a* — в покое; *b* — при пении. Понижение гортани достигает $h=7-8$ см

Если средняя частота вибрато певца понижается до 5 кол/сек, то вибрато воспринимается как качание голоса; если частота повышается до 7—8 кол/сек, то говорят, что в голосе «барашек»; если вибрато отсутствует, то голос кажется гладким или прямым.

Средняя частота вибрато зависит от возбудимости возвратного нерва певца: нормальное вибрато у теноров и сопрано достигает 6,5 кол/сек, а у басов и меццо-сопрано снижается до 5,5 кол/сек.

Нормальную частоту вибрато певца, в зависимости от его хронаксии C , можно определить по эмпирической формуле

$$F = \frac{5}{8C}.$$

Большая сила певческого звука имеет тенденцию слегка понижать частоту вибрато. Понижение частоты вызывается также вокальным переутомлением и уменьшением возбудимости гортанной мускулатуры.

Акустические проблемы вибрато были глубоко изучены Е. Рудавым в Акустической лаборатории Московской государственной консерватории. Недавний обмен мнений с этим ученым-акустиком побуждает нас привести некоторые экспериментальные данные:

а) нормальный размах вибрато высоты достигает приблизительно 100 центов (полутона). В процессе исполнительского творчества частота и размах вибрато отклоняются от своих средних нормальных значений. Так, например, размах вибрато в моменты крайнего эмоционального напряжения может достигать целого тона;

б) размах вибрато громкости или интенсивности редко превосходит 3—4 дб;

в) форма вибрато у каждого певца имеет свои индивидуальные особенности;

г) вибрато высоты и громкости могут не совпадать по фазе, то есть максимум высоты звука не совпадает с его максимумом громкости. Наблюдаются случаи полной противоположности фаз;

д) изменением вокальной техники и соответствующими тренировками можно исправлять частоту и размах вибрато и приводить их к средним нормам, характерным для всех хороших певцов;

е) детские голоса не имеют вибрато, но оно может появляться после некоторой вокальной тренировки¹.

Физиологическое происхождение вибрато высоты и громкости еще недостаточно ясно во всех деталях. Но можно сказать с определенностью, что оно связано с тоническими явлениями в гортанном сфинктере.

По Г. Бургиньону, все поперечнополосатые мышцы состоят из трех типов мышечных волокон с различными хронаксиями, кото-

¹ Эти данные еще в 30-е годы подтверждались во многих отечественных и зарубежных исследованиях. Наиболее полно проблема вибрато изучалась в СССР и США.

Характеристики вибрато могут служить некоторым критерием правильной вокальной техники, а также средством ранней диагностики профессиональных заболеваний певца.

рые соотносятся между собой приблизительно как числа 1:10:50. Следовательно, сравнительная быстрота их функционирования может быть охарактеризована числами 300, 30 и 6. В отношении человеческой гортани можно отметить замечательный факт: три последние цифры совершенно точно соответствуют максимальным частотам ритмических сокращений, которые могут поддерживаться тремя категориями мышечных волокон, входящих во внутренние щито-черпаловидные мышцы. Это сопоставление позволяет сделать вывод, что вибрато является не чем иным, как нормальной тонической частотой, возникающей в результате активности наиболее медленно движущихся групп гортанной мускулатуры. Можно отметить, что вибрато высоты увеличивает свой размах, когда пение происходит на «опоре». Ощущение опоры звука сопровождается повышением тонуса гортани.

Что касается природы вибрато, то оно может быть следующим:

а) вибрато громкости является непосредственным результатом модуляции тонуса смыкания голосовых связок (§ 26);

б) вибрато высоты возникает в результате действия химических посредников на уровне двигательных бляшек быстрых мышечных волокон, управляющих частотой звука. Активность химических посредников увеличивает или уменьшает скрытое время возникновения мышечных сокращений, что в свою очередь слегка меняет сокращения, вызванные импульсами возвратного нерва. Это объяснение согласуется и с тем фактом, что вибрато высоты становится более заметным вблизи перехода к прикрытым звукам, и с тем, что увеличение импеданса на уровне гортани слегка уменьшает вибрато.

Из наших высказываний легко понять, что исследование вибрато остается делом весьма тонким и трудным, тем более что управление вибрато, возможно, осуществляется при комбинированном взаимодействии «опоры дыхания» и импеданса, который в свою очередь регулируется изменением окраски гласных.

§ 77. Требование неустойчивости

Утомление, возникающее в результате интенсивного и длительного пения, может быть двух видов: утомление центральной нервной системы и мышечное утомление гортани.

Утомляемость клеток центральной нервной системы зависит в первую очередь от их питания (кислородного и особенно глюкозного) и особенно от обмена с внешними тканями электролитическими ионами. Клетки выделяют ионы калия и поглощают ионы натрия, кроме того, клетки не должны чрезмерно насыщаться ионами кальция. Этот обмен тесно связан с количеством различных гормонов, находящихся в крови (гормоны коры надпочечников, щитовидной железы и многих других). В общем утомление мало связано с мышечными процессами, но поддается фармакологическому лечению.

Мышечное утомление также зависит от многих аналогичных факторов. Новейшие исследования выявили особую стойкость тканей голосовых связок к кислородному голоданию. Раньше это свойство приписывалось лишь сердечной мышце и грудным мускулам некоторых птиц.

Мышечное периферическое утомление, происходящее от быстрой ритмических сокращений волокон голосовых связок, зависит в некоторой степени и от вокальной техники певца.

По этому поводу можно сделать следующие замечания:

а) утомление увеличивается с повышением звуковых частот, и рост его становится опасным в случаях злоупотребления высокой тесситурой, не соответствующей типу голоса (чаще у женщин, чем у мужчин);

б) утомление быстро возрастает, если промежуток времени между двумя последовательными импульсами возвратного нерва приближается к относительному рефрактерному периоду. Замечено, что оно будет очень большим несколько раньше частот прикрытия звука и что оно становится огромным, если певец хотя бы немного «откроет свой переход» (§ 18);

в) поскольку использование определенного регистра способствует стабилизации способа расслоения соответствующих гортанных волокон, то из этого следует, что женщина должна избегать применения первого регистра (даже для низких нот у контральто) (см. § 63). И так же точно применение фальцета для крайних верхов, нередкое у некоторых лирических теноров, может иметь нежелательные последствия; переходя затем на тех же нотах в первый регистр, певец может получить неожиданный ответ фальцетом (так называемый «петух»);

г) не следует забывать о полезной защитной роли импеданса. Он значительно облегчает нервно-мышечную работу гортани, и его вмешательство кажется особенно ценным перед прикрытием звука и на верхнем пределе регистров.

§ 78. Что считается потерей голоса в оперном пении

Редко кто, даже среди лечащих певцов врачей-фониатров, отдает себе ясный отчет в том, что означает для оперного певца «потеря голоса». Имеется в виду не потеря голоса в прямом смысле этого слова, иными словами эвфония, а потеря интенсивности голоса и частично утрата тембра (не тембра гласных, но блеска голоса).

Если певец обладает максимальной интенсивностью в 120 дБ, он может исполнять первые партии в Гранд-Опера; если эта максимальная интенсивность упадет до 110 дБ, то он сможет еще петь те же партии, но в помещениях с меньшей кубатурой или же выполнять вторые роли в Гранд-Опера. Таково будет положение певца, теряющего голос.

Ссылаясь на то, что мы говорили выше о физиологических факторах интенсивности голоса, заметим, что этот упадок интенсивности может быть следствием причин, абсолютно не связанных с гортанью (как это часто бывает). Можно отметить следующие причины:

а) более или менее легкое переутомление в сердце правого желудочка;

б) ослабление брюшного пресса;

в) истощение коры надпочечников.

Подобные расстройства пройдут незамеченными, если медицинское обследование будет исключительно ларингологическим.

Ослабление возбуждения гортанного сфинктера может быть обнаружено хронаксиметрией, которая отметит маленькую реобазу и более или менее увеличенную хронаксию задолго до появления объективных ларингологических признаков.

§ 79. О роли вокального воспитания

Крайне важно установить для педагога и для самого певца, какие качества голоса оперного артиста можно развить в процессе обучения.

Очевидно, такова была цель членов Национальной ассоциации преподавателей пения (NATS) в США, когда ежегодный конгресс 1955 года поставил следующий вопрос: «Какой соответствующей тренировкой можно развить силу голоса?»

Экспериментальные данные, заключенные в § 72—77, могут в значительной мере ответить на этот важный и интересный вопрос. Они в действительности выявляют, что каждому из предъявленных требований (диапазона, силы, тембра и неустойчивости) отвечают три фактора:

а) нервно-двигательный;

б) анатомический;

в) эндокринный.

Нервно-двигательный фактор поддается воздействию воспитания и тренировки.

Анатомический фактор может также быть улучшен, но, разумеется, в определенных пределах.

Что же касается эндокринного фактора, то он представляет собой индивидуальные конституционные данные, которые, передаваясь по наследству, по-видимому, не подлежат воспитательному воздействию.

Если эти общие выводы устанавливают должный предел необоснованным мечтаниям некоторых педагогов, то остается тем не менее несомненным, что нервно-мышечная тренировка, проведенная с упорством, обладает огромной эффективностью, которую мы в дальнейшем изложении попытаемся несколько уточнить.

КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОКАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

§ 80. Определение вокальной техники

Вокальная техника — это способ использования голосовых органов на основе чувствительно-двигательного автоматизма, выработанного воспитанием и создающего определенную певческую эффективность в отношении диапазона, интенсивности, тембра и неутомляемости голоса.

Количество типов вокальной техники, как это мы видели выше (§ 71), очень велико.

Нам предстоит, следовательно:

- а) охарактеризовать их с точки зрения физиологии;
- б) найти критерий для их классификации;
- в) классифицировать их по типам, чтобы облегчить их описание и изучение.

§ 81. Физиологические элементы вокальной техники

В физиологическом анализе вокальной техники мы рассмотрим последовательно следующие элементы:

- а) нервно-мышечные признаки (гортанный тонус, ротоглоточные установки: положение нёбной занавески, рта и губ, поведение гортани, изменения формы ротоглоточного рупора и т. п.);
- б) акустические признаки (вокальный тембр, тембр гласных, общая окраска звука, блеск, густота и их изменения в связи с частотой и интенсивностью);
- в) действие защитных механизмов;
- г) признаки чувствительные и чувствительно-двигательные;
- д) наконец, необходимо будет указать на особенности вокально-телесных схем, характерных для данной техники.

§ 82. Выбор критерия для классификации

Для классификации типов вокальной техники следует выбрать критерий, позволяющий установить существенные черты каждого типа. Некоторые характеристики вокальной техники использовались в прошлом, как-то:

- а) положение гортани (высокая гортань, низкая гортань);
- б) форма открытия рта (в длину или в ширину);
- в) основная окраска голоса (светлая или темная);

г) локализация внутренних ощущений (в носоглотке, в маске, в глазах и т. д.).

Но эти критерии слишком узкие и не в состоянии обобщить все характерные особенности данной техники. В процессе экспериментальных исследований, проводимых нами с 1951 года, удалось наметить один существенный критерий. Этим критерием оказалась величина импеданса, создаваемого ротоглоточным рупором на уровне гортани.

Мы действительно увидели:

а) что величина импеданса зависит от всех основных ротоглоточных установок, как-то: уровень гортани, положение языка, поведение нёбной занавески, формы раскрытия рта, тембр, интенсивность — и даже в какой-то мере от внешних условий распространения звуковых волн в данном помещении (акустика помещения);

б) импеданс определяет тонус смыкания голосовых связок и первоначальный гортанный спектр, дыхательные приспособления, а вместе с ними реализацию подсвязочного давления и звуковое давление в ротоглоточном рупоре; следовательно, изменение амплитуды гармоник, определяющих основные качества тембра, внутренние ощущения ротоглоточных полостей, которые создают рефлекс, позволяющие певцу управлять своим голосовым аппаратом и настройкой этих полостей.

§ 83. Основные типы вокальной техники как функции импеданса

Сначала мы рассмотрели два противоположных типа вокальной техники — с сильным и слабым импедансом.

Следует указать сразу, что оба эти типа представляют собой лишь крайние формы различных типов вокальной техники. Мы не сочли нужным выделить особо промежуточный тип, так как опыт показывает, что во время пения импеданса все время меняется в соответствии с задачами художественной выразительности. Это, однако, не уводит певца от той техники, которую он получил в процессе своего обучения. Физиологический анализ двух крайних типов является, следовательно, необходимостью.

Мы опишем, кроме того, еще третий тип вокальной техники, с постоянной или почти постоянной назализацией. Последний характеризуется огромным импедансом, не сравнимым с сильным импедансом предыдущих типов. Хотя мы здесь вторгаемся в вокальную технику явно патологического характера, не подлежащую нашему изучению, однако применение этих типов вокальной техники настолько распространено, что они требуют разъяснения. К тому же существование назализованных гласных, употребляемых в некоторых языках (во французском и португальском, например), может способствовать возникновению назализации.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВОКАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ СО СЛАБЫМ ИМПЕДАНСОМ

§ 84. Главные нервно-двигательные признаки

Все описываемые ниже признаки относятся к гласной *Е* (открытой), взятой драматическим тенором в первом регистре на d^1 , то есть немного раньше прикрытия звука. Можно допустить, что они почти сходны с признаками, наблюдаемыми у баритона на cis^1 и у баса на C^1 , и соответственно октавой выше у женских голосов.

1. *Гортань*. Тонус гортани повышен.

В ларингостробоскопе показано изображение сильно сжатой гортани. Надгортанник стремится к наклону вниз (см. рис. 65, а); амплитуда колебаний связок ниже нормальной. По томографии связки утончены, поверхность смыкания невелика, но само смыкание очень плотное (рис. 66, а).

2. *Подсвязочное давление и приспособление дыхания*. Подсвязочное давление более слабое, чем в случаях сильного импеданса. Расход воздуха соответственно уменьшен. Дыхательные движения соответственно изменены: вдох менее глубок; брюшной пресс менее активен и менее четко ощущается.

3. *Положение глоточного участка ротоглоточного рупора*. Очень высокая гортань, почти на уровне состояния покоя, порою еще выше (рис. 67, 1).

Так как подъем гортани является следствием зажима глотки, то полость ее сильно сокращена в своих размерах. Заметен отход задней части массы языка и одновременный его подъем. Подъем и отход подъязычной кости (рис. 67, 2).

4. *Положение нёбной занавески*. Нёбная занавеска приподнята и сильно прижата к задней стенке носоглотки (рис. 67, 1).

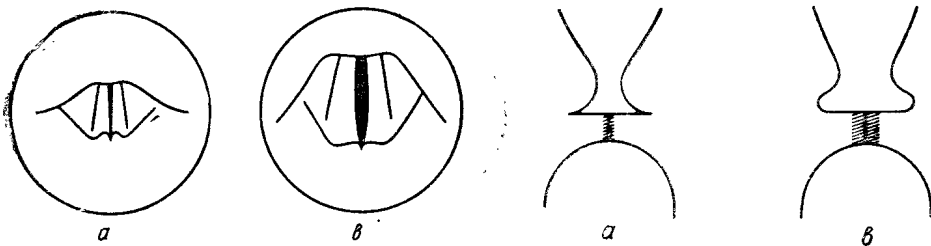


Рис. 65. Ларингостробоскопическая картина голосовых связок при пении низким тенором *Е* открытого на высоте d^1 : а — сильный импеданс; б — слабый импеданс

Рис. 66. Томографический вид голосовых связок, соответствующий рис. 65

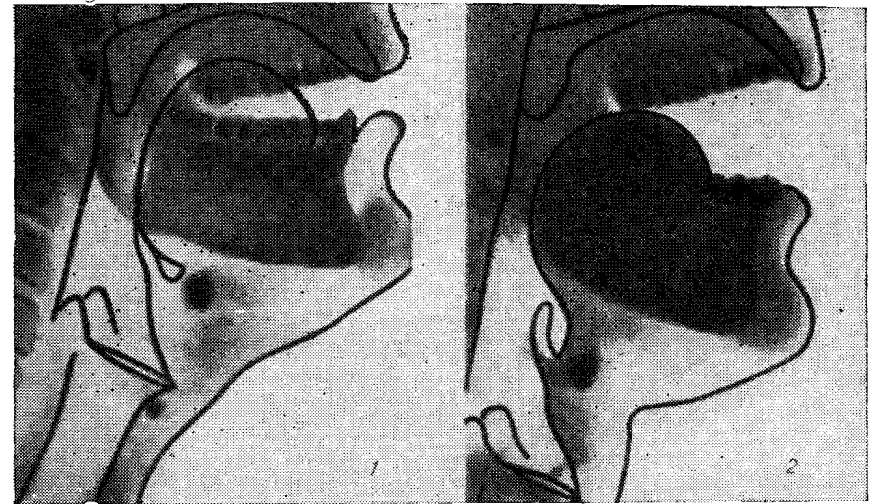


Рис. 67. Сравнительные формы ротоглоточных рупоров при вокальной технике с очень слабым и очень сильным импедансом. Певец Ж. Вайан — первый баскантанте Гранд-Опера. В обоих случаях фонирована *Е* открытое с интенсивностью 120 дБ на высоте d^1 . 1 — соответствует слабому импедансу (звук открытый и белый); 2 — соответствует сильному импедансу, заметно сужение выхода из глоточной полости (звук по-прежнему открытый, но сильно сомбрированный)

5. *Положение ротового участка ротоглоточного рупора*. Нижняя челюсть мало или совсем не опущена, порою отодвинута назад. Рот открыт в ширину, вертикальное открытие рта очень небольшое. Губы более или менее прижаты к зубам. Полость рта очень уменьшена по всем направлениям. Мускулы щек, жевательные мускулы, мускулы шиловидного отростка и мускульные пучки, поднимающие гортань, напряжены.

§ 85. Главные акустические признаки

Глоточная форманта повышена против нормы. Ротовая форманта выше нормы. Исходя из этих двух факторов, тембр каждой гласной очень светлый, что характерно для обоих спектров (рис. 68).

Верхняя форманта хорошо выражена. Отметим:

- а) максимальное сокращение объема голоса;
- б) сильный спад густоты голоса;
- в) блеск голоса по контрасту кажется усиленным.

Предельная сила звуков более низкая, чем при любой другой технике, так как импеданс на уровне гортани слишком слаб, чтобы допустить должное повышение подсвязочного давления.

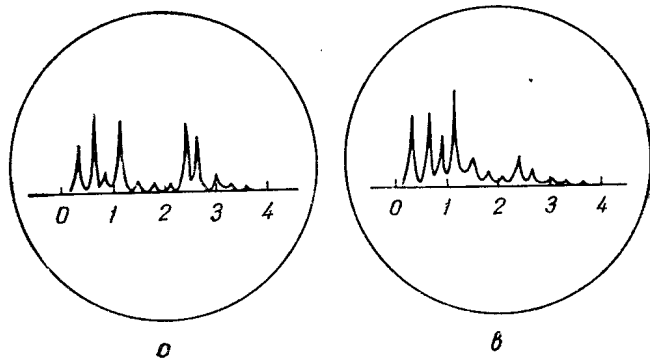


Рис. 68. Спектр гласной $\bar{E}$ открытого. Поет низкий тенор на высоте d^1 . a — слабый импеданс; b — очень сильный

Голос светлый и тонкий, имеет сильную направленность, другими словами, быстро теряет свою кажущуюся интенсивность с изменением фронтальной плоскости певца.

§ 86. Включение главных защитных механизмов гортани

Импеданс при технике этого типа всегда очень слаб и не создает большую мощность звука, особенно на верхах. На уровне перехода при восходящей гамме прикрытие открытых звуков запаздывает, иными словами, оно осуществляется двумя-четырьмя полутонами выше. В таких случаях обычно говорят, что певец стремится «открыть свой переход». После прикрытия звука гортань сохраняет свой ларингостробоскопический вид зажатости (рис. 69), однако звук по-прежнему остается бедным.

§ 87. Проявления чувствительности

В передней части нёба ощущения слабые или вовсе отсутствуют, но иногда появляются, уже ближе к мягкому нёбу. Носовые и лицевые вибрационные ощущения очень яркие. После прикрытия звука они перемещаются к вертикали.

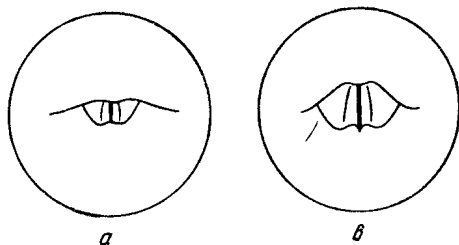
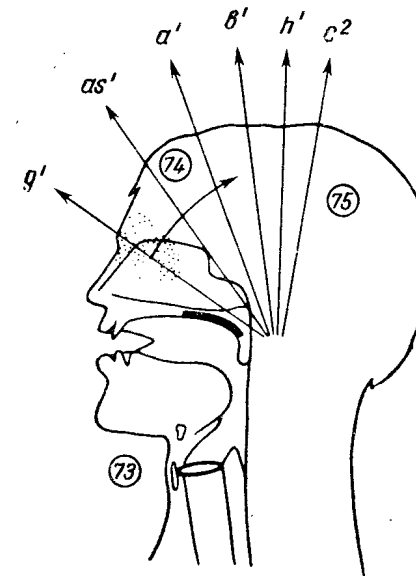


Рис. 69. Прикрытие звука при слабом импедансе. a — на g^1 открытое $\bar{E}$; b — прикрытие выполнено на as^1 ($\bar{e}$ закрытое)

Рис. 70. Схема перемещения внутренних ощущений при технике с очень слабым импедансом



Ощущение опоры на гортань хорошо локализуется, выявляет свою интенсивность и быстро принимает болевой характер (ощущения сжатия, жжения, покалывания иглой), если певец стремится к чрезмерной силе звука (рис. 70).

Ощущение опоры в брюшном прессе — слабое. С нижнего до верхнего регистров быстрый отвод субъективной направленности звука к темени (рис. 70).

§ 88. Вокально-телесная схема

Вокально-телесная схема выражена неярко, за исключением верхов; характеризуется следующими признаками:

- очень мало ощущений в области брюшного пресса;
- никаких ощущений в области грудной клетки;
- сильные ощущения в области гортани;
- никаких ощущений в глотке;
- легкое ощущение в заднем участке ротовой полости;
- никаких или почти никаких ощущений в передней части рта;
- сильное ощущение вертикальной направленности на верхних звуках (рис. 70).

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТИПОВ ВОКАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С СИЛЬНЫМ ИМПЕДАНСОМ

§ 89. Главные нервно-двигательные признаки

Все описываемые ниже признаки относятся к гласной *Е* (открытой), взятой *forte* драматическим тенором на *d*¹, то есть немного раньше прикрытия звуков. Можно допустить, что они почти идентичны со звуками, наблюдаемыми у баритона на *cis*¹ и у баса на *c*¹ и также соответственно октавой выше у женских голосов.

1. *Гортань*. Гортанный тонус кажется заниженным и мало соответствует силе звукообразования. В ларингостробоскопе видны умеренно сжатая гортань и надгортанник без стремления к понижению (рис. 65, б); амплитуда колебания в норме или же слегка увеличена (порядка 1,0—1,5 мм с каждой стороны максимального удлинения). По томографии связки утолщены, смыкаются на большой глубине по вертикали без излишнего напряжения (рис. 66, б).

2. *Подсвязочное давление и дыхание*. Подсвязочное давление много выше, чем в случае слабого импеданса. Расход воздуха соответственно увеличен. Дыхательные движения соответственно изменены: вдох более глубокий; деятельность брюшного пресса сильно увеличена, ясно ощутима и захватывает мышцы таза.

3. *Положение глоточной части ротоглоточного рупора*. Гортань сильно опущена, много ниже, чем в состоянии покоя (рис. 67, 2), разница в уровне достигает у некоторых певцов 7—8 см.

Глоточная полость расширена также в своем диаметре спереди — назад благодаря смещению вперед гортани и массы языка. В то же время наблюдается опущение массы языка и подъязычной кости (рис. 67, 2).

4. *Положение нёбной занавески*. Нёбная занавеска всегда приподнята, но не столь сильно прижата к задней стенке глотки. Замечается порой ее легкий отход на открытых гласных в медиуме, но без заметной назализации. Тотчас после прикрытия звуков прижатие занавески усиливается.

5. *Форма рта*. Нижняя челюсть опущена, порою несколько выдвинута вперед. Рот открыт по вертикали. Губы отходят от зубов и часто выдвинуты вперед.

Ротовая полость увеличена во всех направлениях благодаря опущению массы языка.

Все мышцы: щек, жевательные, шиловидного отростка, поднимающие гортань — расслаблены.

§ 90. Главные акустические признаки

Глоточная форманта сильно понижена, так же, как и ротовая форманта. Обе они настолько низки, насколько это позволяет окраска гласных. Из этих двух факторов следует, что тембр каждой

гласной (открытой или закрытой) получается сомбрированным, что характерно для данных спектров (рис. 68, б).

На *i* и *é* глотка усиливает зачастую непосредственно основной тон; на *eu*, *u*, *o*, *oi* полость рта тоже нередко усиливает основной тон; у мужчин это наблюдается вплоть до переходных нот. На открытых гласных *E*, *A*, *O*, *EU* ротовая полость настраивается иногда на третью гармонику, что придает певческим звукам поразительную интенсивность и объем (так называемый «нёбный голос»). Для тембра характерно следующее:

- а) объем голоса — предельный;
- б) густота голоса — предельная;
- в) блеск голоса по контрасту смягчен.

Певец в соответствии со своими анатомическими и эндокринными данными развивает предельную мощность голоса. Это оказывается возможным потому, что встречный барьер импеданса благоприятствует максимальному поднятию подсвязочного давления. Сомбрированный густой тембр уменьшает направленность звука и сохраняет качество голоса при изменении положения певца.

§ 91. Включение главных защитных механизмов гортани

Импеданс является одним из главных защитных механизмов гортани (§ 42). Его большая величина для данного типа вокальной техники позволяет певцам развивать значительную силу звука, особенно на верхах (рис. 71).

На уровне перехода, взятого при восходящей гамме на открытой гласной, импеданс смягчает тонус гортанного сфинктера, что понуждает певца прибегнуть к прикрытию звуков несколько раньше. Переход, следовательно, бывает ускорен на один-два полутона против нормы.

Когда прикрытие звука осуществляется при подобных условиях, то ларингостробоскопическая картина указывает на отсутствие изменения напряжения в гортани (рис. 71), хотя взятый звук сохраняет свою характерную густоту.

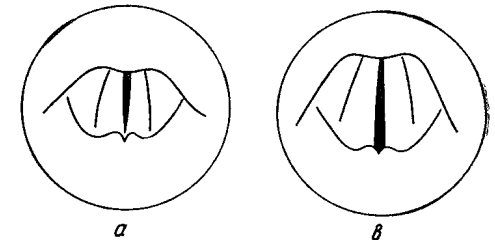


Рис. 71. Прикрытие звука при вокальной технике с очень сильным импедансом. а — открытое *es*¹, гласная *E* открытая; б — прикрытое *e*¹, гласная *é* закрытая

§ 92. Проявления чувствительности

Нёбные ощущения выражены предельно ярко в передней части рта. Когда певец поет восходящую гамму на открытой гласной, его нёбные ощущения распространяются в глубь ротовой полости, однако удерживая всегда некий максимум чувствительности в переднем участке нёба (точка *М* по Морану). После перехода на прикрытые звуки ощущения могут охватить частично или целиком верхнюю часть глотки (рис. 72).

При закрытых гласных внутренние ощущения охватывают преимущественно все губное пространство (рис. 73). Вибрационные ощущения носо-лицевые слабые, несколько более яркие на верхах, но никогда не направлены к темени, в гортани эти ощущения отсутствуют.

Рис. 72. Расширение нёбной чувствительности по мере приближения перехода на прикрытое звучание. *a*—*d*¹ (открытое звучание); *b*—*e*¹ (еще открытое); *c*—*g*¹ (прикрытое). *М* — точка максимальной интенсивности ощущений (точка Морана)

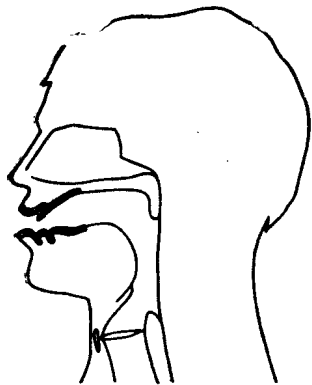
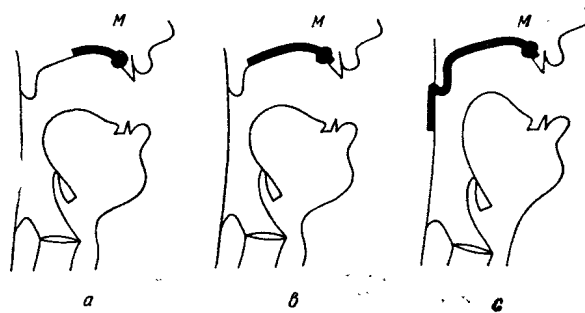


Рис. 73. Локализация чувствительности во рту и на губах на закрытых гласных при вокальной технике с очень сильным импедансом

В этой области появляется лишь рассеянная проприоцептивная чувствительность, никогда не доходящая до болевых или неприятных ощущений. При большой силе звука эта чувствительность создает даже приятные ощущения «брюшной опоры», нередко распространяющиеся от нижних ребер до тазовой области.

Совокупность этих внутренних ощущений указывает на интенсивную и предельную активизацию всей фонационной чувствительности, активизирующей тонус гортани.

Снизу доверху на всем протяжении первого, второго и третьего регистров субъективное ощущение направленности звука никогда не принимает вертикального направления (рис. 74).

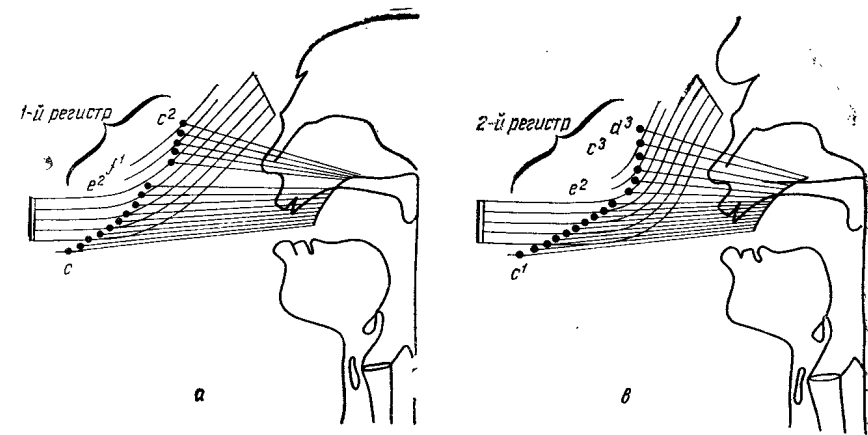


Рис. 74. Субъективная оценка направленности ощущений в первом и втором регистрах при сильном импедансе. *a* — тенор (первый регистр); *b* — сопрано (второй регистр)

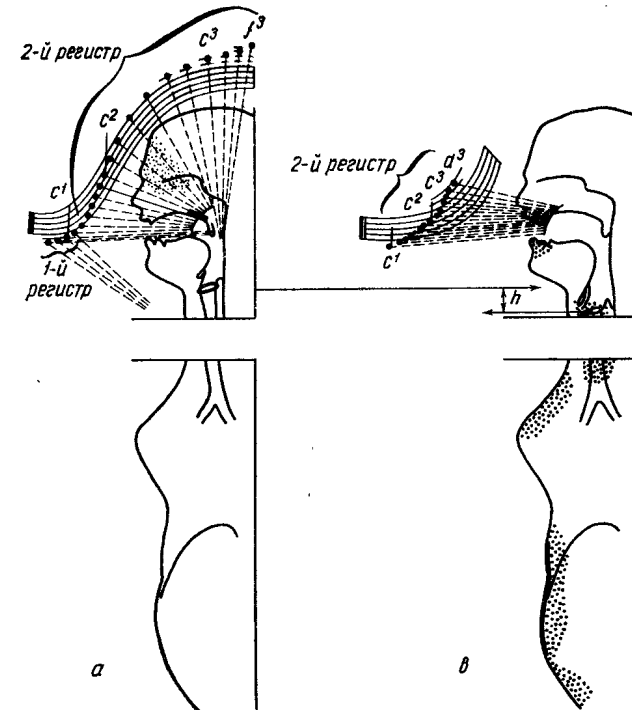


Рис. 75. Вокально-телесные схемы двух сопрано: *a* — вокальная техника со слабым импедансом; *b* — вокальная техника с сильным импедансом

§ 93. Вокально-телесная схема

Вокально-телесная схема предельно ярко ощутима, особенно на *forte* и на верхах. Характерные ее признаки следующие:

- а) очень большая активность брюшного пресса;
- б) вибрационные ощущения в груди на всех частотах;
- в) отсутствие ощущений на уровне гортани, кроме рассеянных, имеющих приятный характер;
- г) очень яркие ротоглоточные ощущения, особенно в переднем участке нёба;
- д) теменные ощущения отсутствуют или очень слабые;
- е) ощущение субъективной направленности звука всегда нёбно-горизонтальное на всех частотах (рис. 74).

Певец при вокальной технике, использующей сильный импеданс, ощущает себя как звучащий инструмент и сразу замечает переход на технику слабого импеданса (рис. 75).

§ 94. Сравнение основных типов вокальной техники

Рассмотренные два типа вокальной техники являются крайними типами, очень редко наблюдаемыми в действительности. Между ними существует бесконечный ряд промежуточных типов, тяготеющих либо к сильному, либо к слабому импедансу. Следует иметь в виду, что в процессе пения импеданс каждое мгновение изменяется в зависимости от силы звука, качества гласной, высоты и задач художественной выразительности, и все же, несмотря на это, импеданс тяготеет к некоторой статистически средней величине, на основании которой и можно условно отнести данную технику к одному из рассмотренных типов. Эта средняя величина бессознательно воспринимается певцом как некий характерный признак его вокально-телесной схемы. Видимо, этим обстоятельством и объясняется устойчивость любой вокальной техники, осознаваемой певцом через свою вокально-телесную схему.

Глава X

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТИПОВ НАЗАЛИЗОВАННОЙ ВОКАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

§ 95. Назализованные типы вокальной техники

Характерным признаком любой назализованной вокальной техники является более или менее заметное опущение нёбной занавески во время образования открытых, неназализованных гласных

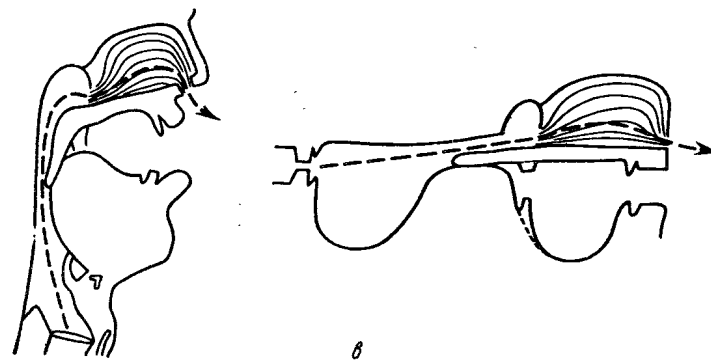
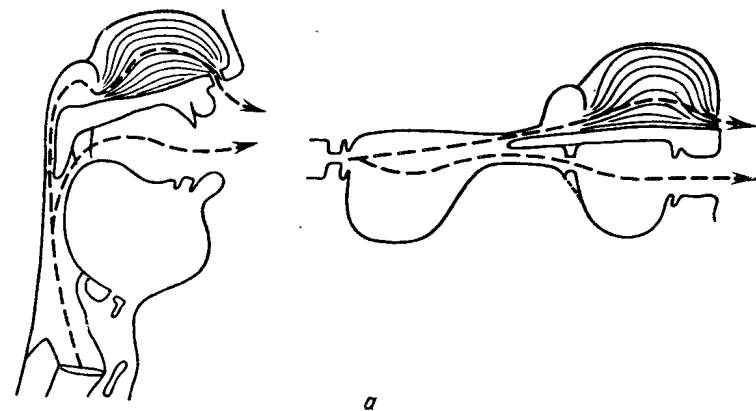


Рис. 76. Сравнительные положения нёбной занавески при назализации: а — открытой; б — закрытой, почти исключаяющей полость рта

(рис. 76, а) и появление более или менее уловимой на слух назализации.

Это опущение занавески никогда не бывает полным и не доходит до соприкосновения нёба со спинкой языка. При подобном соприкосновении звук приобрел бы качества, характерные для пения с закрытым ртом (рис. 76, б).

Но это неполное опущение нёбной занавески может проявляться в разных видах, создающих различные типы вокальной назализованной техники, среди которых чаще всего встречаются следующие.

1. Певец поет в нос почти все гласные в нижнем регистре и в медиуме с целью найти то, что многие певцы ложно называют «носовым резонансом» (ошибочно считая его полезным); эта назализация прекращается в верхнем медиуме немного раньше при-

крытия звука, которое производится правильно; верхний регистр остается без изменения.

2. Певец не поет в нос ни в грудном регистре, ни в медиуме, но начинает назализировать открытые гласные немного раньше прикрытия звука и продолжает дальше интенсивно удерживать и усиливать назализацию, насколько она возможна в верхнем регистре, осуществляя таким образом то, что называется «делать прикрытые носом», — прием, рекомендуемый порою, чтобы скрыть переход и уравнять верхний медиум с верхним регистром. Этот прием затрудняет использование верхнего регистра вследствие огромного импеданса, который приходится преодолевать усилением подсвязочного давления; если певец не будет стремиться к назализации до верхнего регистра, последний может получиться почти нормальным, тогда как продолжение назализации срежет верхи.

3. Певец систематически прибегает к назализации лишь для некоторых открытых гласных, обычно для *A* или *E*.

Во всех трех случаях назализация связана с активным торможением мышц, поднимающих занавеску. Постепенно это переходит в стойкую привычку и приводит к ранней потере голоса.

§ 96. Главные чувствительно-двигательные признаки

Признаки, которые будут описаны ниже, относятся к гласной *E* (открытой) с более или менее сильной назализацией, делающей ее сходной с *IN*, спетой драматическим тенором в первом регистре на d^1 , то есть немного раньше прикрытия звуков. Можно допустить, что они почти тождественны со звуками, наблюдаемыми у баритона на cis^1 или у баса на c^1 и октавой выше в соответствующих женских голосах.

1. *Гортань*. Гортанный тонус понижен. Ларингостробоскоп показывает пониженное напряжение гортани; спада надгортанника не наблюдается (рис. 77); амплитуда колебаний слегка выше нормы.

На томографическом снимке голосовые связки сильно утолщены, соприкасаются на большой глубине, сила смыкания ослаблена (рис. 78).

Следует отметить, что певец часто компенсирует это неплотное смыкание усилением подсвязочного давления, что придает связкам некоторую плотность, заметную на снимках.

2. *Подсвязочное давление и дыхание*. Подсвязочное давление еще более высокое, чем в случае сильного импеданса (без назализации). Расход дыхания очень велик. Дыхательные движения соответственно изменены: вдох учащенный и очень глубокий; интенсивное активное действие мускулов-выдыхателей живота, таза.

3. *Положение глоточного участка носоглоточного рупора*. Уровень гортани (высокий или низкий) никогда не является здесь характерным: гортань может занимать любое положение, особое для каждого певца.

Рис. 77. Вид гортани при назализации *E* открытого (*mezzo forte*) на высоте c^1

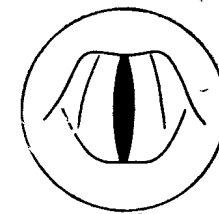


Рис. 78. Смыкание связок при назализации *E* открытого (*mezzo forte*) на высоте c^1



4. *Положение нёбной занавески*. Нёбная занавеска опущена в большей или меньшей степени, оставляя между собой и задней стенкой глотки свободный проход, всегда отчетливо видимый на рентгеновских снимках (рис. 79, а).

Для каждого данного певца с устойчивой техникой опущение занавески однообразно. Но когда певец хочет усилить назализацию на носовой гласной, то достигает этого путем подъема спинки языка к нёбу.

Часто случается, что при осуществлении носовой гласной *ON* нёбная занавеска и язык совершенно смыкаются, отрезая всякое сообщение со ртом; издаваемый звук получается глухим, похожим на тот, который певец смог бы издать с закрытым ртом (рис. 76, б).

§ 97. Главные акустические признаки

Точные положения глоточной, а также ротовой форманты в каждой формантной области для данной гласной не являются обязательными, как это было для двух вышеописанных типов вокальной техники. Встречаются типы назализованной вокальной техники с сомбриванной окраской и назализованные типы со светлой окраской; но темная или светлая окраска звука не представляет здесь доминирующего качества. Другими словами, назализация является преобладающим фактором, маскирующим другие качества звука.

Единственным существенным акустическим признаком служит сама назализация, а известно (§ 40), что она возникает благодаря сильному затуханию амплитуд гармоник в полосе от 1200 до 2000 кол/сек с небольшими вариантами для разных певцов и разных гласных (рис. 79 и 80).

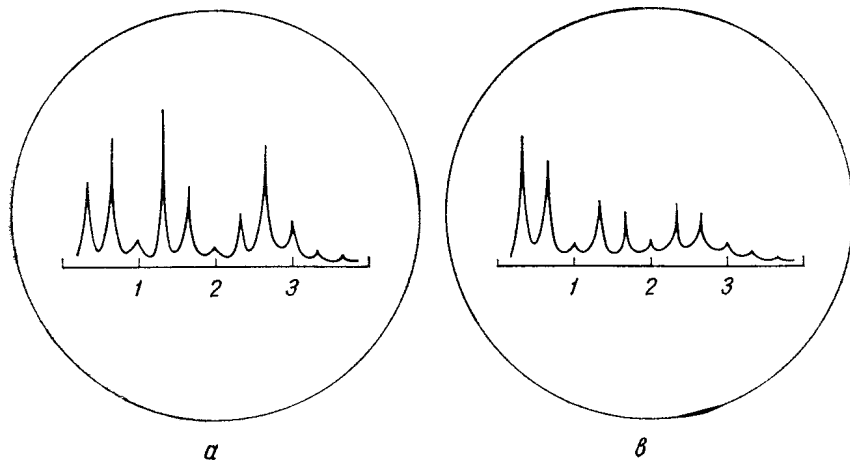


Рис. 79. Певческий спектр гласной *Е*, интенсивность 100 дБ, пропетой низким тенором на e^1 . *a* — без назализации; *b* — с назализацией. Назализация снизила интенсивность гармоник в области 1200—2000 кол/сек и ВПФ

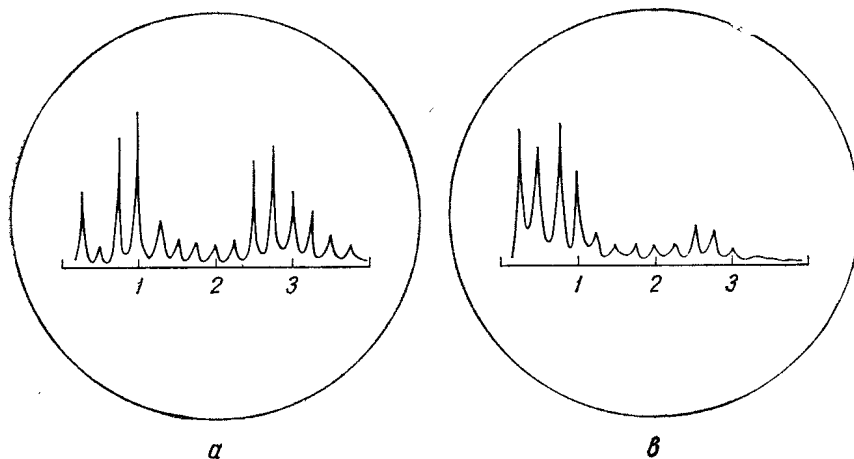


Рис. 80. Спектр гласной *о* закрытой. Поет низкий тенор, интенсивность 90 дБ, на высоте c^1 : *a* — без назализации; *b* — с назализацией

К этому следует добавить удаление друг от друга самих формант гласных: самая низкая форманта опускается и одновременно усиливается вследствие искажения, давая сильную гармонику в зоне ниже 300 кол/сек; высокая форманта, все время приглушенная, устремляется к верхам и приближается к частоте среза (рис. 80).

Тембр также сильно изменен:

а) голос слегка увеличивается в объеме вследствие усиления основного тона;

б) густота голоса обыкновенно несколько уменьшается вследствие затухания на середине спектра; блеск голоса обычно несколько приглушен.

Предельно доступная сила звука всегда понижается назализацией, как бы она ни была слаба, так как звуковые колебания, проходящие позади занавески, почти целиком поглощаются и теряются для слушателя.

§ 98. Включение защитных механизмов гортани

При назализованной технике импеданс достигает столь высокого уровня, что становится помехой нормальному функционированию связок, и все происходит так, как если бы певец страдал ослаблением тонуса внутренних щито-черпаловидных мышц. Правда, певец бессознательно стремится устранить это явление повышением подвязочного давления, но желаемого результата не получает.

На втором защитном механизме — прикрытии открытых звуков — назализация сказывается еще более пагубно (§ 44). Певец теряет свои верха.

§ 99. Анализ внутренних ощущений

Нёбные ощущения, воспринимаемые певцом, всегда несколько притуплены при назализации, без ощутимого, однако, изменения их локализации, которая все же иногда доходит до задней части рта.

Пропуск некоторого количества звуковой энергии позади нёбной занавески, тут же сразу поглощенной, увеличивает внутренние вибрационные ощущения в области носоглотки, твердого нёба и лицевого костяка (рис. 82, *a*). Однако здесь речь идет об ощущениях вибрационного происхождения, которые отнюдь не следует путать с хорошо локализованными интероцептивными ощущениями, вызванными акустическим давлением и аэродинамическими вихрями.

Последние ощущения оказывают исключительно благотворное действие на тонус гортанного сфинктера (§ 51) и в должной мере оцениваются певцами.

Как раз в поисках этих ощущений педагоги и некоторые певцы ошибочно рекомендовали назализацию, тогда как полученные таким приемом ощущения имеют другую физиологическую основу и нечеткую локализацию.

На рис. 82, *b* показана четкая локализация интероцептивных ощущений, которая начиная с грудного регистра до верхов диапазона меняется в зависимости от движения гортани (§ 59). Назализация звуков не имеет на нее влияния.

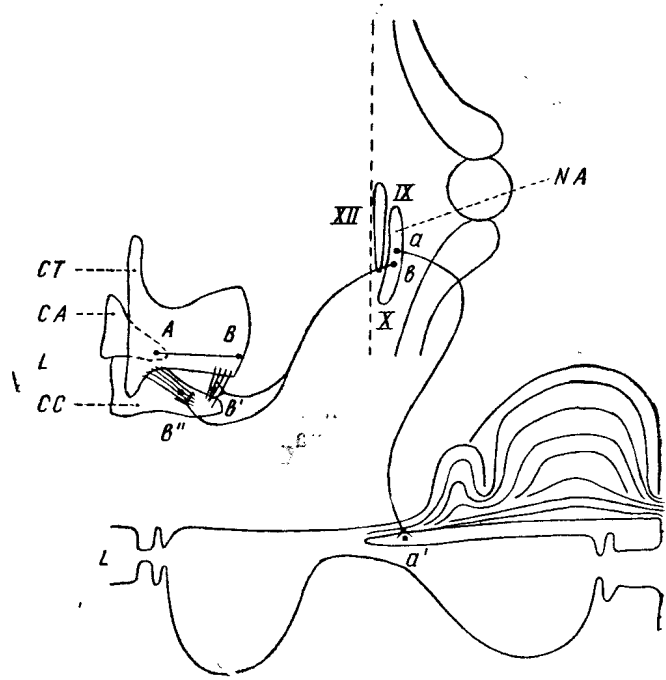


Рис. 81. Схема воздействия на гортань сильно пониженной нёбной занавески при пении на частотах выше частоты «прикрытия звука». Изображены некоторые двигательные ядра в продолговатом мозгу (бульбе). *NA* — «двойное ядро», в котором находятся двигательные ядра: языкоглоточного нерва IX, блуждающего нерва X; ядро *a*, поднимающее нёбную занавеску, ядро *b*, сокращающее перстне-щитовидные мышцы *b'* и *b''*, от которых зависит натяжение голосовых связок

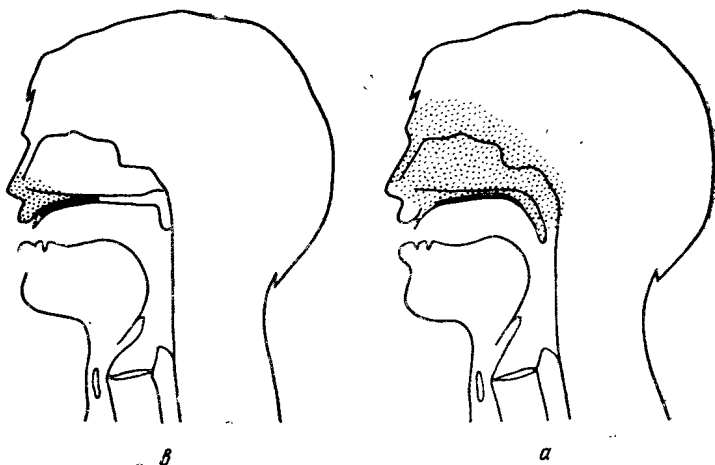


Рис. 82. Лицевые и нёбные внутренние ощущения, испытываемые баритоном при пении гласной *A* на высоте *d'*. *a* — с небольшой назализацией; *b* — без назализации

§ 100. Вокально-телесная схема при назализации

Данную схему можно представить как результат наложения двух вокально-телесных схем.

1. Первая схема, которую следует считать основной, возникла, если бы нёбная занавеска не была опущена. В ней управление импедансом происходит при помощи изменения формы ротоглоточного рупора. Эта схема многообразна, так как характеризует множество типов техники, лежащих между крайними типами с большим и малым импедансом.

2. После понижения нёбной занавески на первую схему накладывается вторая, добавляя ряд новых внутренних ощущений, характерных для назализации. Результат суммирования ощущений создает новую вокально-телесную схему назализованной техники.

В последней схеме отмечаем следующие характерные черты:

а) усиление работы группы мышц-выдыхателей в области брюшного пресса;

б) уменьшение интенсивности интероцептивных ощущений, локализующихся в нёбных областях, и чрезмерный рост рассеянных вибрационных ощущений в носоглотке, носу и лицевом костяке;

в) потеря легкости прикрытия звуков и затрудненность звукообразования на частотах, лежащих выше перехода. Нередко это приводит певца к потере верхов.

§ 101. График типов вокальной техники

Типы вокальной техники могут быть изображены графически как функции импеданса. На вертикальной оси $O-\infty$ (рис. 83) отложены значения импеданса, возрастающего сверху вниз. Например, область слабого импеданса *A*, область сильного импеданса *F*. Между *A* и *F* размещаются промежуточные типы техники.

Много ниже располагаются типы назализованной вокальной техники. Этот график является лишь наглядной схемой, не отражающей аналитических данных.

§ 102. О технике пения с большой силой звука

Выше мы изучили подробно все факторы, определяющие большую силу певческого голоса, так как требование интенсивности имеет для оперных певцов наибольшее значение. Оно само по себе вызывает необходимость применения техники пения с большим импедансом, чтобы уравновесить огромное подсвязочное давление и соответственно смягчить тонус голосовых связок. Очевидно, что подобная техника на графике неизбежно окажется в области *F* или ее границах.

К сожалению, это требование не является исчерпывающим, так как к нервно-двигательным факторам, определяющим технику, добавляются еще и факторы эндокринные. Значение последних особенно велико в связи с требованием неустойчивости.

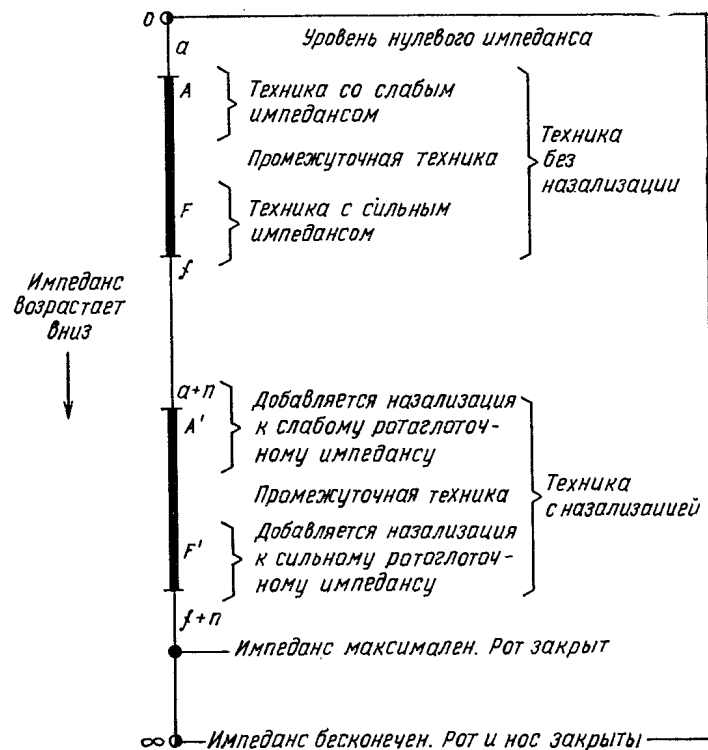


Рис. 83. График, представляющий все виды вокальной техники как функции импеданса, приведенного на гортань

Физиология фонации в настоящее время накопила много важных данных, которые могут принести пользу как педагогам, так и певцам, готовящимся к оперной карьере.

§ 103. О пении без вокальной техники или пении с любой техникой

В заключение физиологического обзора различных типов вокальной техники необходимо вспомнить и практику эстрадных певцов, поющих в микрофон и без микрофона, практику уличных и домашних певцов, одним словом, то пение, с которым мы сталкиваемся повседневно.

Видимо, без вреда для голоса можно петь, используя любой тип вокальной техники, но при одном условии: петь не слишком высоко, несильно, недолго и нечасто.

Трудности и опасности для гортани возникают только тогда, когда певец пытается нарушить одну из четырех последних рекомендаций. В этом случае многообразие безвредных типов вокальной техники сразу сократится за счет неприменимости типов техники с малым импедансом.

ЧАСТЬ

Физиологический АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ВОСПИТАНИЯ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

Глава XI

КЛАССИФИКАЦИЯ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ВОСПИТАНИЯ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

§ 104. Определение метода воспитания певческого голоса

Методом воспитания певческого голоса называется совокупность систематизированных указаний и советов, постепенное усвоение которых приводит к появлению у любого здорового человека определенных певческих навыков или вокальной техники, обеспечивающей желаемый диапазон, силу и тембр голоса при неустойчивости голосового аппарата.

К этому определению можно сделать несколько добавлений:

а) любой педагогический метод применим только к здоровым людям. Певцу с больным голосовым аппаратом в первую очередь надо обращаться к врачу и только после выздоровления устранять те или иные недостатки своей вокальной техники;

б) методические приемы должны быть систематизированы, и уточнены способы и условия их применения;

в) использование определенной методики при воспитании различных певцов должно привести их к однотипной вокальной технике, позволяющей сравнивать их исполнение, разумеется, с учетом анатомо-физиологических особенностей каждого из них;

г) в наше определение не входят методы, обучающие певца только приемам художественной выразительности, умению передавать слушателям эмоциональное содержание музыкальных произведений. Однако из дальнейшего будет ясно, что методы развития вокальной техники и художественной выразительности взаимно связаны.

§ 105. Разнообразие методов вокального воспитания

Методы вокальной педагогики многочисленны и разнообразны, даже если учитывать только те, что применяются в современной практике. Некоторые методы прошлого часто были основаны на невежестве или шарлатанстве: например, педагоги рекомендовали петь, одновременно делая попытки поднять рояль, петь, лежа с грузом книг на животе или с сильно высунутым языком. На подобных приемах мы не будем останавливаться.

Мы рассмотрим только те педагогические приемы, которые имеют какие-то научные и логические предпосылки и нашли свое от-

ражение в литературе. Оставим в стороне и те методы, которые могут быть использованы в исключительных и единичных случаях.

Педагогические методы можно разделить на две группы: одни приводят певца к строго определенной и всегда одной и той же вокальной технике; другие — более широкие и представляющие для нас значительный интерес — позволяют педагогу и певцу заранее наметить желаемую технику.

Как правило, наиболее ценные методы были созданы не фонетиками и ларингологами, а оперными певцами, которые опирались не на выдуманные системы, а на свой практический опыт или наблюдения над другими певцами. Они не строили свои рекомендации на песке, но опирались на факты, которые нередко излагали весьма неточно, однако их высказывания все же заслуживают серьезного внимания физиологов. Хотя мы ограничились анализом лишь основных методов, созданных в прошлом и в более близкое к нам время, все же обилие материала заставило нас его классифицировать и разбить на пять основных групп.

§ 106. Пять основных групп педагогических методов

В первую группу включены методы, прививающие ученику определенные мышечные движения или установки, оказывающие воздействие на певческое звукообразование. К таким установкам можно отнести: форму рта, положение гортани или ее вертикальные движения, положение языка, тип дыхания и т. д. В связи с анализом этой группы мы рассмотрим вопрос об «опоре дыхания», знаменитый «принцип низкого положения гортани» (штаупринцип) Армина и, наконец, «принцип расширения и эластичности» Фернау-Горн.

Во вторую группу включены методы, непосредственно воздействующие на тембр или, точнее, на окраску гласных певца путем систематического изменения этой окраски в том или ином направлении. Понятно, что изменению окраски гласных соответствует изменение ротоволочных полостей и режима колебаний голосовых связок. Этот метод получил наиболее завершенную форму в работах Альберта Лабрие, изданных в 1925—1927 годах, и более точно может быть назван «методом вокальной настройки на основе принципа компенсации гласных».

В третьей группе рассматриваются, вероятно, наиболее тонкие методы, связанные с тем, что пение вызывает в голосовом аппарате и теле певца четко воспринимаемые и определенно локализованные внутренние ощущения, меняющиеся соответственно с изменением вокальной техники данного певца. Отсюда возникла мысль вырабатывать постепенно ту или иную вокальную технику путем закрепления у начинающего певца соответствующих внутренних ощущений. В эту группу входят методы Лили Леман, Жана Морана и различные их видоизменения, внесенные их последователями.

Четвертая группа методов, редко применяемая, использует внутренние волевые приказы, создающие желаемую выразительность. При этом возникшее эмоциональное состояние должно сопровождаться соответствующей лицевой мимикой в предположении, что все это вызовет у певца необходимые мышечные установки, форму ротоглоточных полостей и окраску звука. Мы рассмотрим работу Рауля Дюамеля, появившуюся в 1929 году, наблюдения Жоржа Вайана, опубликованные в 1954 году, и метод Пьера Бонье, который он пропагандировал с 1906 года, хотя он рекомендует «волевые приказы», относящиеся уже не к выразительности, а к моторике.

В пятую группу входят методы, изменяющие звукообразование за счет возникающих во время пения обратных связей между слуховым органом и гортанью. Для получения желаемого изменения звука слух поющего подвергается соответствующим звуковым стимуляциям. Эта возможность, несомненно, была известна давно, но ее экспериментальное изучение и обоснование было сделано А. Томатисом только в 1954—1957 годах.

Глава XII

МЕТОДЫ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УСТАНОВКИ И ДВИЖЕНИЯ МЫШЦ

§ 107. Многообразие этих методов. Их классификация

Оказать непосредственное желаемое воздействие на мышечные движения и установки в голосовом аппарате ученика, особенно на те, которые регулируют форму ротоглоточного рупора, — мысль вполне естественная и поэтому возникавшая множество раз в различных аспектах. Рассмотрим главные:

- а) воздействие на дыхание, точнее — на характер вдоха и выдоха;
- б) комплексное воздействие на ротоглоточные полости с целью вызвать понижение или повышение гортани;
- в) прямые указания относительно формы рта поющего;
- г) воздействие на характер артикуляции.

§ 108. Воздействие на дыхание. Опора дыхания

Мы не будем здесь говорить о методах некоторых педагогов, предписывающих употреблять в пении тот или иной тип свободного дыхания. Прочтя § 29, читатель придет к выводу, что различные типы свободного дыхания не имеют большого значения для

нейрологической регуляции работы легких во время фонации, особенно при оперном пении.

Однако мы рассмотрим особый способ использования дыхания во время пения, известный под названием «пения на опоре». Открытие этого способа приписывается итальянским певцам XIX столетия. Вопрос об опоре дыхания породил, особенно в Германии за период с 1880 по 1928 год, большую литературу и длительные дискуссии.

§ 109. Физиологический анализ опоры дыхания

Пение на опоре состоит в следующем: певец делает глубокий вдох, сначала брюшной, оставляя в покое грудную клетку, затем продолжает его до тех пор, пока не наметится очень легкий подъем грудной клетки. После почти неуловимой паузы певец смыкает связки и затем издает желаемый звук. В процессе пения следует удерживать вдыхательную позицию и особенно слегка приподнятое положение грудной клетки. Фонационный выдох, то есть поддержка подвязочного давления во время пения, происходит за счет плавного подъема диафрагмы под действием брюшной мускулатуры. Наконец, когда грудная клетка начинает спадать и звук теряет поддержку и устойчивость, он инстинктивно прерывается певцом на этой фазе выдоха.

Это особенное поведение дыхания во время пения было тщательно исследовано многими авторами, и некоторые высказывания мы приводим ниже:

а) Фаринелли, затем Рети наблюдали, что создание опоры дыхания связано с одновременным управлением мышцами-вдыхателями и выдыхателями, агонистами и антагонистами. Несомненно, это — точный факт, так как пение, по крайней мере в начальный период, протекает в положении вдоха;

б) Вольф отмечал, что активность вдыхательной мускулатуры при пении с опорой позволяет обеспечить более тонкое управление фонационным выдохом;

в) Барт, Герман и Таузинг утверждали, что опора дает певцу возможность во время звукообразования контролировать, при помощи своих внутренних грудных ощущений, напряжение вдоха в области грудной клетки, и в частности грудной кости. Пилке и Вегло, развивая ту же мысль, также отмечали, что механизм опоры вводит движение диафрагмы в сферу осознаваемых ощущений;

г) Ламперти, Надолечный, затем Иро признавали, что опора благоприятствует подвязочному давлению, тогда как Шейдемантель, а затем Рейнке усматривали в опоре лишь сковывание и задержку дыхания;

д) наконец, для Мартиенсена и Штерна опора — это «сложный комплекс внешних и внутренних приспособлений, устанавливающих „инструментальную форму” певца». Очевидно, что это последнее высказывание неопределенно и бессмысленно.

§ 110. Пение с опорой и соответствующая вокальная техника

Предшествующий анализ указывает на два факта:

а) использование опоры приводит к равномерному управляемому выдоху и способствует созданию устойчивого и высокого подсвязочного давления;

б) опора создает схему внутренних ощущений, позволяющих различать характер выдыхательных движений и управлять ими.

Мы еще добавим следующее:

в) опора, возникающая при активном вдохе, сопровождается бессознательным понижением гортани — это понижение отчетливо заметно в конце вдоха и сохраняется во время пения. Таким образом, опора приводит к вокальной технике второй категории с сильным или достаточно сильным импедансом (глава IX);

г) технику опоры, особенно в начальный период обучения, следует осваивать осторожно и постепенно. В частности, конечный момент вдоха должен сопровождаться очень небольшим подъемом грудной клетки. Неумелое пользование опорой нередко приводит ученика к особому виду одышки, которая вредна и недопустима.

§ 111. Комплексное воздействие на установки ротоглоточных полостей. Постепенные поиски низкого положения гортани

Точная установка ротоглоточных полостей путем прямого воздействия на мускулатуру практически невыполнима: певец по желанию не может опустить или поднять гортань, расширить или сократить глотку, поднять небную занавеску и даже придать языку строго определенное положение. Он может непосредственно управлять лишь движением нижней челюсти, формой губ и объемом ротовой полости. Следовательно, комплексная настройка ротоглоточных полостей может быть лишь косвенной и приблизительной.

Уже лет 80 тому назад стало известно, что наиболее действенным механизмом комплексного управления ротоглоточными полостями является понижение и повышение гортани. Подъем гортани вызывает сжатие глотки, у которой при этом сокращаются продольный и поперечный диаметры, что вызывает огромное уменьшение ее объема. Влияние этого уменьшения на характер звука было рассмотрено в § 84—86.

Известно, кроме того, что у необученных певцов и во время речи гортань быстро поднимается с повышением звука. Из этого следует, что в подавляющем большинстве случаев необученные певцы, а также люди при обычных разговорах пользуются техникой первой категории со слабым или очень слабым импедансом (глава VIII). Мы уже отмечали, что техника первой категории не способствует созданию большого подсвязочного давления и поэтому неприменима для оперного пения. Шварц (1857) писал, что самые богатые и сильные голоса, которые ему приходилось слышать, используют низкое и даже очень низкое положение гортани.

Его наблюдения были затем подтверждены Манделем (1876), Штокгаузеном (1884), Хаксли (1890), Лунном (1892), Иффертом (1895), Авеллисом (1896), Хеллатом (1898), Букофцером (1904), Бартом (1902—1904), Флатау и Гутцманом-отцом (1904), Катценштейном (1909), Нагелем (1909), Шиллингом (1911), Надолечным (1923), Лабрие (1927). Поэтому не стоит удивляться, что почти 80 лет подряд большинство признанных вокальных школ, ставивших своей целью создание мощных оперных голосов, добивалось устойчивого низкого положения гортани, насколько это позволяло анатомическое строение голосового аппарата учеников.

Мы опишем два широко известных в Германии метода, основанных на принципе низкого положения гортани, а именно штаупринцип¹ Ж. Армина (1909) и метод Е. Фернау-Горн, называемый «принципами расширения и эластичности» (1954).

§ 112. Штаупринцип Ж. Армина (1909)

Жорж Армин, бывший певец и преподаватель пения в Лейпциге, выработал в начале XX века метод, который, по его мнению, должен был постепенно обеспечить любому певцу низкое положение гортани.

Он изложил свои взгляды в небольшой брошюре, изданной в Лейпциге в 1909 году под названием «Штаупринцип», за которой последовали две другие работы на ту же тему, но вышедшие значительно позднее — в 1921 и 1926 годах. Армин долго жил в Берлине, но затем принужден был покинуть свою страну, где последние годы провел в большой нужде. Армин, видимо, не применял свою систему к голосам любого типа, но обучал лишь мощные и густые голоса, предназначенные для оперной сцены.

Его педагогические приемы пользовались большой популярностью, и в то время трудно было встретить в Германии оперного баритона или драматического тенора, в основе обучения которого не лежал бы штаупринцип. Несмотря на практические успехи, методы Армина подвергались резким нападкам со стороны небольшой группы фониатров и ларингологов. Эти нападки продолжались и в более позднее время. В 1926 году Немецкое фониатрическое общество опубликовало доклад Гуго Штерна, в котором методы Армина были подвергнуты тенденциозной критике. Доклад не содержал никакой серьезной физиологической аргументации и был построен лишь на нелепой мотивировке, что принцип Армина прививает «типично немецкую манеру пения». Попытаемся вскрыть физиологические явления, сопровождающие применение этого принципа, и показать, к какому виду техники он приводит певца.

В связи с этим мы познакомились с работой Д. Вейса (1936), книгой А. Таузинга «Голос певца» (1957) и обменялись сообра-

¹ Das Stauprinzip от немецкого stauen — останавливаться, застаиваться. Штаупринцип требует, чтобы гортань прочно удерживалась в низком положении.

жениями с профессором Г. Панкончелли-Кальция, доктором О. Хейманом из Франкфурта-на-Майне и рядом певцов и педагогов из Италии и Германии, которым приносим здесь глубокую благодарность.

Уверенно можно утверждать следующее:

а) Армин стремился осуществить низкое положение гортани начиная с атаки звука (на восходящих гаммах);

б) он добивался глубокого смыкания голосовых связок, то есть создавал увеличение поверхности контакта между ними.

В §75 и 76 было показано, что низкое положение гортани и глубокое смыкание голосовых связок являются необходимыми условиями для создания большой интенсивности звука и качества тембра. Однако сила голоса полностью этими двумя факторами не определяется, что, к сожалению, в 1909 году не было известно Армину.

Очевидно, что штаупринцип может привить певцу лишь технику второй категории (глава IX), характеризующуюся сильным импедансом, необходимым для создания большой силы звука.

Отметим одну деталь: по-видимому, Армин для установки гортани пользовался в упражнениях следующими звуками: *d* — для мужчин, *as* — для женщин и *c¹* — для детей, используя при этом закрытое звучание, близкое к *ei*. Это же звучание рекомендовал французский певец Фор и в некоторых случаях — А. Лабрие. На томографических снимках А. Джиана (1952) мы показали, что на этих высотах закрытые гласные дают исключительно глубокое смыкание голосовых связок. Любопытно, что вышеназванные педагоги сделали это открытие только на основании догадки и внутренних ощущений в области гортани.

§ 113. Расширение и эластичность — принципы Е. Фернау-Горн [Штутгарт, 1954]

Доктор философии Е. Фернау-Горн является в Германии видным педагогом и теоретиком вокального образования. В ряде работ, публиковавшихся с 1954 года, она изложила свой метод и назвала его «принципами расширения и эластичности».

На основе первого принципа певцу рекомендуется добиваться расширения глотки, что вызывает понижение гортани. Это осуществляется осторожным полузевком, создающим желаемое расширение (рис. 84).

Второй принцип рекомендует певцу развивать эластичность мышц, поднимающих и опускающих гортань. Эластичность позволяет певцу быстро поднимать гортань вместе с подъязычной костью, когда этого требует артикуляция, и опускать для длительных звуков. Оба эти принципа, изложенные здесь схематически, все же дают право сделать некоторую оценку метода Фернау-Горн.

Если первый принцип расширения глотки сходен со штаупринципом и ведет к технике второй категории с сильным импедансом,

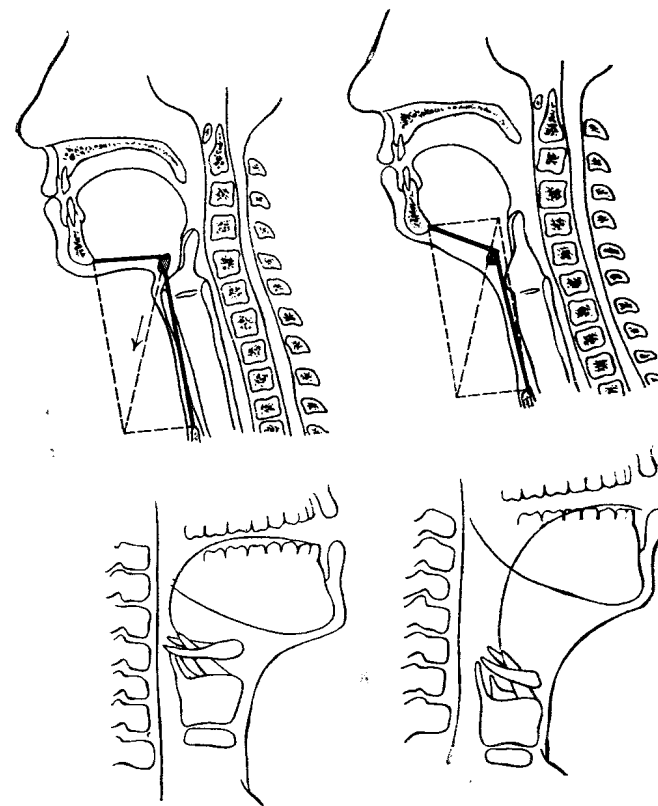


Рис. 84. Действие скрытого зевка по Е. Фернау-Горн. Слева — положение покоя, справа — действие зевка. Внизу — рентгенографический профиль. Заметно понижение гортани и расширение глотки

то второй принцип вносит существенное отличие: принцип Армина требует фиксации гортани в низком положении, тогда как «принцип эластичности» допускает вертикальные перемещения, необходимые для артикуляции. С этой точки зрения метод Фернау-Горн является более гибким, чем метод Армина.

§ 114. Использование зевка в педагогической практике

Тот факт, что зевок или точнее, скрытый зевок, применяемый в пении, вызывает понижение гортани и расширение глотки, известен уже давно. В. Нагель в своей блестящей «Физиологии голоса» (1909) писал: «Низкое положение гортани, создающее полноту звучания голоса и широко практикуемое в пении, может быть легко осуществлено при помощи зевка. Даже непоющий мо-

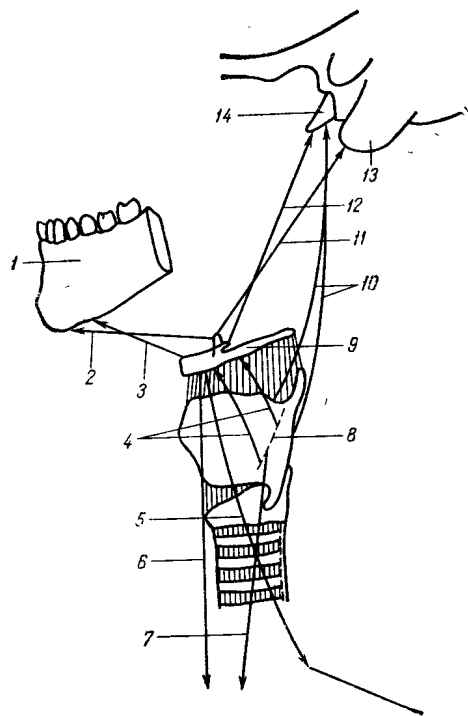


Рис. 85. Мышцы, повышающие и опускающие гортань. Стрелками указано направление действия мускулатуры. 1 — нижняя челюсть; 2 — передняя двубрюшная мышца; 3 — подбородочно-подъязычная мышца; 4 — щито-подъязычная мышца; 5 — нижнее брюшко лопаточно-подъязычной мышцы; 6 — подъязычно-грудинная мышца; 7 — щито-грудинная мышца; 8 — косая линия щитовидного хряща; 9 — подъязычная кость; 10 — нижний сжиматель глотки; 11 — заднее брюшко двубрюшной мышцы; 12 — щило-подъязычная мышца; 13 — сосцевидный отросток; 14 — щитовидный отросток

жет легко убедиться в том, что положение зевка способствует полноте звука».

Многие певцы умело использовали прием зевка, например, известный баритон, профессор Парижской консерватории Е. Сиз, драматический тенор Ибос и другие. Ж. Луазо написал книгу, в которой систематизировал использование этого приема в педагогике.

Отметим, что важен не сам зевок, а начальное действие механизма, его создающего. Наконец, приглушенность тембра, которая может возникнуть вследствие неблагоприятной ротоглоточной установки и недостаточного подвязочного давления, должна быть учтена и очень точно исправлена. Как бы то ни было, зевок увеличивает импеданс, что и определяет границы и условия его практического применения (рис. 85).

§ 115. Прямое воздействие на форму ротового отверстия

Издавна вокальная педагогика рекомендовала при пении две формы раскрытия рта: в ширину и по вертикали.

Открытие рта в ширину на улыбке пропагандировалось Мануэлем Гарсиа, изобретателем ларингоскопа. Его отец родился в Севилье в 1775 году, был знаменитым тенором и в то же время одаренным композитором и дирижером. Сам Мануэль Гарсиа обладал

очень скромными вокальными данными, пел только вторые партии в опере и выступал в концертах, однако изобретенный им ларингоскоп открыл ему широкую дорогу к педагогической деятельности.

Пение на улыбке или открытие рта в ширину соответствует вокальной технике первой категории со слабым или очень слабым приведенным импедансом, которая, видимо, и соответствовала технике самого М. Гарсиа.

Открытие рта по вертикали, тормозящее боковое растяжение губ, отстаивалось выдающимся французским баритоном Леоном Мельхисседеком, скончавшимся в 1927 году. Этому вопросу он посвятил две интересные книги.

Подобный способ фонации соответствует технике второй категории или пению с сильным или очень сильным импедансом. Сам Л. Мельхисседек был типичным представителем этой техники. По исследованиям Ж. Амадо, на примере этого замечательного баритона легче всего проследить влияние повышенной функции коры надпочечников: к восьми годам его первый регистр достиг полного развития, а силу голоса он сохранил до 72 лет. Даже в этом возрасте он давал концерты в огромном зале Трокадеро.

Следует отметить, что рассмотрение в таком плане формы открытия рта может иметь лишь узко педагогический интерес, так как при исполнении художественных произведений эта форма подвергается непрерывным и многочисленным изменениям в зависимости от задач выразительности. Мы вернемся к этому вопросу в главе XV.

§ 116. Воздействие на артикуляцию согласных

Некоторые педагоги предполагают, что можно создать метод вокального воспитания, обучая певца тому или иному способу артикуляции. Мы остановимся здесь на этом вопросе только для того, чтобы показать несостоятельность подобных попыток. Артикуляция любых согласных, особенно язычных, всегда сопровождается движением языка, которое разрушает на какое-то время вокальную настройку ротоглоточного рупора. Когда формирование согласной закончено, рупор должен деформироваться снова, чтобы подготовиться к фонации последующей гласной. Одно несомненно, что легкость или трудность сочетания той или иной гласной и согласных звуков зависит от их подбора. Эти закономерности изучались с 1926 года Л. Лабарраком, но для вокальной педагогики практического значения они не имеют.

§ 117. О принципе прямого воздействия на мышечные движения и установки

Мы говорили выше, что мысль о непосредственном воздействии на вокальный механизм путем установок и форм ротоглоточного рупора и соответствующих мышечных напряжений является наи-

более простой и поэтому пришла прежде других. Однако проверка ее на практике не дала положительных результатов. Действительно, можно очень легко управлять формой рта, движениями нижней челюсти, но положение языка уже ускользает от нашего внимания, особенно у начинающих певцов, не выработавших устойчивых proprioцептивных ощущений. Что касается движения гортани, изменения объемов глотки, то они контролируются лишь косвенным путем и наблюдения за ними в процессе пения лишены точности. Поэтому не удивительно, что последнее обстоятельство породило жесточайшие споры.

Методы прямого воздействия если и могут оказать действительную помощь, то, видимо, в начальных стадиях обучения или при исправлении испорченных голосов.

Они могут оказаться полезными лишь в сочетании с более тонкими и разнообразными методами воспитания голосов, о которых мы скажем дальше.

Глава XIII

МЕТОДЫ ПРЯМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ТЕМБР

§ 118. Общая природа и основные принципы этих методов

Методы вокального воспитания, которые мы рассмотрим в этой главе, существенно отличаются от рассмотренных выше. Здесь будут описаны способы непосредственного воздействия на тембр гласных и на те составляющие певческого спектра, которые определяют блеск, силу и густоту голоса. Эти способы ставят своей целью вызвать необходимый тонус гортани и соответствующую настройку ротоглоточного рупора, но не путем механического задания мышечных установок или форм голосового аппарата, а при помощи указаний, изменяющих качество звука и окраску гласных.

Конечно, законность подобной методики основана на предположении, что между качеством звука, окраской гласных и настройкой гортани с надсвязочными полостями существует строгая зависимость и соответствие, одинаковые для всех индивидуумов.

Мы не будем рассматривать экспериментальные основания, на которые могло бы опираться данное предположение, так как это увело бы нас за рамки данной работы, ограничимся лишь следующими замечаниями:

а) это предположение является правильным для одного определенного певца, так как зависимость между настройкой голосового аппарата и качеством звука легко может быть проверена экспериментально;

б) утверждение, что те же самые зависимости существуют для всех певцов, является менее точным, так как наблюдаются индивидуальные особенности, хотя и небольшие, в настройке голосового аппарата у различных певцов.

Однако для практики оказывается вполне достаточным существование такой зависимости и возможности воздействием на тембр гласных изменять настройку голосового аппарата.

§ 119. Классификация методов прямого воздействия на тембр

Методы вокального воспитания, применяющие прямое воздействие на тембр гласных, в простейших формах возникли очень давно, и некоторые из них мы рассмотрим ниже.

Наиболее полное, совершенное и детализированное развитие эти методы получили в 1925—1927 годы в трудах оперного певца и замечательного педагога Альберта Лабрие¹.

Идеи Лабрие и предложенные им педагогические приемы являются выдающимся достижением вокальной педагогики нашего столетия. Его практические рекомендации применимы ко всем певцам и во всех случаях; они позволяют овладеть по желанию любым видом вокальной техники из тех трех групп, которые описаны в главах VIII, IX и X.

Ниже мы рассмотрим метод Лабрие и некоторые его практические разновидности, давно нашедшие применение.

§ 120. Метод А. Лабрие или вокальная настройка путем компенсации гласных

Превосходный наблюдатель, Лабрие в процессе своей практики заметил, что при восходящей гамме затруднения голосообразования возникают по двум причинам:

а) на одних гласных (обычно светлых) гортань слишком быстро поднимается, и, следовательно, нужно задерживать ее подъем;

¹ Альберт Лабрие родился в Париже в 1875 году. В начале своей музыкальной карьеры работал скрипачом в оперетте; с 1899 года стал обучаться пению у профессора Парижской консерватории А. Мартини, затем у племянника знаменитого тенора Жильбера Дюпре. Лабрие обладал мощным басом огромного диапазона, позволявшего в упражнениях достигать верхнего тенорового *до*. В опере он выступал как бас-кантанта. Мобилизованный в первую мировую войну (1914), он четыре года провел в окопах и, вернувшись домой, занял в 1920 году по конкурсу должность профессора в консерватории Нанси.

Лабрие был неутомимым исследователем: как ученый-самоучка, он приобрел большие знания, работая в Акустической лаборатории под руководством профессора Гюттона. В «Колеж де франс» в 1920—1921 годах он прослушал курс экспериментальной фонетики, который читал его большой друг аббат Руссело. В 1925 и 1927 годах в «Отчетах Французской академии наук» были опубликованы три статьи Лабрие, рекомендованные знаменитым химиком и музыковедом Жоржем Урбенем. Лабрие умер в Нанси 14 августа 1930 года, где и был погребен. — *Примеч. Р. Юссона.*

б) на других гласных (обычно глухих) гортань стоит слишком низко, и необходимо активизировать ее подъем.

Чтобы затормозить подъем гортани, Лабрие рекомендует изменять постепенно тембр взятой гласной, приближая его в восходящей гамме к тембру соседней гласной, у которой одна из характеризующих ее глоточных формант более низкая. Для активизации подъема гортани Лабрие рекомендует при восходящей гамме постепенно изменять тембр взятой гласной, приближая его к тембру соседней гласной, у которой одна из характеризующих ее ротовых формант более высокая. Этот метод он назвал компенсацией гласных.

Поставив практическую задачу слухового контроля компенсации гласных и убедившись, что ученик более или менее хорошо с ней справляется, Лабрие отмечал, когда гласная начинает звучать с некоторым «оптимумом легкости». Очевидно, в этот момент ротовая, или глоточная полости, или обе вместе настраивались на определенные гармоники первоначального звука гортани. Во всяком случае, резонанс проявлялся достаточно ярко и мог улавливаться опытным слухом. При малейшем изменении формы полостей резонирование исчезало, и тогда Лабрие отыскивал соседнюю гласную, например более темную, для того чтобы полость настроилась на ближайшую нижнюю гармонику, и останавливал компенсацию на этом тембре.

Лабрие безошибочно находил «компенсацию» для всякого голоса, всякой гласной и на любой тональной высоте. Полученное таким способом улучшенное резонансное состояние он называл вокальной настройкой. Применение метода компенсации гласных требует от педагога хорошей тренировки слуха.

§ 121. Выбор гласных для компенсации по методу Лабрие

Поль Разаве, бывший первый тенор Королевского театра в Брюсселе и Опера-Комик в Париже, в 1933 году удачно подметил, что подбор гласных по методу Лабрие может быть во всех случаях сведен к «вокальному треугольнику» Хеллвага, который был нами рассмотрен в § 35. Мы его снова воспроизводим здесь (рис. 86).

Со времен Штумпфа (1926) известно, что 10 основных гласных этого треугольника имеют глоточные форманты, понижающиеся сверху вниз, и ротовые форманты, понижающиеся слева направо.

Для задержки подъема гортани следует «компенсировать» тембр данной гласной, приближая его к тембру соседней гласной, находящейся справа на той же горизонтальной прямой. Для гласных, находящихся на правой стороне треугольника, следует «компенсировать» тембр, спускаясь по этой стороне вниз.

Наоборот, для активизации подъема гортани следует «компенсировать» данную гласную, передвигаясь влево по горизонтали или же одновременно влево и выше по треугольнику.

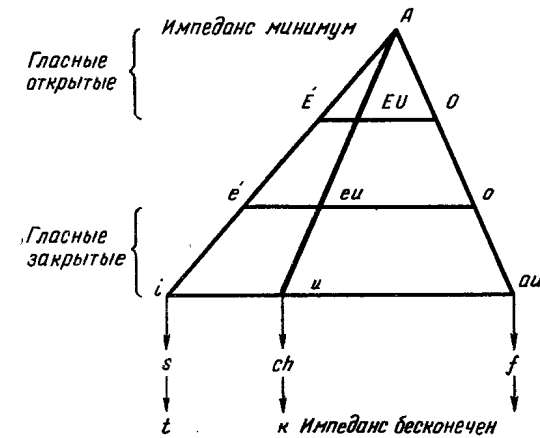


Рис. 86. Вокальный треугольник Хеллвага

§ 122. Физиологические следствия метода Лабрие

Педагогические приемы Лабрие вызывают ряд физиологических явлений, которые, в сущности, и определяют ценность его метода. Рассмотрим три физиологических следствия.

1. «Вокальная настройка» или нахождение «точек» усиленного резонанса всегда дает заметное увеличение приведенного на гортань импеданса (§ 41).

2. Компенсация, осуществленная по вокальному треугольнику Хеллвага в направлении вправо и вниз, тормозящая подъем гортани, создает: увеличение глотки, усиление импеданса, утолщение голосовых связок или поверхности контакта между ними в фазе смыкания, увеличение объема и густоты звука.

Компенсация, осуществленная влево и вверх по вокальному треугольнику, способствующая повышению гортани, вызывает: сокращение глотки, ослабление импеданса, уменьшение поверхности контакта голосовых связок в фазе смыкания, уменьшение объема и густоты певческого звука.

3. Всякая компенсация, происходящая сверху вниз и пересекающая среднюю линию треугольника, соответствует прикрыванию звука. Она сопровождается не только увеличением приведенного к гортани импеданса, но и вызывает изменение мышечных установок и напряжений в гортани, рассмотренных в § 16—20.

Физиологический анализ позволяет сделать следующие выводы: а) вокальные компенсации, произведенные по треугольнику: вниз и вправо, направляют певца в сторону техники второй категории (усиленный импеданс) и способствуют включению двух главных защитных механизмов для голосовых связок (§ 18 и 42).

б) вокальные компенсации, произведенные по треугольнику вверх и влево, направляют певца к технике первой категории с пониженным импедансом и задерживают включение защитных механизмов.

§ 123. Два крайних типа вокальной техники: «темный» голос и «белый» голос

Предшествующий анализ позволяет дать ретроспективную оценку двум крайним типам вокальной техники, применявшимся во Франции во второй половине XIX и первой четверти XX века. Эти крайние типы техники вызвали в свое время бурную полемику. Вернувшись в 1937 году во Францию, Жильбер Дюпре занялся педагогической деятельностью и достиг блестящих успехов в этой области. В Италии он овладел техникой «прикрытия звуков», вытеснившей фальцет, техникой, позволившей ему подготовить ряд певцов с большими и мощными голосами, поражавшими Францию и Германию, — среди них были Шарль-Эмабль Батай и Штокгаузен. С этого времени начались поиски приемов пения, приводящих к так называемому «темному» голосу, то есть к технике второй категории (глава IX) с использованием предельно большого импеданса. Эта техника, благоприятная для больших голосов, господствовала почти полвека, но, очевидно, крайности, утрировки и неудачи вызвали реакцию в противоположном направлении — началось всеобщее увлечение «белым» голосом, то есть техникой первой категории, применяющей слабый импеданс. Из § 84 и 86 известно, что подобная техника непригодна для оперного пения, и ею можно пользоваться без ущерба для голоса, если петь невысоко, несильно, недолго и нечасто. В Парижской консерватории в 1907 году пение «белым» голосом было провозглашено Клерси дю Коллет чуть ли не основной педагогической доктриной. Кажется, в это же время мода на «белый» голос появилась и в Италии, во всяком случае, в эти годы подготовка сильных драматических теноров стала затруднительной, так как предлагаемая техника не позволяла певцам использовать защитные механизмы гортани (§ 18, 42 и 86).

§ 124. Упрощенные методы воздействия на тембр гласных

В § 119 отмечалось, что можно воздействовать на тембр гласных упрощенными методами. Рассмотрим некоторые из них.

1. Стефан де ля Маделен (1830) в своем интересном труде, посвященном вопросам пения, заявлял, что в вокальной работе на гласной *A* взятый звук должен содержать «четыре пятых *A* и одну пятую *O*» и что пропорция *O* должна прогрессивно возрастать с повышением звуков гаммы.

Это явно соответствует включению второго защитного механизма голосовых связок (§ 42).

2. С рекомендацией подобного же рода обращался к певцам и Ж. Дюпре в своей книге «Искусство пения»: «Вокализируя на гласной *A*, не произносите *A*, как в слове *Ami*, а как в слове *Âme*, открывая все горло¹. Это то, что совсем некстати называется во Франции «сомбриванием звука». Итальянцы поют только таким способом и поэтому не употребляют этого термина».

3. Книга об Э. Карузо, написанная его секретарем Пьером Кей, дает глубокий анализ техники, применявшейся знаменитым тенором. Отметим характер указаний, которые можно встретить на многих страницах. Например, дано арпеджио, приписываемое Россини, — оно лежит в пределах между *c* и *g*¹ (*c — e — g — c*¹ — *e*¹ — *g*¹ (*ten*) — *f*¹ — *d*¹ — *h* — *g* — *f* — *d* — *c*). Под каждой нотой этого арпеджио автор обозначил главные смены тембра, употреблявшиеся Карузо в его ежедневных занятиях. Первые три звука арпеджио (*c — e — g*) он пел на округленной гласной *a*; звук *c*¹ исполнялся им на открытой гласной *O*; далее *e*¹ пелось на закрытой гласной *o*, которое переходило в гласную *y* на звуке *g*¹. После ферматы на *g*¹ при движении вниз смена тембра происходила в обратном порядке.

Отсюда видно, что Карузо прикрывал *e*¹ (по крайней мере в своих упражнениях) и постепенно увеличивал импеданс к верхним звукам. Этим энергичным включением двух защитных механизмов голосовых связок (§ 18 и 42) и объясняется то невероятное по силе звучание, которого он достигал. Сила голоса Карузо, как объясняет Амадо, была обусловлена повышенной функцией коры надпочечников.

Глава XIV

МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ВНУТРЕННИЕ ОЩУЩЕНИЯ ПЕВЦА

§ 125. Принцип этих методов

Методы, которые предстоит сейчас рассмотреть, основаны на физиологических явлениях, совершенно не сходных с теми, которые мы описали в двух предшествующих главах. Их принцип следующий: во время пения в голосовом аппарате возникают внутренние ощущения, ясно улавливаемые и точно локализованные, которые мы детально изучили в главе III. Как правило, внутренние ощущения заметно изменяются и по интенсивности и по локализации, сообразно с вокальной техникой поющего, как это было показано в главах VIII, IX и X. Из этого следует, что имеется

¹ В слове *Ami* (друг) *a* произносится «плоско». В слове *Âme* (душа) *a* звучит глубже.

возможность применять ту или иную технику, систематически запоминая ощущения, которые ей соответствуют.

Опыт показывает, что за исключением случаев, на которые мы укажем позже, этот принцип вполне обоснован и ведет действительно к прекрасному самоконтролю над звукообразованием и позволяет по ощущениям видоизменять вокальную технику.

§ 126. Два типа внутренних ощущений

Внутренние ощущения, возникающие во время пения, охватывают обширную «чувствительную клавиатуру», описанную в § 46. Очевидно, не все ощущения могут служить для выработки вокальной техники. Одни имеют рассеянный характер и недостаточно точно локализованы: таковы внутренние ощущения дыхательного происхождения, распространяющиеся на обширную область брюшного пресса (области 8 и 9 на рис. 87).

Другие всегда слабо воспринимаются: это касается ощущений на уровне трахеи и грудной клетки (области 6 и 7 на рис. 87). Наконец, возникают ощущения, локализация которых мало изменяется в зависимости от вокальной техники, например проприоцептивные ощущения на уровне гортани (область 4 на рис. 87).

Ощущения, которыми можно руководствоваться для контроля или управления вокальной техникой, сводятся к двум видам:

а) ощущения интероцептивные нёбные, рассмотренные в § 50;

б) субъективные ощущения направления подачи звука, изученные в § 53.

Каждый из этих видов ощущений подвергался за последние 50 лет тщательным наблюдениям, позволившим сформулировать достаточно четкие предписания и советы, составляющие в совокупности метод воспитания певческого голоса.

По нашему мнению, эти методы в вокальной педагогике являются наиболее полезными и тонкими. Они свидетельствуют о большой наблюдательности и замечательной изобретательности выдающихся певцов и об их стремлении усовершенствовать вокальную педагогику, ограждая ее от опасности непрерывной импровизации.

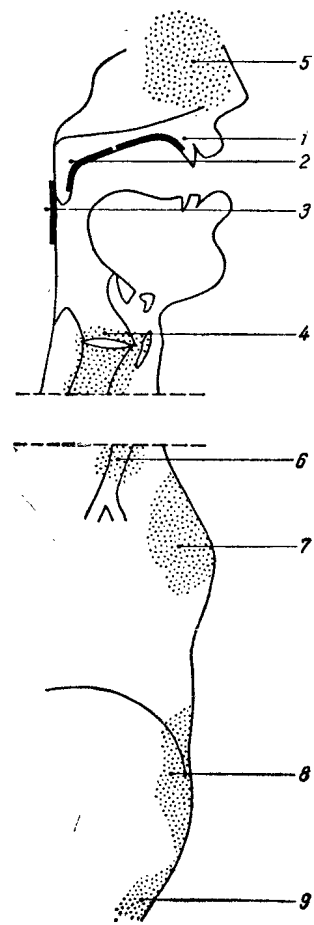


Рис. 87. Области внутренних фокационных ощущений

Наблюдения за интероцептивными нёбными ощущениями привели к двум одинаково ценным педагогическим системам. Одна была создана Жаном Мораном (1924), а другая Эдуардом Руаром и описана в брошюре, изданной в 1929 году. В период 1920—1930 годов они были ведущими баритонами в Гранд-Опера и обладали мощными голосами большого диапазона. Поэтому не следует удивляться сходству их методов и результатов, к которым они приводят.

Изучение и закрепление субъективных ощущений направления подачи звука являются характерными особенностями оригинального метода Лили Леман (1909).

Сейчас мы последовательно рассмотрим методы Морана, Руара и Леман.

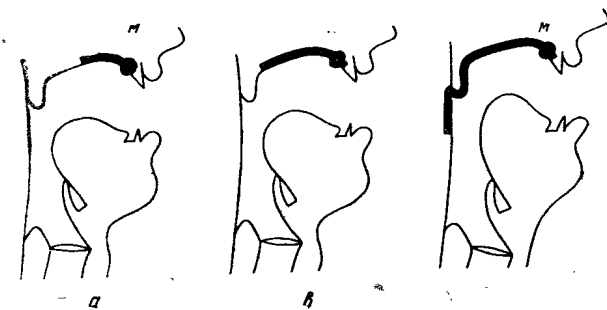
§ 127. Метод Ж. Морана. Устойчивая вибрационная точка в передней части нёба

Ж. Моран наблюдал в 1928 году у себя и у своих коллег из Гранд-Опера в Париже, что при правильном звукообразовании, в пении с полной мощностью, на любой гласной и любой высоте максимум интенсивности внутренних ощущений располагается в определенной и неизменной точке передней части нёба, позади верхних зубов (рис. 88).

Мы проверили тщательно этот факт и дали ему физиологическое объяснение (§ 50). Если, строго говоря, нёбные ощущения несколько изменяются с каждой гласной и соответственно ее высоте, то ощущение максимума остается неизменно локализованным в точке, указанной выше, которую мы и назвали точкой Морана.

Однако это явление наблюдается лишь при вокальной технике второй категории с достаточно сильным приведенным импедансом (глава IX). Если же звукообразование изменяется в сторону техники первой категории с ослабленным импедансом (глава VIII), ощущения, испытываемые в точке Морана, теряют свою интенсивность, приглушаются по мере того, как нёбные ощущения передвигаются назад (рис. 89).

Рис. 88. Расширение нёбной чувствительности по мере приближения перехода на прикрытое звучание. а — d^1 (открытое звучание); б — e^1 (еще открытое); в — g^1 (прикрытое). М — точка максимальной интенсивности ощущений (точка Морана)



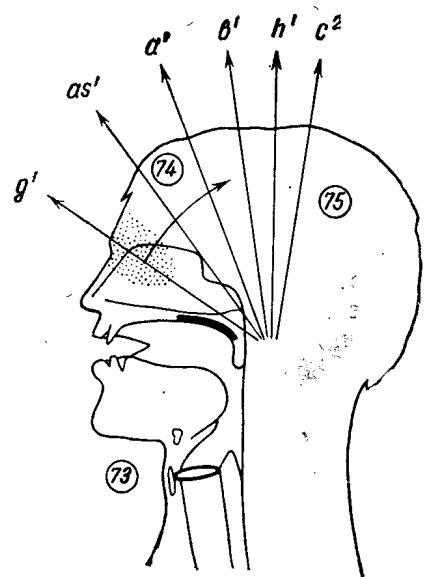


Рис. 89. Схема перемещения внутренних ощущений при технике с очень слабым импедансом

Поэтому поиски и установка точки Морана могут составить метод обучения, направляющий звукообразование к вокальной технике второй категории (глава IX).

§ 128. Практические поиски точки Морана

Поиски точки максимальной чувствительности Ж. Моран осуществлял следующим способом.

Он отыскивал прежде всего желаемую локализацию точки с помощью атаки гласных *Hé* или *Hè* или же при помощи очень легкой назализации на *Hein*. Это делалось на *forte* или *mezzo-forte* на высотах между *g* и *c*¹ для мужчин и *g*¹ и *c*² для женщин. Данные высоты выбраны правильно, так как мы знаем, что на них характерная для этой гласной гармоника легко получает хороший ротовой резонанс.

Найдя точку Морана и хорошо почувствовав ее, ученик должен был упражняться в восходящих и нисходящих гаммах, удерживая на той же гласной неизменную локализацию своих нёбных ощущений.

Выполнив это задание, ученик возвращался к своим исходным высотам, стараясь перевести первоначально выбранную им гласную в другие гласные, сначала близкие к ней, как *EU* или *eu*, затем постепенно в более отдаленные, стремясь строго сохранить в передней части нёба локализацию уловленных им ощущений.

После этого этапа те же гаммы исполнялись на других гласных, причем все так же строго и внимательно удерживалось ощущение в передней части нёба.

Затем изменялась лишь сила звукообразования начиная от *pianissimo* до *fortissimo* и обратно. При этом нужно было сохранять ощущение хорошо локализованной чувствительности. Это первый этап установки вокальной техники второй категории.

Во втором этапе необходимо было связать звукообразование гласных с артикуляцией согласных, стараясь как можно быстрее возвратиться к ведущим вокальным ощущениям, после того как артикуляция некоторых согласных на мгновение разрушила их.

Третий этап состоял в осуществлении всевозможных экспрессивных заданий, связанных с музыкальной интерпретацией данных произведений, требующей иногда больших изменений в окраске звука. Здесь надо было стремиться не слишком удаляться от достигнутых ощущений и возвращаться к ним по мере возможности.

§ 129. Метод Эдуарда Руара — наблюдения за ощущениями губ и рта

Эдуард Руар, партнер Жана Морана на сцене Гранд-Опера между 1920 и 1930 годами, выделялся среди певцов своим бархатным, мощным голосом и выразительной игрой. В 1929 году он издал в Париже небольшую брошюру в 30 страниц, полную очень метких наблюдений над голосом и голосообразованием. В его работе имеется ряд доходчивых и хорошо выполненных рисунков, дающих представление о его внутренних ощущениях в области губ и рта. Описанные им ощущения включают как интероцептивные нёбные передние ощущения (точка Морана), так и лицевые ощущения вибрационного характера (области 5, рис. 47). Однако известно, что порою эти ощущения бывают трудно отделимы друг от друга, так как появляются одновременно и в смежных областях.

Приняв во внимание § 87 и 92, читатель сразу увидит, что описания Эд. Руара характерны для вокальной техники второй категории с сильным импедансом (глава IX).

§ 130. Методы, использующие субъективные ощущения направленности звукообразования. Наблюдения Лили Леман. Субъективная оценка направленности звука у Мадо Робен и других французских оперных певцов

1. Мы отметили (§ 53), что опытный певец испытывает при пении ощущение посылки звука в определенном направлении: прямо перед собой или кверху. В нижнем регистре и в медиуме у всех голосов, приблизительно до прикрытия открытых звуков, субъективная направленность оценивается на всех гласных как горизонтальная. Это связывается с усилением нёбных ощущений (рис. 90). В верхней части диализона, начиная с прикрытия звуков, при условии подъема гортани, сокращение шило-глоточно-гортанных мышц создает субъективные ощущения направленности к темени

(рис. 90). Таким образом, ощущение направленности звука более или менее быстро принимает вертикальное направление (рис. 70). Если же в верхнем регистре гортань не поднимается, то ощущение направленности звуков не изменяется и остается горизонтальным (рис. 90).

Вышеописанные явления приводят к важному выводу: субъективные ощущения изменений направленности звуков при переходе от нижнего регистра к верхнему зависят от вокальной техники певца. Следовательно, в соответствии с теми или иными ощущениями певец и может выбрать желаемую технику.

Припомнив § 87, 88, 92, 93, читатель поймет, что подъем в верхнем регистре направленности звуков к вертикали соответствует технике первой категории — пению со слабым приведенным импедансом, или по крайней мере свидетельствует о том, что певец в верхнем регистре не создает достаточный импеданс и переходит на технику первой категории (рис. 91).

Сохранение в верхнем регистре ощущений горизонтальной направленности звуков соответствует технике второй категории с сильным приведенным импедансом или по крайней мере появлению сильного импеданса в верхнем регистре.

2. Лили Леман является первой и до сих пор единственной певицей, которая обратила внимание на субъективную направленность посыла звуков в пении и дала ей подробное описание в

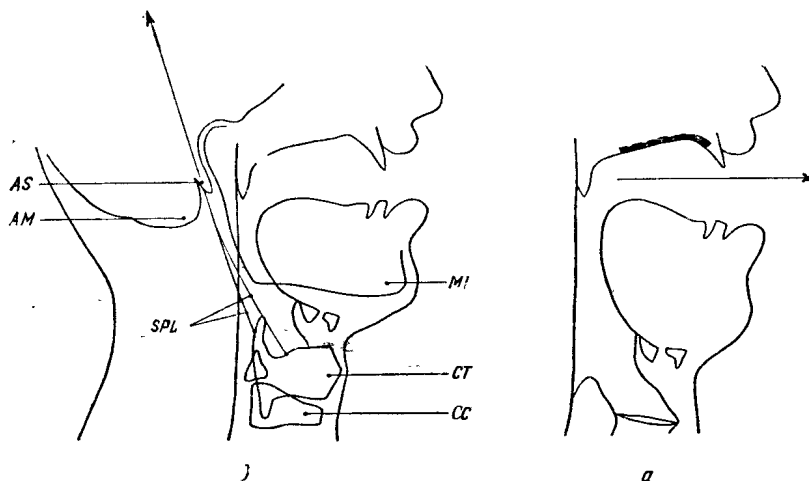


Рис. 90. Субъективная оценка направленности внутренних ощущений. а — низкое положение гортани, воспринимаются в основном небные ощущения, которые проектируются в горизонтальном направлении; б — гортань поднята, сокращение шило-глоточной мышцы *SPL* создает впечатление направленности внутренних ощущений по вертикали; *CT* — щитовидный хрящ; *CC* — перстневидный хрящ; *AM* — сосцевидный отросток; *AS* — шиловидный отросток; *SPL* — шило-глоточная мышца — носит еще название «нижнего сжимателя глотки»

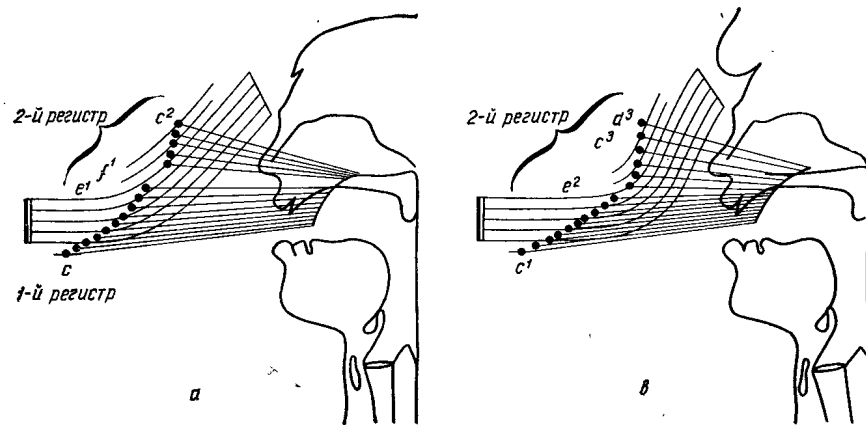


Рис. 91. Субъективная оценка направленности ощущений в первом и втором регистрах при сильном импедансе. а — тенор (первый регистр); б — сопрано (второй регистр)

своем труде «Искусство пения» (1909). Мы приводим здесь главный рисунок из книги Леман (см. рис. 70). Из рисунка видно, что певец пользовался вокальной техникой первой категории со слабым импедансом, становившимся еще более слабым на крайних верхних звуках.

Мне пришлось наблюдать подъем к вертикали ощущений направленности звуков (выше e^2) в следующих женских голосах:

а) у всех необученных певиц, какова бы ни была их tessitura;

б) у многих сопрано, учившихся в современных консерваториях;

в) у всех женских голосов без исключения, обучавшихся у преподавателей, обладающих легкими сопрановыми голосами. § 84 и 88 дают объяснение этим фактам.

3. Мы тщательно изучили изменения субъективной направленности посыла звуков по всему диапазону у наиболее мощных голосов лиц обоего пола, артистов Ассоциации оперных государственных французских театров (1951—1958). Результаты этих наблюдений находятся в полном противоречии с данными, приведенными Лили Леман, и свидетельствуют об использовании большинством певцов вокальной техники, совершенно несхожей с ее техникой. Итоги наших наблюдений следующие:

а) мужские голоса (Жорж Вайан, Рене Бианко, Эрнест Блан, Поль Финель): их посыл звуков — горизонтальный на всем диапазоне, иногда выше прикрытия на piano возникает ощущение подъема звуков к вертикали, исчезающее на forte;

б) женские голоса (Сюзан Жюйоль, Берт Монмар, Симон Кудерк, Рита Горр) — посыл звуков горизонтальный на всем диапазоне, даже в верхнем регистре (рис. 92) и отказ от первого регистра для низов (даже у Риты Горр — крепкое низкое мец-

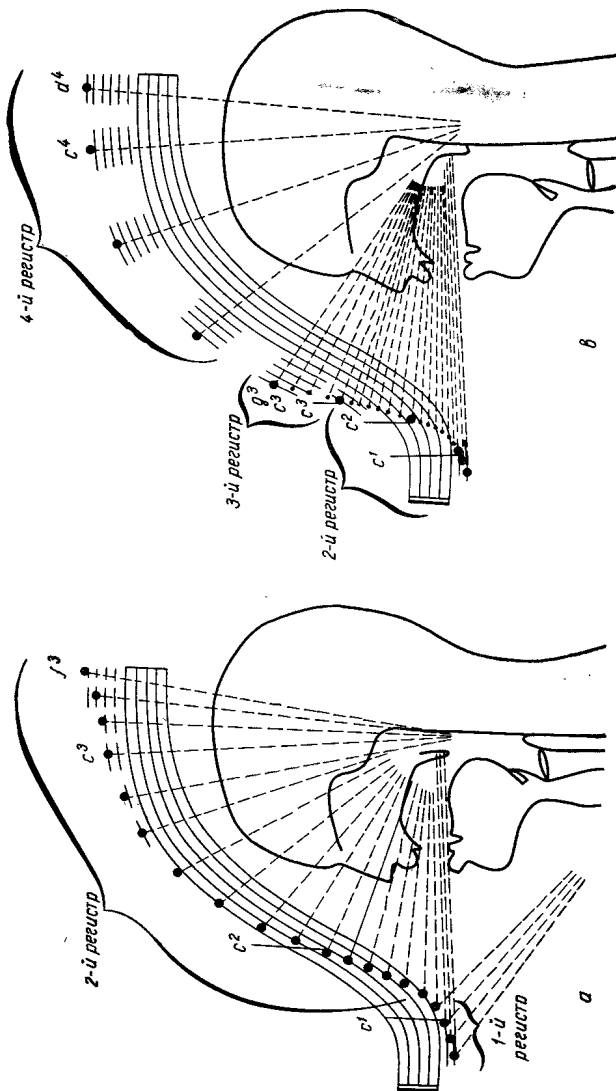


Рис. 92. Распределение внутренних ощущений по всей tessiture женских голосов: а — низкое положение гортани, б — высокое

цо-контральто, с хронаксией возвратного нерва 0,135, см. § 61), тогда как этим регистром пользовалась Лили Леман — высокое сопрано.

Эти результаты показывают, что наблюдения происходили над певцами, обладающими вокальной техникой второй категории с сильным импедансом, соответствующей исполняющемуся ими репертуару в помещении колоссальных размеров (Гранд-Опера).

4. У Мадо Робен, обладавшей высочайшим сопрано и четвертым регистром, достигавшим d^4 (§ 15 и 73), распределение внутренних ощущений отличается еще более резко от картины, нарисованной Лили Леман. Робен берет c^3 , посылая звук строго горизонтально и сохраняя это направление для всех звуков третьего регистра, включая и a^3 . Лишь в четвертом регистре она изменяет направление в сторону вертикали (рис. 92). Томограммы А. Джиа-на показали, каким образом Мадо Робен достигает вершины своего диапазона: она начинает петь с очень низким положением гортани, понижая ее при восходящей гамме до e^2 , затем удерживает ее до g^3 и дает ей подняться лишь в четвертом регистре. Мы имеем здесь совершенный пример вокальной техники второй категории, которая сходна с техникой наших баритонов из Гранд-Опера. Интересно отметить, что Мадо Робен никогда не училась ни в какой консерватории.

§ 131. Заключительные замечания о методах, основанных на личной оценке внутренних певческих ощущений

Вышеописанные методы, несомненно представляющие теоретический интерес, на практике имеют свои слабые стороны, которые следует отметить. В начале своего вокального обучения певец не воспринимает или же воспринимает очень плохо свои внутренние ощущения. Чтобы их хорошо воспринимать, нужна постепенная тренировка, а для этого требуется время и внимательное самонаблюдение.

Время, необходимое певцу для выработки правильных оценок своих ощущений, как раз совпадает со временем, в течение которого формируется вся вокально-телесная схема, то есть около трех-четырех лет, что и подтверждается практикой. Впрочем, сроки формирования правильного восприятия и оценки ощущений зависят от их природы.

1. Ощущения интероцептивные воспринимаются раньше других и могут хорошо оцениваться по прошествии одного года. Следовательно, методами Ж. Морана и Э. Руара можно пользоваться уже после года обучения.

2. Ощущения проприоцептивные требуют большего срока для их восприятия. Только по истечении трех-четырех лет обучения изменения субъективных ощущений направленности посыла звуков достаточно определено оцениваются поющим.

Что же касается вполне сформировавшихся певцов, то эти методы могут оказать им неоценимую услугу как для оценки, так и для исправления своей вокальной техники.

МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНУЮ НАСТРОЙКУ ПЕВЦА

§ 132. Общий принцип этих методов

Методы, которые нам предстоит изучить в данной главе, можно в какой-то мере рассматривать как частный случай систем, описанных в главе XIII, где основным механизмом являлось воздействие на тембр гласных. Но здесь это воздействие производится не путем простого акустического изменения окраски гласных, а достигается указаниями, побуждающими ученика решать определенную задачу выразительности. Путем внутренних волевых приказов певец должен вызывать в себе определенное эмоциональное состояние, которое, как предполагается, в свою очередь может создать желаемую окраску гласных. Эти методы не лишены оригинальности, и поэтому мы их рассматриваем особо.

Отметим, что в основе их лежит правильный принцип. У каждого хорошо обученного певца, владеющего вокальной и исполнительской техникой, экспрессивное намерение, психологически прочувствованное, вызывает автоматически приспособление гортанного тонуса, а также изменение форм ротоглоточных полостей, что в свою очередь влечет изменение окраски гласных в соответствии с желаемой экспрессией. Кроме того, эти вокальные экспрессивные изменения сопровождаются соответственной лицевой мимикой. Мы здесь, таким образом, имеем теоретически обоснованный прием, для того чтобы воздействовать на тембр певца в определенном направлении.

Уточним, однако, сразу, что он эффективен в полной мере лишь с хорошо обученными певцами как с точки зрения исполнительской, так и вокальной техники. Нам придется еще вернуться к этому вопросу в § 134.

Подобные методы никогда не находили широкого применения: возможно, потому, что педагогам было трудно в отведенное время совмещать обучение пению с обучением эмоциональной выразительности.

Существуют тем не менее педагоги, которые издавна пользуются экспрессивными вокализациями и получают хорошие результаты, способствующие облегчению звукообразования.

Методы эмоциональной настройки, однако, имели своего теоретика в лице Рауля Дюамеля, который в 1929 году в сотрудничестве с Л. Фюжером написал руководство по применению приемов выразительности. По мнению авторов, эти методы обладают исключительной ценностью. Сделаем по этому поводу некоторые замечания.

§ 133. Педагогические приемы Рауля Дюамеля (1929)

Рауль Дюамель прежде всего заявляет, что голос по своей природе связан с эмоциональными проявлениями человека, — филогенез это действительно подтверждает. Отсюда он делает вывод, что первым существенным качеством голоса служит его эмоциональная окраска. Но эмоциональная «клавиатура» певца, утверждает Дюамель, является одновременно мимической и вокальной, петь — значит проявлять эмоцию и жестом и словом. Отсюда он делает вывод: «Хороший певец в действительности — специализированный мим. Без мимики вокальное искусство невозможно». И добавляет: «Выразительность должна быть не случайностью, а постоянной необходимостью. Только она может управлять всей работой певца».

Развивая свои мысли, Дюамель приходит к выводу, что глаза и рот лучше всего отражают эмоции певца, но особое внимание уделяет рту. По его мнению, форма рта должна находиться под непрерывным и тщательным наблюдением педагога. Он также утверждает, что все окраски голоса зависят главным образом от формы рта, а чувства сводятся к трем основным категориям: удивление, радость и страдание. Отсюда он выводит три формы раскрытия рта и соответственно три эмоциональные окраски, которые должны быть признаны основными. Эти три типа выразительности, по мнению автора, должны отрабатываться отдельно на вполне определенных гласных и даже с подходящими согласными. Очевидно, что на основе некоторых правильных идей возникла сомнительная систематизация.

§ 134. Критика методов этого типа

Рассмотренный метод Дюамеля по существу касается не вокальной техники, а относится к выработке приемов выразительности, что, конечно, не одно и то же.

Опыт показывает, что у одного и того же певца вокальная техника и техника выразительности могут быть разобщены, так как требуют различных нервно-двигательных приспособлений. Действительно, существуют голоса, прекрасные с точки зрения вокальной техники, отвечающие требованиям диапазона, силы, тембра и неустойчивости, но которые, однако, ничего не выражают. И существуют также певцы, наделенные огромной выразительностью, но с незначительными вокальными данными и техникой настолько несовершенной, что два-три романа вызывают у них утомление. К тому же в начале вокального обучения ученик редко владеет средствами выразительности, и, таким образом, расчеты на их применение для постановки вокальной техники являются крайне иллюзорными.

Метод Дюамеля в сущности является методом экспрессивной техники, интересным и изобретательным (но далеко не единственным). В этом аспекте он может оказать большую пользу, и думается даже, что обучение пению во Франции не использовало его в должной мере.

При критическом подходе к идеям Дюамеля все же не следует упускать из вида, что у певца, хорошо овладевшего как вокальной, так и экспрессивной техникой, последняя может оказывать сильное воздействие на первую. Это важное физиологическое явление сейчас будет рассмотрено.

§ 135. Воздействие выразительности на звукообразование у профессионального певца. Работа Ж. Вайана (1954)

В октябре 1954 года мы просили Жоржа Вайана, первого баса-кантанта Гранд-Опера, изучить на себе и своих партнерах во время оперных спектаклей воздействие на звукообразование тех сильных эмоциональных порывов, которые развиваются у певца в процессе исполнительского творчества.

Ввиду субъективного и мимолетного характера наблюдаемых явлений потребовалось составить очень строгую рабочую программу, которую Жорж Вайан с готовностью выполнил и дал полное описание своих наблюдений.

«Наблюдения проводились во время спектаклей Гранд-Опера и Опера-Комик зимой 1954—1955 года. Были получены интересные данные, единственные в своем роде и ценные уже потому, что давали ответ на определенную исследовательскую программу. Мы приводим здесь полностью выводы, сделанные Вайаном. Поэтому передаем перо этому блестящему артисту: «С точки зрения наших исследований, видимо, можно говорить только о двух типах аффективных¹ состояний певца: стимулирующих и депрессивных, независимо от причины их возникновения.

Все стимулирующие состояния дают одинаковый вокальный результат, также все депрессивные состояния приводят к одному результату, но его характер, как правило, противоположен воздействию стимулирующих состояний.

1. *Воздействие на артикуляцию.* Артикуляция более свободная и четкая при стимулирующих состояниях и вялая в депрессивных состояниях.

Я ставил перед собой вопрос, затрагивают ли рассматриваемые состояния одни согласные сильнее, чем другие.

Оказалось, что в обоих случаях все согласные подвергаются изменениям. Однако стимулирующее действие сказывается особенно на взрывных (*P, T, K*), тогда как депрессивное действие ощущается больше на фрикативных согласных (*F, V, S*).

Наконец, согласная *R* (горловая) в обоих случаях подвергалась наибольшим изменениям. Возможно, это объясняется тем, что артикуляция *R* требует мобилизации довольно обширной группы мышц.

2. *Воздействие на тембр гласных.* При стимулирующих состояниях тембр голоса становится блестящим и преимущественно светлым.

В состояниях депрессивных тембр вуалируется, и для поддержания его блеска требуется усиление опоры дыхания. Это двойное действие для певца очень заметно.

3. *Воздействие на тембр открытых гласных при переходе на прикрытые звуки.* Открытый звук *es*¹ для баса-кантанта всегда представляет некоторую вокальную трудность, так как требует очень стойкой опоры дыхания. Такое звукообразование бывает очень облегчено при стимулирующих переходах и затруднено в состояниях депрессии.

Все рассматриваемые явления еще более заметны на прикрытых звуках сразу после перехода: так, *f*¹ всегда более тембристо и легче берется в состоянии экзальтации, чем в состояниях, порождающих печаль.

Известно, когда некоторые певцы по каким-либо причинам не в голосе и замечают, что верхние звуки утратили обычный блеск, они на мгновение заставляют себя ощутить состояние гнева, чтобы при помощи аффекта восстановить свой тембр. Таков прекрасный пример психической активизации блеска голоса посредством мгновенного экспрессивного воздействия.

4. *Воздействие на локализацию передних нёбных ощущений на открытых гласных.* Певец очень точно оценивает ротоглоточные ощущения, особенно те, которые он локализует в нёбе непосредственно позади верхних зубов.

По ним он расценивает качество своего собственного голоса. В стимулирующих состояниях эти передние нёбные ощущения очень четко и хорошо воспринимаются и кажутся более интенсивными. В состояниях, порождающих депрессию, они теряют интенсивность и порою исчезают. В таких случаях певец принуждает изменить свое голосообразование, чтобы избежать этой потери привычных ощущений, нарушающих общую постановку голоса. Перемена эта большей частью происходит автоматически, однако далеко не всегда.

5. *Воздействие на дыхание.* Последнее наблюдение сводится к следующему: состояние аффекта изменяет всецело общую активизацию дыхания во время пения. Это явление очень важное. В состоянии экзальтации вдох бывает очень легким, быстрым и свободным. Он проходит незаметно, и действия выдыхательные также сильно облегчены.

¹ Аффект — нервно-психическое возбуждение с утратой волевого контроля.

В состоянии депрессии получается наоборот, вдох кажется загроможденным и требует порою сознательного волевого усилия; чтобы вдохнуть достаточное количество воздуха. И, наконец, выдыхательные движения требуют более интенсивного и неослабевающего волевого воздействия.

6. *Замечания общего характера.* Я закончу на этом перечень наблюдений, полученных до настоящего времени, и добавлю к ним лишь три замечания общего характера. Прежде всего, я говорил об аффективных состояниях, но не о настоящих эмоциях.

Когда при пении возникает настоящая эмоция (а это иногда бывает), то она, по-видимому, всегда оказывает депрессивное или тормозящее действие.

Но, вообще говоря, трудно разграничить сильное аффективное состояние и начало истинной эмоции. Видимо, можно рассматривать безоговорочно лишь воздействие стимулирующих и депрессивных эмоций, принимая во внимание, что при слишком сильной эмоции все явления в корне изменяются.

Второе замечание: я нередко спрашивал себя, являются ли аффективные состояния, вызванные экспрессивными намерениями, теми же самыми, которые возникают неожиданно под влиянием случайных внешних стимуляций.

На это я могу ответить, что в отношении вокальных проявлений ничто не отличает их друг от друга.

Певец иногда перед выходом на сцену испытывает совершенно произвольно различные аффективные шоки, но их воздействие на голос певца будет совершенно идентично с воздействием, которое он мог бы создать сам собственными волевыми экспрессивными намерениями. Единственная разница только в том, что первые могут быть длительными, тогда как вторые улетучиваются вместе с породившим их волевым усилием.

Наконец, последнее замечание: аффективные состояния, которые актер с экспрессивной целью развивает в себе усилием собственной воли, всегда порождают огромную усталость.

Эта усталость не вокального происхождения, но нечто совсем иное. Она вызывает какое-то очень глубокое расслабление, близкое к состоянию сонливости.

Следует отметить еще характерный факт: если певец перед выходом на сцену находится в состоянии печали или беспокойства, то он уже не может заставить себя «перевоплотиться в своего героя», то есть вызвать в себе необходимое условное аффективное состояние.

Все эти факты убедительно показывают, насколько фонация и особенно оперное пение находятся в тесной зависимости от некоторых состояний центральной нервной системы, а именно от смены того, что называется «настроением», и тех явлений, которые так хорошо были изучены профессором Сулераком и Жаном Делей.

* * *

Мы сочли нужным воспроизвести здесь детально интересные выводы, сделанные Ж. Вайаном.

Трудно сказать, в какой мере рассмотренные факты могут послужить основой для создания рационального метода воспитания голоса при помощи естественной или искусственно созданной выразительности. Несомненно, однако, то, что певец, обученный как с точки зрения экспрессии, так и вокальной техники, может почерпнуть здесь те сведения, которые будут полезными в его практической деятельности.

Отметим, что работа Жоржа Вайана служит примером плодотворных результатов сотрудничества артистов с учеными.

§ 136. О методе Пьера Бонье (1907)

Доктор Пьер Бонье, эрудированный ларинголог, руководитель ларингологической клиники Отель-Дье, автор многочисленных трудов, в начале нашего столетия сделал попытку создать новый метод воспитания певческого голоса. В своих работах он также рекомендовал певцу использовать волевые приказы или намерения, но уже не с целью вызвать в себе определенное эмоциональное состояние, а непосредственно привести в действие мышечные и двигательные установки. Он советовал певцу ставить себе цель петь на заранее намеченное расстояние, которое он называл «голосовым посылом». По его мнению, этот «посыл» должен был способствовать овладению вокальной техникой.

К сожалению, Бонье весьма неудачно выражал свои мысли, как, например: «Посылайте ваш голос на 30 метров», «Ищите опору вашего голоса там, куда он должен прийти», «Опирайте ваш голос в глубине зала!». Подобные формулировки сделались предметом нападок поверхностной критики, незаслуженно дискредитировавшей труд серьезного ученого.

Фактически указания, даваемые Бонье, действительно вызывают различные перестройки в голосовом аппарате, которые легко обнаружить: более глубокий вдох, усиление брюшного пресса, повышение гортанного тонуса, изменение формы рта, способствующее распространению звуковых волн. Все это, конечно, не дает основания утверждать, что голос летит на 30 или 40 метров, но и сам Бонье, вероятно, считал подобные указания лишь образными выражениями.

Однако следует сказать, что различные двигательные приспособления для увеличения полетности голоса правильно реализуются только у хорошо обученных певцов, как было отмечено в § 134. У начинающего певца как двигательные, так и экспрессивные намерения ничего не вызывают, они могут принести некоторую пользу лишь обученному певцу.

МЕТОДЫ, ИСПОЛЗУЮЩИЕ ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ СЛУХОВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

§ 137. Общий принцип этих методов

Последняя группа педагогических методов пользуется физиологическим механизмом, педагогическое применение которого мы пока еще не встречали, механизмом, скажем сразу, всецело рефлекторным и, следовательно, практически воздействию воли субъекта не подлежащим.

Этот механизм состоит из комплекса обратных связей, передаваемых нейрологическим путем, посредством слуховых стимулов, доходящих до исполнителя во время пения. Мы уже дали пространственный и детальный разбор этого механизма в § 55. В простейшей форме механизм слуховой стимуляции иногда находил применение в певческой практике: за 5 минут до выхода на сцену певец затыкает уши двумя тампонами ваты, которые он снимает тотчас перед выходом. Получается временная слуховая гиперстимуляция, усиливающая блеск голоса. Прием этот безвреден, но не может быть, однако, специально рекомендован.

§ 138. Первые результаты, описанные А. Томатисом (1954)

Опыты А. Томатиса были поставлены следующим образом: певец пел перед микрофоном (рис. 93), его голос поступал в усилитель с фильтрами, которые могли подавлять обертоны, лежащие выше 500 кол/сек, или, по желанию, все обертоны, лежащие ниже 2000 кол/сек; усиленный голос певца с измененным спектральным составом через головные телефоны возвращался к певцу и стимулировал его слух.

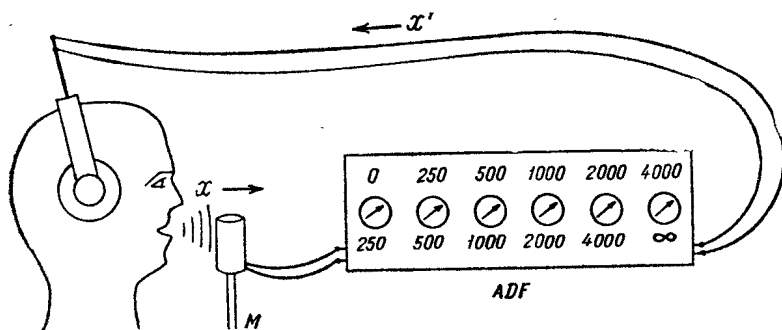


Рис. 93. Схема установки А. Томатиса, позволяющая подавлять или усиливать различные полосы частот певческого спектра

Опыты дали следующие результаты:

а) после подавления всего вокального спектра выше 500 кол/сек голос звучит приглушенно, высокие гармоники сильно ослаблены, звукообразование затруднено, певец задыхается;

б) после подавления всего вокального спектра ниже 2000 кол/сек голос становится блестящим, носким, высокие гармоники усилены, голосообразование облегчено, и певец легко управляет дыханием.

Мы долго проверяли эти факты в 1956—1957 годах и убедились, что они строго достоверны. В § 55 мы дали детальное физиологическое объяснение этого явления при помощи схемы внутренних ощущений певца.

§ 139. Вторые результаты, описанные А. Томатисом (1957)

В 1957 году Томатис дает результаты более систематические. Он устанавливает прямую зависимость между частотой подавленной (естественно или искусственно) и не достигающей слуха поющего и полосой частот, которая автоматически подавляется в голосе певца. Эти полосы, видимо, всегда тождественны. Полученный результат может быть так кратко сформулирован: «Голос певца содержит только то, что воспринимает его слух».

В последней своей публикации этот автор пошел еще дальше, указывая, что у всякого человека аудиограмма, показывающая чувствительность слуха к различным частотам, в конце концов начинает походить на спектральный состав обертонов его голоса. Всякое понижение чувствительности слуха в какой-либо полосе частот автоматически вызывает соответствующее ослабление обертонов певческого спектра в той же полосе частот.

Этот последний вывод Томатиса остался, однако, до настоящего времени ничем не подтвержденным. Кроме того, приведенная выше формула, утверждающая, что голос содержит только то, что слышит ухо, не должна быть принята буквально: совершенно глухой человек, например, не в состоянии был бы издать какой-либо звук. Однако известно, что имеются глухие, которые даже говорят, и мы знали одного оперного баритона, 76 лет, у которого катастрофически повысился слуховой порог начиная с 1500 кол/сек, тем не менее при этой потере слуха его голос сохранил огромную полноту и блеск.

Эти замечания не снижают интереса к работам А. Томатиса хотя бы в пределах идей, изложенных в § 138.

§ 140. Теоретически возможный метод вокального воспитания по А. Томатису

Вторые результаты А. Томатиса указали на существование функциональной связи между чувствительностью уха к различным частотам и присутствием в голосе соответствующих им обертонов.

Отметим, что связь эта сама по себе включает метод вокального воспитания, который А. Томатис, будучи последовательным, не замедлил предложить.

Метод этот состоит в следующем: при помощи системы акустических фильтров спектр певческого звука изменяется в желаемом направлении, а затем при помощи головных телефонов снова возвращается к уху певца. В результате такого воздействия на слух соответственно изменяется как первоначальный спектр звуков гортани, так и голос певца. Следовательно, оказывается возможным изменять в нужном направлении голос певца и его вокальную технику.

А. Томатис, склонный к преувеличенным формулировкам, схематизировал свой метод следующим образом: «Если я создам у певца слух Карузо, то тем самым дам ему голос Карузо» (это сказано, конечно, лишь в отношении тембра).

Не ставя здесь под сомнение принцип этого метода и его экспериментальное подтверждение, сделаем все же следующее замечание: для каждого данного субъекта важно не награждение его тембром Карузо или какого-либо другого певца, а приобретение им тембра, который лучше всего соответствовал бы строению его собственной гортани и ротоглоточных полостей. Если бы в мире нашлся «второй Карузо», тождественный «первому», то, вероятно, ему полезно было бы предложить тембр «Карузо номер один». Но едва ли разумно певцу, гортань которого не походит на гортань Карузо и ротоглоточная полость совершенно отлична от полости знаменитого неаполитанца, навязывать рефлекторно-слуховым путем вокальные характеристики, быть может не соответствующие и недопустимые для его конституции. Безрассудно и, возможно, небезопасно!

Это замечание отнюдь не является критикой метода А. Томатиса в целом, но скорее предупреждением против необдуманного его применения.

§ 141. Семейный вокальный миметизм¹

Интерес к работам А. Томатиса не ограничивается разработкой упомянутого метода рефлекторного воздействия на тембр субъекта. Он объясняет множество явлений давно известных, но причины которых оставались неясными. Так обстоит дело, например, с семейным вокальным миметизмом — явлением, при котором ребенок (сын или дочь) обнаруживает поразительное сходство своего вокального тембра с тембром родителей. Благодаря наследственности у детей может возникать анатомо-физиологическая конституция голосовых органов, близкая к конституции родителей, и это будет способствовать сходному звучанию голосов родителей и де-

¹ От греч. *mimētēs* — подражатель.

тей. На этой благоприятной основе обратные слуховые связи могут действовать годами и приводить к поразительному сходству тембров.

§ 142. Обратные слуховые связи и роль подражания в преподавании пения

Другой пример воздействия обратных слуховых связей давно известен, это — облегчающая роль голосовых показов в деле певческого преподавания.

В этом случае условия применения обратного слухового воздействия менее благоприятны, чем в случае семейного миметизма. Однако когда преподаватель и ученик обладают одинаковым диапазоном и сходным тембром (по силе и густоте), показ голосом оказывается весьма полезным, он вызывает очень заметные облегчающие движения в голосовом аппарате ученика. Мы не имеем в виду подражание — имитацию, ее нельзя рекомендовать, так как часто она действует пагубно. Мы говорим о тех облегчающих движениях, которые бывают вызваны у ученика слуховым представлением о перемене соответствующего тембра.

Освоение прикрытия звуков всегда облегчается, если ученик на слух улавливает необходимую перемену тембра, происходящую при правильном прикрытии. Прикрытие звука является основным механизмом певческого звукообразования (§ 18) и требует от педагогов вдумчивого к нему отношения.

При удачном подборе соответствующих образцов способ подражания может облегчить ученику достижение верхних пределов своего диапазона. Примером может служить Мадо Робен, которая в 17 лет, неожиданно для себя, впервые взяла g^3 в третьем регистре, подражая одной из своих однокурсниц. Слуховой стимул послужил здесь вспомогательным средством, которое встретило подходящую индивидуальную конституцию.

§ 143. О воспитании тембрального слуха певца

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что воспитание слуха певца в отношении вокального тембра является делом первостепенной важности, которым нельзя пренебрегать.

Разумеется, хорошо, когда у певца достаточно развит звуковысотный слух, но еще лучше, когда он также развит и в отношении нюансов вокального тембра. Если певец контролирует каждое мгновение характер своего звукообразования по внутренним ощущениям, составляющим его вокально-телесную схему, то на слух он воспринимает и тембр своего голоса, по крайней мере в отношении общей окраски, густоты и блеска. Привыкнув к данному тембру, он будет к нему стремиться, приводя в действие механизмы слуховых обратных связей. Этим объясняется трудность

изменения вокальной техники у певца, не воспринимающего те изменения тембра, которые преподаватель пытается у него вызвать.

Итак, певец должен избегать слушать голоса с плохой техникой и стремиться слушать тех певцов, голоса которых соответствуют его голосу и технике. Прочитав о значении обратных слуховых связей (§ 55), певец поймет, насколько может выиграть его собственное пение от включения в действие тонких нейрологических механизмов, при помощи которых внутренние ощущения, связанные с тембром, управляют тонусом гортани и ротоглоточными установками. Эта деятельность находится вне контроля сознания, но ее значение певец сможет оценить лишь в процессе своей певческой практики.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

ВСТУПЛЕНИЕ

О некоторых особенностях явлений фонации у человека

Изучение явлений фонации у человека наталкивается на специфические трудности, связанные с вибрационным характером процессов и анатомическими рамками, в которых они развертываются. Прежде чем изучать эти явления *in vivo*, необходимо хорошо проанализировать некоторые факты.

В первую очередь отметим, что не существует органов, которые в строгом смысле можно было бы называть органами фонации.

Если у человека существует специальный орган зрения, предназначенный только для зрения, если в ухе имеется сложное анатомическое устройство, предназначенное только для слуха, то нет ничего, созданного специально для голосообразования. Все органы, участвующие в фонации, предназначены для первоочередных и более важных функций человеческого организма: фонации они служат как бы случайно и выполняют дополнительную, вторичную функцию. Из этого следует, что они имеют собственную нефонационную физиологию, которая зачастую маскирует и даже нарушает вторичную физиологию фонации. Гортань, которая служит вибратором, не является исключением из правила, ее основная роль — это дыхание и защита легких. На втором месте стоит функция замыкания гортани, которая после вдоха обеспечивает фиксацию и устойчивость грудной клетки, необходимые для действия верхних конечностей. И лишь на третьем месте стоит функция гортани как звукообразующего органа.

Все это очень хорошо освещено филогенезом¹: звукообразующая функция гортани появляется последней, и замечательные исследования анатомии и физиологии звукообразования Негуса это подтверждают. Звукообразующая функция гортани связана с образом жизни некоторых животных и появилась в результате специальной организации нервных центров. Фонация возникла как вторичное функциональное приспособление, добавленное, навязанное, более или менее быстро, анатомии и морфологии, ранее не

¹ Филогенез — учение о развитии какого-либо вида в течение всего времени существования жизни на земле. Онтогенез — индивидуальное развитие живого существа, охватывающее все изменения от стадии оплодотворения яйца.

предназначавшееся для нее. Совокупность так называемых звукообразующих органов: легкие, гортань, надгортанные полости — не представляет, таким образом, органа чувственного или двигательного, приспособленного специально для звукообразования, а лишь является чувственно-двигательной ассоциацией, используемой при необходимости для целей звукообразования, и все это благодаря нервным связям, дополняющим основную анатомическую структуру.

То, что у человека есть специфически фонационный, относится, по-видимому, к некоторым участкам центральной нервной системы и, возможно, к ее специализации. Впрочем, мускульная система гортани собаки и обезьяны идентична человеческой, однако они не говорят, не модулируют, не поют. Человек же способен производить своей гортанью только шум; поет он и говорит только посредством своего мозга.

Эта основная, существенная идея может показаться банальной. В то же время нужно заметить, что она никогда не выдвигалась в достаточной мере на первый план в исследованиях по физиологии фонации, для которой, как будет здесь показано, она имеет большое значение. Важные следствия, вытекающие из этой идеи, будут рассмотрены в дальнейшем.

Фонационная неспецифичность органов, называемых звукообразующими, объясняет их слабую энергетическую производительность и отдачу звуковой энергии, как я указал в 1937 году после Мейера. Большая часть механической энергии, расходуемой на уровне гортани, передается хрящевой коробкой гортани грудному и лицевому скелету и им поглощается. Кроме того, значительная часть энергии поглощается перегородками ротоглоточного резонатора, расходуется на питание различных аэродинамических вихрей («турбулентных» или беспорядочных движений), задерживается полостями, плохо или вовсе не передающими энергию внешней звуковой волне (лицо и носовые полости).

Но эта рассеянная колебательная энергия, потерянная для внешней звуковой волны, играет особенную и физиологически важную роль: во-первых, она питает внутренние ощущения поющего, которыми он регулирует качество своего исполнения, и, во-вторых, она является возбудителем многочисленных интеро- и проприоцептивных стимуляторов, приводящих в действие мускулатуру гортани (я покажу это в дальнейшем); таким образом, можно сказать несколько парадоксально, что эта рассеянная энергия выполняет более важную роль в физиологии фонации, чем та, которая доходит до слушателя.

Второе обстоятельство связано с дыхательным путем: органы, занимающиеся фонацией, исполняют по меньшей мере двойную функцию, вокальную и дыхательную, пользуясь в то же время единой и неделимой иннервацией. В этом лежит причина многочисленных и сложных явлений, в которых участок физиологии чисто фонационный трудно поддается анализу и зачастую вступает в функциональное противоречие с физиологией дыхания.

Эти противоречия отмечались уже давно, и Лермуайе часто настаивал в прошлом столетии на антагонизме этих функций: на физиологическом антагонизме, так как вдыхание не может иметь места, как только гортань принимает положения для фонации, и антагонизме патологическом, так как болезни дыхания могут быть далеки от того, что называется афонией.

Но все же мы еще раз подчеркнем: лучшая фонация требует наилучшего смыкания нёбной занавески и задней стенки глотки, в то время как вдох через рот является худшим по сравнению с носовым дыханием; сжатие глоточного сфинктера¹, которое обычно сопутствует сжатию сфинктера гортани, препятствует эмиссии высоких звуков; наилучшая эмиссия² звука требует освобождения мускулатуры, поднимающей нижнюю челюсть, в то время как эта мускулатура стремится сокращаться вместе с мышцами гортани (П. Разаве) и т. д. Исходя из этого, можно предполагать, что воспитание голоса должно разрушить большое количество связей, существующих от природы, или создать новые, которые будут введены в действие во время фонации.

Нужно отметить, что дыхание во время пения значительно отличается от свободного дыхания. Если свободное дыхание находится под контролем продолговатого мозга и, возможно, во время сна даже более низких уровней центральной нервной системы, то дыхание во время пения требует активности мозговой коры. Особенно обнаруживается это различие в фазе дыхания. Из простой задержки свободного дыхания нервная деятельность, которая руководит фонационным выдохом, становится произвольной, корковой и значительно контролируемой. Обычные «способы дыхания» не подходят для пения, где необходимые выдыхательные действия направлены в основном на поддержание подвязочного давления. Следовательно, как уже наблюдал Работнов, нервные координации дыхания при пении совершенно отличны от нервных координаций при свободном дыхании. Так же общеизвестно, что в начале занятий по постановке голоса вторые иногда препятствуют образованию первых.

Наконец, в силу того что гортань первоначально зависима от дыхательного аппарата, она является также местом завершения множества рефлекторных действий, имеющих своей отправной точкой всю слизистую оболочку дыхательных путей, как носовых и придаточных полостей, так и ротоглоточных, гортанных и бронхолегочных, — рефлекторных действий, которые то расслабляют, то сокращают мышцы. Некоторые из этих действий следуют по пути симпатической нервной системы и воздействуют на мускулатуру собственно гортани. Я буду иметь возможность изучить одно из этих явлений, которое обуславливает на некоторых участках тесноты чувствительные изменения положения в общей статике мус-

¹ Сфинктер — кольцевидные мышцы, сжимающие отверстие.

² Под словом «эмиссия» в данном и последующих случаях подразумевается фонация.

кулов сфинктера гортани (переходы от e^1 у мужчин и от e^2 у женщин). Многочисленность и разнообразие этих рефлекторных действий, то возбуждающих, то тормозящих, вокальный отзвук которых является более или менее значительным, сильно осложняет изучение чисто звуковой физиологии так называемых звукообразующих органов дыхательного устройства, причем эти рефлекторные действия ни в коей мере не могут быть игнорированы или оставлены в стороне.

Другой источник осложнений проистекает из того, что филогенетически развитие звукообразующей функции — во всяком случае у высших млекопитающих — происходило под контролем слуха. Отсюда наличие определенных связей, особенно тесных у человека, между физиологией собственно гортанного вибратора и физиологией внутреннего уха.

Из этих связей следует целая серия физиолого-акустических фактов, из которых сейчас рассмотрим только два:

а) звуки гласных, как это уже отмечали Безольд и Надолечный, видимо, формировались посредством подражания и приспособления к звукам природы, которые лучше всего воспринимались слухом. Поэтому многие звуки слышатся нам в акустической близости к определенным гласным. Так, например, звук пилы вызывает у нас представление о гласной *i*, стук в дверь напоминает гласную *o* и т. д. Не удивительно, что опыты по синтезу гласных всегда будут давать положительный результат. Будем ли мы для этой цели пользоваться резонаторами, сиренами, как это делал Мараж, или же электрическим способом, по методу Кухарского, производить двойные форманты, — всегда будет получаться достаточно близкая имитация гласных;

б) ухудшение слухового восприятия каких-либо звуковых частот отражается на колебаниях голосовых связок, а в некоторых патологических случаях приводит к полному исчезновению колебаний на этих частотах. К этому факту мне придется часто возвращаться в дальнейших исследованиях.

Другой источник осложнений — это взаимодействие и взаимосвязь между колебаниями голосовых связок и явлениями резонанса, возникающими в ротоглоточных полостях. Если оно и не влияет на высоту звуков, то все же изменяет их тембр и силу. Особенно это взаимодействие влияет на условия колебаний голосовых связок, то облегчая, то затрудняя их. Эта реактивная взаимосвязь порождает ряд физиологических, а иногда и патологических явлений, связанных с работой связок: например, проприоцептивную стимуляцию рефлексов положения (переходы), изменения характера колебаний, заболевания (миопатию) внутренней щито-черпаловидной мышцы и т. д.

Отметим еще один факт, подчеркивающий сложность физиологии фонации: голос разговорный и голос певческий являются двумя совершенно различными способами использования чувственно-двигательной звукообразующей ассоциации, как парадоксально это ни кажется.

Различие начинается с колебаний голосовых связок. В пении эти колебания, как я покажу, происходят в результате коркового приказа и слухового экстероцептивного регулирования. Ничего подобного не происходит во время речи, где обычный контроль не является корковым и где частота колебаний не сохраняется.

Различие касается также использования надгортанных полостей. В пении мы отмечаем весьма значительную перестройку этих полостей, вызывающую интенсивные и типичные явления резонанса, тогда как при речи и перестройка полостей, и явления резонанса имеют место лишь в очень ослабленной форме. Эти явления, видимо, объясняют быстрое возникновение утомления у говорящего, когда он пытается отступить от привычных для него интонаций и силы звука.

Различие касается также и дыхания. В пении действия мускулов-выдыхателей регулируются продолжительностью поддержки необходимого подсвязочного давления. В речи, где артикуляция является главным потребителем дыхания, подсвязочное давление много слабее, и оно возобновляется чаще и легче.

Наконец, различие касается стороны энергетической и паллестезической — двух способов использования чувственно-двигательной ассоциации звукообразующего аппарата. В речи общий расход энергии относительно слаб и внутренние ощущения кажутся мало интенсивными и плохо локализованными. В пении расход энергии велик, и он питает внутренние ощущения очень интенсивные и хорошо локализованные, изменяющиеся вместе с гласным и высотой издаваемого звука. Роль этих внутренних ощущений настолько значительна, что их изучение составляет целую главу физиологии певческого голоса.

Поэтому не удивительно, что характерные элементы разговорного и певческого голоса очень часто бывают совершенно противоположными: у тенора звук разговорного голоса бывает низким; у баса — обычно высоким; при мощном певческом голосе — слабый разговорный голос и наоборот. Эта диссоциация распространяется на функциональные и нефункциональные нарушения: многочисленные дефекты речи, как, например, заикание не отражаются на пении: большое количество дефектов певческого голоса, разумеется неорганического характера, ничего не означает для разговорного голоса у одних и тех же людей.

Известно, что смех и плач являются двумя различными способами использования одной и той же мускулатуры, так же разговорный и певческий голос, имея один общий механизм, приводятся в действие совершенно различными нервными координациями, направленными в одну и ту же чувственно-двигательную ассоциацию. Так же, как есть физиология смеха и физиология плача, существует и физиология речевого и физиология певческого голоса. И оттого что это различие подчас остается неузнанным, некоторые научные труды, иногда и достаточно авторитетные, содержат подчас ошибки и шокирующие неясности.

Первая часть

НАБЛЮДЕНИЯ И ОПЫТЫ

Ларингостробоскопические наблюдения, сделанные в обычных условиях

(характер колебаний нормальный)

Наблюдения, приведенные в этой главе, касаются нормальных характеров колебаний голосовых связок и были произведены непосредственно ларингостробоскопом в обычных условиях его применения, то есть без сопутствующей модификации, как-то: кокаинизации гортани, применения глушителя и т. д.

Поскольку я располагал очень значительным количеством наблюдений, мне пришлось сгруппировать их по классам.

Первый класс: наблюдения, относящиеся к эмиссии звука постоянной высоты при изменяющемся подсвязочном давлении.

Второй класс: наблюдения, относящиеся к эмиссии звука изменяющейся высоты при постоянном подсвязочном давлении:

- а) грудные звуки открытые;
- б) грудные звуки прикрытые;
- в) фальцетные звуки.

Третий класс: наблюдения, относящиеся к прикрытию звука вблизи перехода на *e*¹.

Четвертый класс: наблюдения, относящиеся к эмиссии звука, когда гласный и окраска звука изменяются, а высота и подсвязочное давление постоянные.

Пятый класс: наблюдения, относящиеся к некоторым особенностям поведения (режима) голосовых связок во время их нормальных колебаний.

Первый класс

Наблюдения, относящиеся к эмиссии звука постоянной высоты при изменяющемся подсвязочном давлении

Филированным звуком называется такой звук, который взят *pianissimo*, затем постепенно увеличен до *fortissimo* и потом вновь постепенно доведен до *pianissimo* при сохранении одной и той же высоты и, по возможности, того же тембра гласного.

Вот два прекрасных примера наблюдений, произведенных надмною доктором Гардом в госпитале Бусико 11 марта 1950 года. Одно наблюдение — над открытым грудным звуком, другое — над

прикрытым. Эти наблюдения имели целью изучение колебаний голосовых связок, когда подсвязочное давление увеличивается, а высота взятого звука остается постоянной.

Наблюдение 1. Взятый звук: $\dot{E}$ открытое на c^1 (261 кол/сек), сначала слабое и несколько белое, потом становящееся мощным и блестящего тембра и вновь возвращающееся к слабому и малотембристому звучанию.

Амплитуда колебаний, сначала значительная (на звуке c^1 *piano*), очень уменьшается на мощном звуке, падая от 2 мм до 0,5 мм с каждой стороны (рис. 1).

В фазе смыкания сближение голосовых связок, слабое на звуке *piano*, становится более заметным и более продолжительным на звуке *forte*. Когда звук *forte* достигает максимума силы, на свободном крае каждой связки появляется очень слабая вертикальная составляющая.

Наблюдение 2. Взятый звук: $\dot{e}$ прикрытое на fis^1 (363 кол/сек), сначала *piano*, но достаточно тембристо, затем доводится до большой мощи и яркости тембра, оставаясь все время прикрытым, и после этого возвращается к первоначальному *piano*.

Максимальная амплитуда отправного звука *piano* меньше, чем у звука *piano* в первом наблюдении (c^1) и равна приблизительно 1 мм с каждой стороны. Когда интенсивность возрастает, амплитуда значительно уменьшается, как показывает первое наблюдение, и падает до $\frac{1}{2}$ мм с каждой стороны (рис. 2).

В фазе закрытия голосовой щели при *piano* и при *forte* наблюдается мало разницы, но сближение связок несколько более заметно на звуке *forte*.

На звуке *forte* здесь почти совсем незаметна маленькая вертикальная составляющая, появляющаяся на c^1 в первом наблюдении.

Опыт показывает, что практически нельзя филировать звук, взятый фальцетом. Если пытаются это сделать, легкие тотчас же

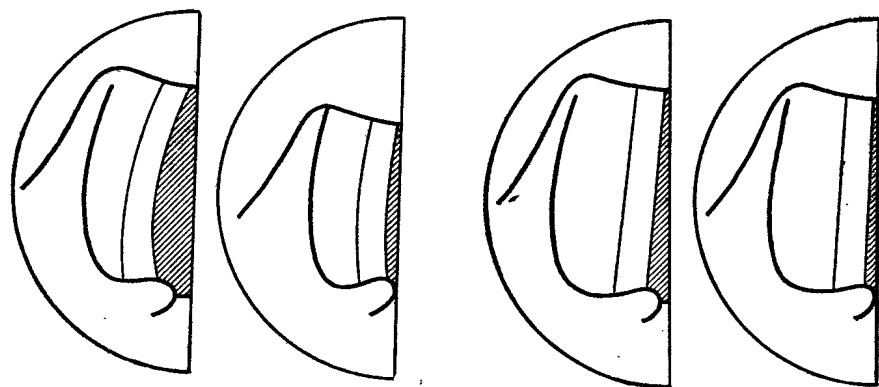


Рис. 1. Фаза максимальной амплитуды голосовой связки: на *piano* (слева) и на *forte* (справа); филирование открытого c^1

Рис. 2. Фаза максимальной амплитуды голосовой связки: на *piano* (слева) и *forte* (справа); филирование прикрытого fis^1 . Сравнить с рис. 1, 3а и 3б того же масштаба

освобождаются от воздуха вследствие достаточного закрытия глотки, а звук едва-едва увеличивает свою интенсивность. Кроме того, он все время имеет некоторую тенденцию к понижению. Вот что можно наблюдать на уровне голосовых связок при таких попытках (наблюдения произведены надо мною в госпитале Бусико доктором Гардом 22 марта 1950 года).

Наблюдение 3. Взятый звук: c^1 фальцетом на $\dot{E}$ открытом, сначала *pianissimo*, затем делается попытка усилить этот звук путем увеличения подсвязочного давления.

Такой же опыт произведен на fis^1 , затем на c^2 . Результаты наблюдений идентичны.

Можно отметить, что на фальцете *pianissimo* никогда не происходит смыкание голосовых связок в фазе закрытия; значительное удлинение в фазе открытия, с отчетливо вертикальной составляющей по свободному краю (рис. 3а и 3б).

При попытке увеличить подсвязочное давление можно отметить (рис. 3в):

а) звук увеличивается по силе очень незначительно, но делается более глухим и бестембровым;

б) в фазе закрытия голосовой щели смыкание становится еще более несовершенным, между связками остается щель более широкая, чем во время эмиссии звука *piano*;

в) амплитуда колебаний, то есть удлинение максимальное каждой связки, возрастает. Это как раз противоположно тому, что можно было наблюдать при пении *forte* грудного филированного звука;

г) составляющая колебаний по свободному краю связок приобретает большее значение: она поднимается выше и получает ширину достаточно крупной связки.

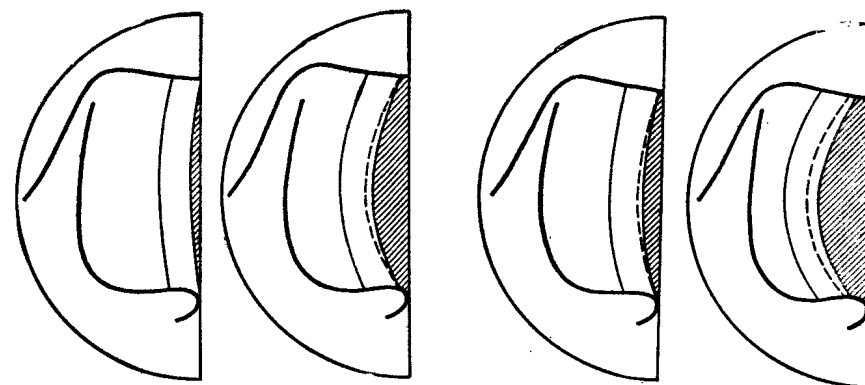


Рис. 3а. Филирование звука fis^1 , взятого фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа) при уходе на *pianissimo*

Рис. 3б. Филирование звука fis^1 , взятого фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа) при попытке увеличения интенсивности звука

Вышеизложенные факты подтверждают, пункт за пунктом, мои наблюдения 1933—1937 годов, произведенные над разнообразными объектами. Из этих фактов можно сделать следующие выводы.

1. При увеличении интенсивности звука постоянной высоты, берущегося открытым грудным голосом, фаза смыкания становится более плотной и более продолжительной; амплитуда, или максимальное удаление связок, уменьшается (амплитуда, следовательно, меньше на *forte*, чем на *piano*); появление на очень слабой вертикальной составляющей не является постоянным фактом для всех объектов.

2. При увеличении интенсивности звука постоянной высоты, берущегося прикрытым грудным голосом, фаза смыкания становится равным образом более плотной и продолжительной, хотя всегда несколько менее плотной и продолжительной, чем при открытом звуке той же высоты и силы; амплитуда, или максимальное удаление связок, уменьшается (она и так меньше на *forte*, чем на *piano*) и остается всегда меньшей, чем при открытом звуке той же высоты и силы; никакая вертикальная составляющая никогда не появляется, даже на *forte*.

3. Когда пытаются увеличить силу звука постоянной высоты на фальцете, смыкание голосовых связок, уже неполное на звуке *piano*, становится еще более неполным, оставляя между связками щель в виде эллипсиса; амплитуда, или максимальное удаление связок, увеличивается; вертикальная составляющая, касающаяся свободного края связки, становится более широкой и высокой.

4. При грудном голосе, открытом или прикрытом, внутренние щито-черпаловидные мышцы, несомненно, сокращаются и обеспечивают стремление связок к смыканию; их сокращение растет одновременно с сокращением выдыхательных мышц, увеличивающих подвязочное давление.

5. При фальцете внутренние щито-черпаловидные мышцы расслаблены, или слабо сокращены, или частично сокращены; тенденция связок к сокращению значительно ослаблена и неполная; их смыкание не возрастает одновременно с сокращением выдыхательных мышц, увеличивающих подвязочное давление.

6. Лишь совершенство и продолжительность плотного прилегания связок друг к другу во время смыкания обеспечивает блеск или яркость тембра голоса.

Второй класс

Наблюдения, относящиеся к эмиссии звука изменяющейся высоты при постоянном подвязочном давлении, взятого грудным голосом, открытым, прикрытым и фальцетом

Нижеследующие наблюдения были произведены мною доктором Гардом 11 марта 1950 года в госпитале Бусико с целью проверки результатов наблюдений, сделанных мною между 1933 и

1937 годами в госпитале Беллан на нескольких сотнях объектов, но проведенных значительно менее систематично.

Наблюдение 4. На *B* (117 кол/сек).

Грудной голос. Взятый звук: *E* открытый, несколько придавленный, слабой силы. Гортань не видна из-за ее низкого положения, язык опущен в глубину глотки, его насильственное извлечение из рта — что поднимает гортань — не позволяет наблюдаемому объекту извлечь такой низкий звук.

Наблюдение 5. На *d* (147 кол/сек).

Грудной голос. Взятый звук: *E* открытый, несколько придавленный, средней силы.

Голосовые связки колеблются всей своей длиной. Большая амплитуда, до 2 мм с каждой стороны (рис. 4). В фазе смыкания — полное прилегание связок по всей их длине.

Общая напряженность связок, так же, как и всей гортанной мускулатуры, кажется слабой. Колебания занимают отчетливо область черпал, межчерпаловидную часть голосовой щели, вокальные отростки и даже, кажется, самые черпаловидные хрящи. На этом уровне — большая амплитуда колебаний.

Наблюдения 6 и 7. На *f* (174 кол/сек).

Грудной голос. Взятый звук: *E* открытый, еще несколько придавленный, средней силы. Голосовые связки вибрируют всей своей длиной. Большая амплитуда, такая же, как и в предыдущем наблюдении, приблизительно до 2 мм с каждой стороны (рис. 5). В фазе смыкания — полное прилегание связок по всей их длине. Напряжение связок, равно как и всей мускулатуры гортани, кажется несколько увеличившимся. Форма вибрации — идентичная. Вибрация все так же отчетливо занимает участок черпал, с большой амплитудой.

Фальцет. Взятый звук: *e* белый, бестембровый, слабой силы. Голосовые связки по-прежнему колеблются всей своей длиной, но колебания не занимают более ни участка черпаловидных хрящей, ни области черпал. Амплитуда колебаний явственно больше, чем при эмиссии грудного звука той же высоты, приблизительно до 3 мм с каждой стороны, с маленькой вертикальной составляющей. Общее напряжение связок и гортанной мускулатуры значительно падает.

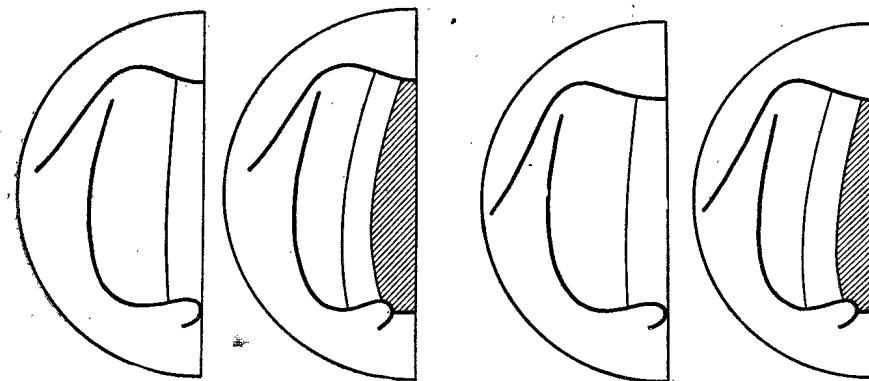


Рис. 4. *d*, взятое грудным звуком: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 5. *f*, взятое грудным звуком: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

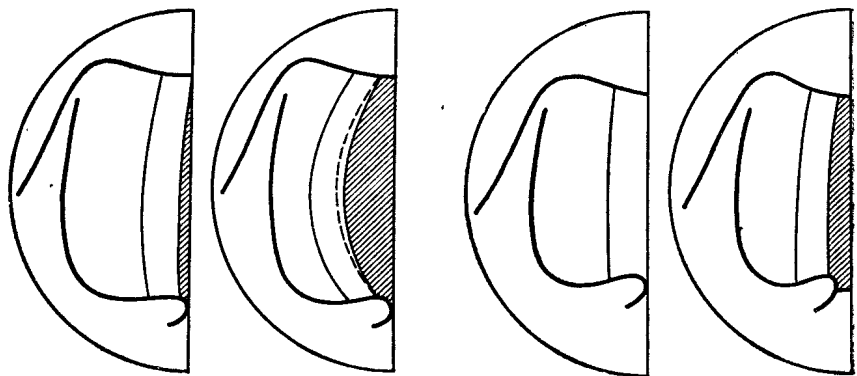


Рис. 6. *f*, взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 7. *as*, взятое открытым грудным звуком: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

В фазе смыкания связки не прилегают друг к другу; между ними остается небольшая овальная щель шириной до 1 мм в центре. Прилегание черпаловидных хрящей кажется неполным (рис. 6).

Наблюдения 8 и 9. На *as* (207 кол/сек).

Голос грудной открытый. Взятый звук: $\dot{E}$ открытый, менее придавленный, хотя и очень открытый, но достаточно хорошего профессионального качества, несколько выше средней силы.

Голосовые связки по-прежнему вибрируют по всей длине. Амплитуда несколько уменьшилась по сравнению с предыдущим звуком — приблизительно 1,5 мм с каждой стороны (рис. 7). Хорошее прилегание в фазе смыкания. Напряжение связок, равно как и всей гортанной мускулатуры, явственно увеличилось. Область черпал вибрирует по-прежнему отчетливо, но с несколько уменьшившейся амплитудой.

Фальцет. Взятый звук: $\dot{e}$ белый, бестембровый, слабой силы.

Голосовые связки колеблются по всей длине, но колебания не захватывают более области черпал. Амплитуда несколько слабее, чем при эмиссии предыдущего фальцетного звука, но явственно значительнее, чем на идентичном грудном звуке (рис. 8). При переходе с грудного на фальцетный звук значительное ослабление распространяется на вход в гортань, который открывается, как чаша. В фазе смыкания голосовые связки не прилегают друг к другу. В фазе размыкания вся масса голосовой связки отодвигается, но свободный край кажется колеблющимся сильнее и обнаруживает отчетливую вертикальную составляющую.

Наблюдения 10 и 11. На s^1 (261 кол/сек).

Голос грудной открытый. Взятый звук: E открытый, хорошего профессионального качества, большой силы. Голосовые связки колеблются по всей своей длине, с амплитудой несколько меньшей, чем на предыдущем звуке (рис. 9). Область черпал колеблется так же отчетливо, но с несколько меньшей амплитудой. Хорошее прилегание в фазе смыкания. Общее напряжение голосовых связок и всей глоточной мускулатуры явственно увеличивается.

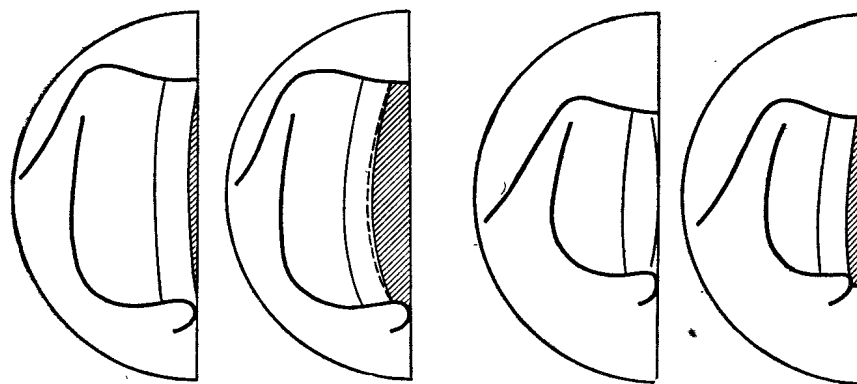


Рис. 8. *as*, взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 9. s^1 , взятое открытым грудным звуком: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Фальцет. Взятый звук: $\dot{e}$ белый, бестембровый, слабой силы, но более опертый на дыхание, чем предыдущий фальцетный звук. Голосовые связки колеблются по всей своей длине, область черпал колеблется очень слабо. Амплитуда меньше, чем в предыдущем фальцетном звуке, но в то же время большая, чем на том же грудном звуке (рис. 10). При переходе с предыдущего грудного звука на фальцет отмечается значительное ослабление напряжения голосовых связок и всей гортани, но в данном наблюдении напряжение остается большим, чем на предыдущем фальцетном звуке. В фазе смыкания по-прежнему нет прилегания голосовых связок друг к другу. В фазе наибольшего размыкания масса связки отходит хорошо, но вибрация свободного края становится более акцентированной, и обнаруживается вертикальная составляющая.

Наблюдения 12 и 13. На es^1 (310 кол/сек).

Голос грудной открытый. Взятый звук: $\dot{E}$ открытый, хорошего профессионального качества, большой силы. Голосовые связки колеблются по всей своей длине, но с уменьшенной амплитудой, приблизительно до 1 мм с каждой стороны (рис. 11). Область черпал еще немного колеблется. В фазе смыкания — хорошее прилегание связок. Общее напряжение голосовых связок, равно как и всей гортани, значительно возрастает.

Фальцет. Взятый звук: $\dot{e}$ белый, бестембровый, довольно слабой силы, но все же немного опертый на дыхание.

Голосовые связки по-прежнему колеблются по всей своей длине, а в области черпал колебания слабые. Амплитуда уменьшилась, но все же больше, чем при подобном же грудном звуке (рис. 12). В фазе смыкания связки не прилегают друг к другу, но та часть голосовой щели, которая зияет, занимает несколько меньшую длину, чем на предыдущем фальцетном звуке. В фазе наибольшего размыкания всегда наблюдается отодвигание массы голосовой связки, но свободный ее край вибрирует сильнее, чем вся остальная связка, и обнаруживается отчетливая вертикальная составляющая. Общее напряжение голосовых связок и всей гортани слабее, чем при идентичном грудном звуке, но разница в напряжении здесь слабее, и, таким образом, условия звукообразования на

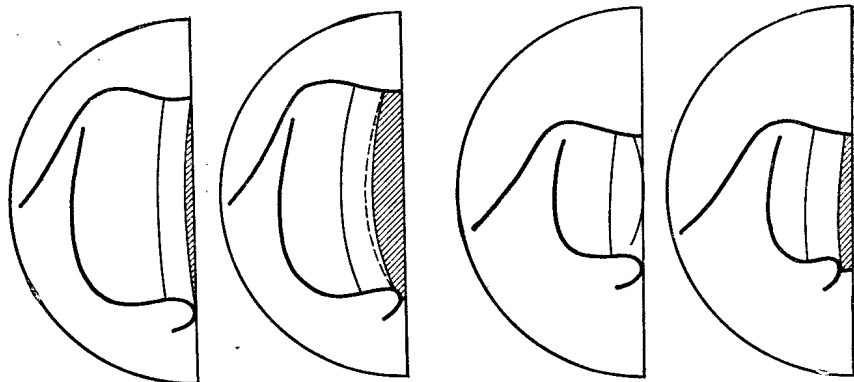


Рис. 10. c^1 , взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 11. es^1 , взятое открытым грудным звуком: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

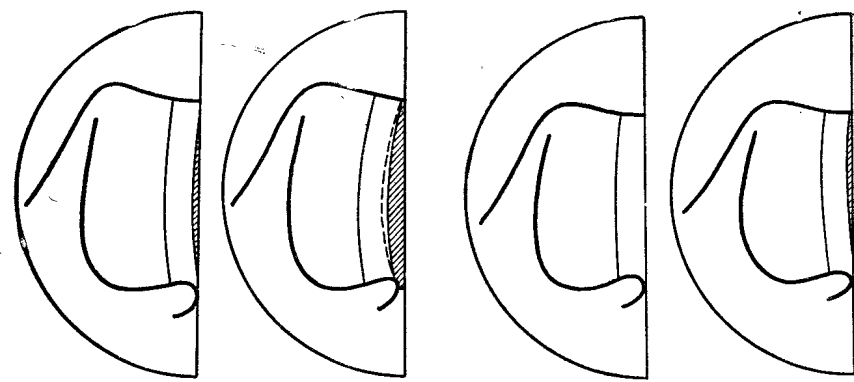


Рис. 14. f^1 , взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 15. as^1 , взятое прикрытым грудным звуком: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

фальцете заметно приблизились к условиям звукообразования на идентичном грудном звуке.

Наблюдения 14 и 15. На f^1 (348 кол/сек).

Голос грудной прикрытый. Взятый звук: $\acute{e}$ закрытый, хорошего профессионального качества, очень сильный. Амплитуда уменьшилась почти до 1 мм с каждой стороны (рис. 13). Напряжение голосовых связок очень возросло при одновременном ослаблении гортанной мускулатуры. Область черпал еще вибрирует, но слабо.

Фальцет. Взятый звук: $\acute{e}$ белый, бестембровый, слабой силы, немного опертый на дыхание. Связки колеблются по всей своей длине, область черпал также слабо колеблется. Амплитуда неизменно большая, чем при идентичном грудном звуке. В фазе смыкания голосовые связки не прилегают друг к другу (рис. 14).

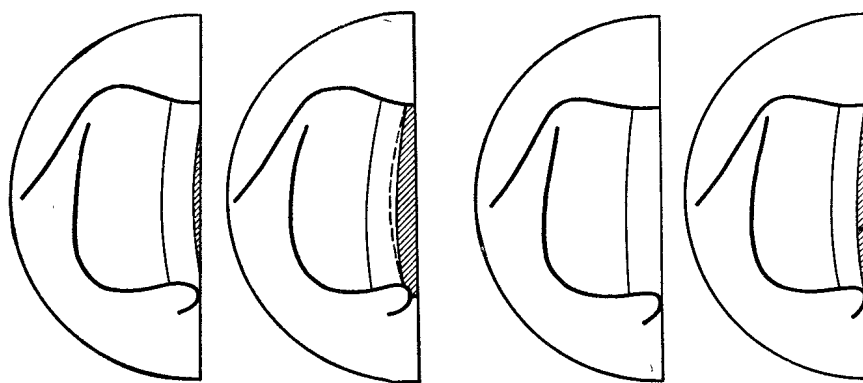


Рис. 12. es^1 , взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 13. f^1 , взятое прикрытым грудным звуком: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Свободный край колеблется сильнее, чем масса голосовой связки, и обнаруживает в фазе размыкания отчетливую вертикальную составляющую. Общее напряжение голосовых связок и всей гортани слабее, чем на идентичном грудном звуке, но значительнее по сравнению с предыдущим фальцетным звуком.

Наблюдения 16 и 17. На as^1 (414 кол/сек).

Голос грудной прикрытый. Взятый звук: $\acute{e}$ закрытый, сильный, еще достаточно хорошего профессионального качества.

Амплитуда очень слабая: до 0,5 мм для каждой голосовой связки. Область черпал больше не колеблется; колеблющаяся часть кажется уменьшившейся до 0,8 предыдущей. В фазе смыкания — очень плотное прилегание связок (рис. 15). Напряжение связок значительно увеличилось и вообще очень велико. Напряжение это кажется распространенным на всю мускулатуру гортани.

Фальцет. Взятый звук: $\acute{e}$ закрытый, светлый, мало тембранный, средней силы. Голосовые связки колеблются по всей своей длине, область черпал также колеблется, но слабо. Амплитуда неизменно большая, чем на идентичном грудном звуке, особенно в данном случае. В фазе смыкания нет прилегания связок (рис. 16). Свободный край колеблется сильнее, чем масса голосовой связки, и обнаруживает отчетливую вертикальную составляющую. Общее напряжение голосовых связок и всей гортани слабее, чем на идентичном грудном звуке, но увеличилось по сравнению с предыдущим фальцетным звуком.

Наблюдение 18. На q^1 (435 кол/сек).

Грудной голос. Этот грудной звук слишком высок для меня, чтобы я мог его воспроизвести со всеми желаемыми профессиональными качествами.

Фальцет. Взятый звук: $\acute{e}$ закрытый, белый, довольно тембранный, близкий к i средней силы.

Напряжение голосовых связок и гортани увеличилось. Амплитуда уменьшилась по сравнению с предыдущим фальцетным звуком (рис. 17). Голосовые связки колеблются также по всей своей длине, и область черпал также колеблется, но слабо. В фазе смыкания по-прежнему нет прилегания голосовых связок. Свободный край неизменно колеблется сильнее, чем масса голосовой связки, и обнаруживает более слабую вертикальную составляющую.

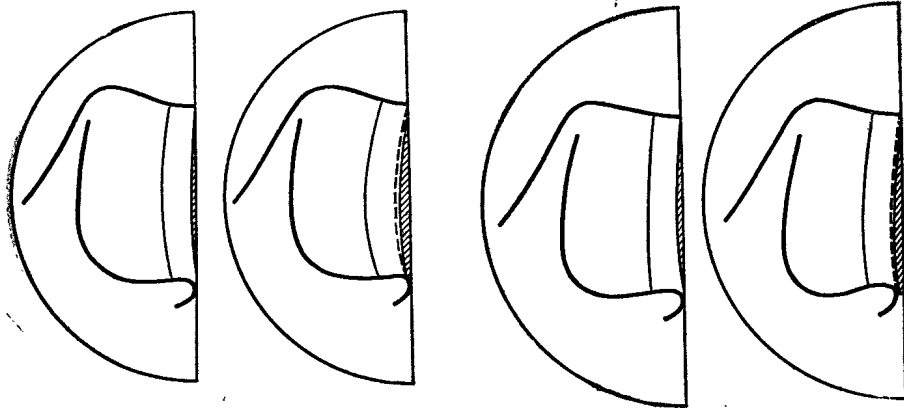


Рис. 16. as^1 , взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 17. as^1 , взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Наблюдение 19. На c^2 (522 кол/сек).

Фальцет. Взятый звук: $\acute{e}$ закрытый, светлый, довольно тембристый, близкий к i средней силы. Напряжение голосовых связок и гортани значительно увеличилось. Амплитуда такая же, как и в предыдущем наблюдении. Голосовые связки по-прежнему вибрируют по всей своей длине, но область черпал не двигается (рис. 18). В фазе смыкания голосовые связки кажутся прилегающими. Свободный край связок выглядит более напряженным, чем при предыдущем наблюдении, и вибрирует менее сильно, чем на предыдущем звуке. Вертикальная составляющая не видна.

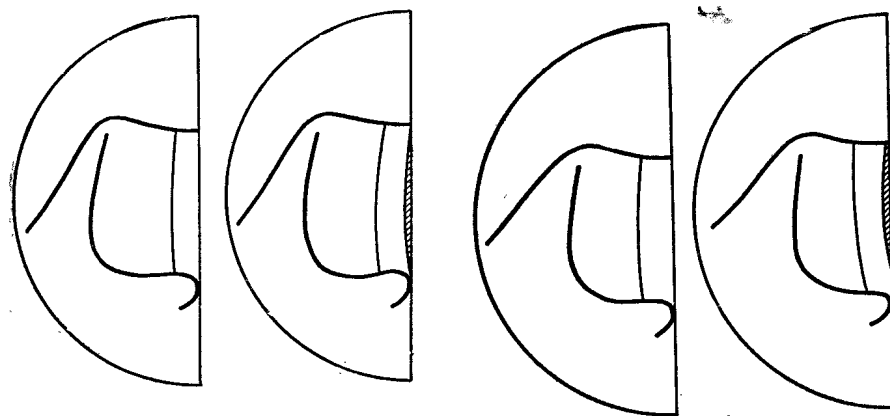
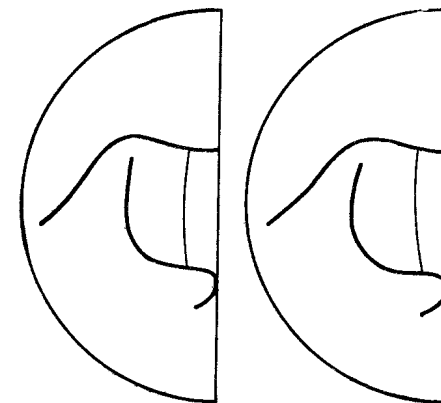


Рис. 18. c^2 , взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 19. e^2 , взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)

Рис. 20. g^2 , взятое фальцетом: фазы смыкания (слева) и максимального открытия (справа)



Наблюдение 20. На e^2 (652 кол/сек).

Фальцет. Взятый звук: $\acute{e}$ закрытый, светлый, несколько пронзительный, достаточно тембристый, очень близкий к i , довольно сильный.

Значительное напряжение как голосовых связок, так и всей гортани. Такая же амплитуда, как и в предыдущем наблюдении, примерно, до 0,5 мм с каждой стороны (рис. 19). В фазе смыкания связки отчетливо прилегают друг к другу, обеспечивая полное закрытие голосовой щели. Голосовые связки колеблются еще по всей своей длине, но часть связок, примыкающая к черпалам, колеблется слабее, чем остальная, то есть менее отклоняется от средней линии. Таким образом, на первый взгляд кажется, что вибрирует до $2/3$ связок. Свободный край кажется очень натянутым и сам по себе не колеблющимся. Вертикальная составляющая не видна.

Наблюдение 21. На g^2 (784 кол/сек).

Фальцет. Взятый звук: i светлый и пронзительный, очень собранный и сильный. Чрезвычайное напряжение голосовых связок и всей гортани. В фазе смыкания — полное закрытие голосовой щели. Связки кажутся колеблющимися только в их передней части (приблизительно $2/3$), настолько крепко прилегание их в области черпал. Амплитуда значительно уменьшилась (рис. 20). Свободный край не поднимается и сам по себе не колеблется.

Первые заключения, касающиеся эмиссии грудных открытых звуков

Наблюдение за вибрацией голосовых связок во время эмиссии грудных открытых звуков, то есть для баритона до e^1 включительно (для баса до d^1 включительно и для тенора до f^1 включительно), дают возможность констатировать следующее.

1. В фазе смыкания голосовые связки контактируют по всей длине, обеспечивая полное закрытие голосовой щели. Это контактирование и это закрытие становятся все более и более энергичными по мере повышения издаваемого звука.

На самых высоких открытых звуках, от d^1 , можно видеть связки утолщенными и прилегающими друг к другу в фазе смыкания, с соответствующим выпуклым рельефом.

2. Фаза смыкания кажется на высоких звуках более долгой, чем на низких, но это явление не может быть учтено количественно в условиях данного наблюдения.

3. Амплитуда колебаний или максимальное удаление голосовой связки достигает 2,5 мм на низких звуках и прогрессивно уменьшается на высоких. Она не менее $\frac{1}{3}$ мм на последнем, самом высоком открытом звуке.

4. При том, что голосовые связки колеблются по всей своей длине, максимальная амплитуда расположена всегда вблизи области черпал.

5. Область черпал участвует в колебаниях связок с большой амплитудой на низких звуках, уменьшающейся на высоких звуках. На этом участке отчетливо видно, как два маленьких бугорка (две маленькие вершины) черпаловидных хрящей колеблются вместе с прилегающей к ним частью голосовых связок. Участок связок, расположенный между черпалами, также вибрирует.

6. Вся масса голосовой связки отодвигается в фазе максимального открытия, то есть участвует в вибрации.

7. Во время колебаний внутренняя щито-черпаловидная мышца, несомненно, сокращена, и ее сокращение возрастает по мере движения от низких звуков к высоким. Это сокращение обеспечивает возвращение голосовой связки к ее медиальной позиции при смыкании. Но внутренняя щито-черпаловидная мышца является не единственным мускулом, сокращение которого обеспечивает упомянутое возвращение голосовой связки к ее медиальной позиции. Начиная от g или as , то есть от того звука, который имеет отчетливо «открытый» характер, кажется, что это возвращение голосовой связки становится вдруг более энергичным, и получающееся в результате смыкание делается более плотным; кроме того, область черпал колеблется менее сильно; эти явления наводят на мысль о том, что с этого звука активное сокращение всей или части внешней щито-черпаловидной мышцы, равно как и боковой перстне-черпаловидной мышцы, волокна которой прилегают к волокнам внешней щито-черпаловидной мышцы, принимает значительное участие в возвращении голосовой связки к ее медиальному положению.

Самый высокий открытый звук соответствует максимальному сокращению всего гортанного сфинктера, называемого старыми немецкими анатомами перстне-щито-черпаловидным мускулом.

Начиная с этого звука можно отметить одинаково интенсивное сокращение всей внешней мускулатуры гортани и даже глотки, а надгортанник имеет тенденцию опрокинуться на гортань под действием черпало-надгортанных мускулов, волокна которых являются продолжением волокон щито-черпаловидной мышцы.

Опыт показывает, что для певцов опасно открытым грудным голосом подниматься выше определенных многократным опытом звуков: d^1 — для баса; es^1 или e^1 — для баритона; e^1 или f^1 — для тенора. Эти границы иногда варьируются в зависимости от взятых гласных, от силы звука и от того, имеет ли звук назализованный характер или нет. Эти границы будут предметом изучения в третьей части настоящего труда.

Если объект наблюдения хочет продолжать идти выше грудным голосом, он совершает «переход» и прикрывает звук. Это последнее название соответствует совершенно новым внутренним ощущениям, которые он чувствует в ротоглоточной полости.

Детальное описание явлений, наблюдаемых в момент, когда происходит прикрытие звука, будет сделано ниже (третий вид наблюдений). Вот явления, констатируемые во время эмиссии прикрытых звуков начиная от «перехода» до высшей границы грудного прикрытого голоса.

1. В фазе смыкания голосовые связки контактируют по всей своей длине, обеспечивая полное закрытие голосовой щели. Это сближение связок и состояние контакта становятся все более и более энергичными, по мере того как растет высота взятого звука. Во время фазы смыкания голосовые связки теряют свой утолщенный вид и выпуклый рельеф, который они имели на последнем открытом звуке.

2. Фаза смыкания кажется более короткой и менее крепкой, чем на последнем открытом звуке, но ее продолжительность возрастает по мере повышения звука.

3. Амплитуда колебаний меньше, чем для последнего открытого звука, и она уменьшается по мере повышения звука.

4. Голосовые связки колеблются неизменно по всей своей длине; но по мере приближения к верхней границе голоса можно наблюдать, как область черпал колеблется все слабее и слабее и сохраняет лишь видимость сближения. На крайних верхних звуках это сближение голосовых связок распространяется, как кажется, на $\frac{1}{5}$ или $\frac{1}{4}$ части заднего отдела связочной области голосовой щели; таким образом, только оставшаяся передняя часть голосовых связок кажется участвующей в вибрации.

5. В фазе максимального открытия отодвигается вся масса голосовой связки, участвуя, таким образом, в вибрации.

6. Во время колебаний внутренняя щито-черпаловидная мышца все время сокращена и обеспечивает возврат голосовой связки к позиции смыкания; однако остальная гортанная и пригортанная мускулатура обнаруживает некоторое ослабление по сравнению с ее состоянием на предыдущих открытых звуках, и надгортанник приподнят.

С другой стороны, голосовая связка сама по себе кажется более напряженной, а ее свободный край более натянут, чем во время эмиссии открытых звуков; это соответствует тому, что при

переходе от открытых к закрытым звукам перстне-щитовидная мышца внезапно сократилась.

На крайних верхних нотах вновь появляется общее сокращение всей гортанной и пригортанной мускулатуры.

Первые заключения, относящиеся к эмиссии фальцета

Укажем сразу же, что под названием фальцетных звуков предшествующие авторы описали два различных способа колебаний голосовых связок: один — это фальцет обыкновенный или настоящий, который я наблюдал и описал выше; другой — это вариант грудного голоса, где колеблющаяся часть голосовой щели уменьшается в большей или меньшей степени за счет переднего отдела голосовых связок, что я также часто наблюдал и что описал в разделе «шестой класс наблюдений» («уменьшенные колебания Тарно»).

Тембр этих двух голосов достаточно близок, хотя «уменьшенные колебания» грудного звука создают звук несколько более «пронзительный» и более «тембристый», чем настоящий фальцетный. Но эти два голоса легко различаются благодаря другой особенности: звук грудной с «уменьшенными колебаниями» может быть нормально сфилирован, в то время как фальцет не может быть сфилирован.

Установив это различие, вот что мы видим при эмиссии фальцетного звука (у меня от f до g^2).

1. В фазе смыкания никогда не наблюдается полное закрытие голосовой щели, кроме звуков квинты во второй октаве.

2. В фазе максимального удаления голосовые связки раздвигаются всегда гораздо больше, чем на грудном звуке той же высоты. При движении от низких к высоким звукам эта максимальная амплитуда непрерывно уменьшается.

3. Голосовые связки все время колеблются по всей своей длине, но область черпал колеблется значительно меньше, чем при грудном голосе, и только на низких звуках. Начиная с первой октавы область черпал не колеблется или почти не колеблется. Максимальная амплитуда тогда достигает середины межсвязочной части голосовой щели.

На сверхвысоких звуках сильное смыкание в области черпал, кажется, распространяется мало-помалу на заднюю часть самих голосовых связок, и в конце концов на предельно высоких звуках лишь $\frac{2}{3}$ передней части сами вибрируют с амплитудой значительно уменьшенной (1,4 мм).

4. В фазе открытия или максимального удаления вся голосовая связка отодвигается от медиальной линии (а не только ее свободный край). Это свидетельствует, что при фальцетном звуке, как и при грудном, колеблется вся масса голосовой связки (а не только ее свободный край). Это явление тем более нельзя отрицать, что при фальцетном звуке амплитуда колебаний всегда заметно больше, чем при грудном звуке той же высоты; если пред-

полагают, что масса связки вибрирует при грудном голосе, то тем более нужно предположить это при фальцете.

5. На свободном крае голосовой связки обнаруживается маленькая вертикальная составляющая колебаний. Но здесь дело идет не о колебаниях типа колебаний мундштука в духовых инструментах: просто наблюдают, как свободный край, недостаточно натянутый или недостаточно напряженный, выпрямляется в фазе максимального открытия, не приходя все же полностью к горизонтальному положению в фазе смыкания голосовых связок; другими словами, свободный край приподнимается и расправляется током воздуха и остается более или менее висящим во все время колебаний.

Такое явление, трудно объяснимое и плохо наблюдаемое, заставляло считать до настоящего времени, что при фальцете колебался лишь край голосовых связок. Это объяснение неточно.

К тому же на крайних верхних звуках свободный край голосовых связок кажется все более и более напряженным, высота его выпрямления прогрессивно уменьшается, и во второй октаве так называемая «вертикальная составляющая» исчезает. Отметим еще, что явление, неточно названное «вертикальной составляющей», наблюдается иногда при грудном звукообразовании и фонации мощных звуков, а также при гипотонии щито-черпаловидной внутренней или перстне-щитовидной мышцы.

6. При фальцете стремление голосовой связки к медиальной линии значительно слабее, чем при грудном голосе; оно бывает настолько слабо, что в фазе смыкания не происходит полного закрытия голосовой щели. Это свидетельствует, что при фальцете или внутренняя щито-черпаловидная мышца находится в состоянии покоя, или же только часть ее мышечных волокон сокращена.

К тому же, чтобы перейти от фальцетного звука к грудному звуку той же высоты, нужно сделать заметное волевое усилие, которое на уровне голосовой щели сопровождается типичным ощущением сжатия.

Если произвольное сокращение щито-черпаловидных внутренних мышц имеет дефект, оно не может возрасти в соответствии с усилиями мышц-выдыхателей; тогда при увеличении подсвязочного давления давление голосовой щели в свою очередь увеличивается, и звук не может быть сфилирован. Вот тот эффект, который мы наблюдали, исследуя фальцет.

Третий класс

Наблюдения, относящиеся к прикрытию звука при переходе к e^1 (мужские голоса)

Я много и долго экспериментировал над многочисленными объектами, чтобы определить условия осуществления перехода на e^1 (мужские голоса), имеющего такое важное значение в пении. Третья часть настоящей работы целиком этому посвящена¹. Здесь я лишь просто изложу то, что по этому вопросу обнаруживается при ларингостробоскопических наблюдениях.

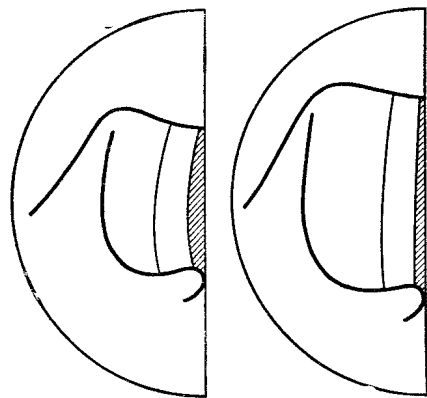


Рис. 21. Фаза максимального открытия в период колебаний на es^1 : при грудном открытом (слева) и грудном прикрытом (справа) звучании

Контрольные наблюдения были сделаны надо мною доктором Гардом в госпитале Бусико 4 января 1950 года. Ниже я их резюмирую.

Наблюдения 22, 23 и 24. На d^1 , es^1 , e^1 .

Наблюдаемый объект издает при непрерывном стробоскопировании звук $\bar{E}$ открытый, изменяемый на $\acute{e}$ закрытый; затем $\acute{e}$ закрытый, изменяемый на $\bar{E}$ открытый, все это на одной и той же ноте. Каждое наблюдение производится пять или шесть раз, дабы обеспечить хорошую видимость наблюдаемых явлений.

Исследуемый певческий звук был грудным, интенсивным, сильно опертым, усиленным ротоглоточными резонаторами, фонетически правильным и близким профессиональному певческому звуку (рис. 21).

Первые заключения, относящиеся к прикрытию звука

При переходе от открытого к прикрытому звуку той же высоты отмечаются следующие постоянные явления.

1. Объект наблюдения ощущает ослабление напряжения на уровне гортани.

2. Надгортанник поднимается, улучшая видимость передней части голосовой щели.

3. Щитовидный хрящ откидывается вперед вследствие внезапного сокращения перстне-черпаловидной мышцы.

4. Вокальные отростки черпала слегка опускаются.

5. Амплитуда колебаний голосовых связок незначительно, но отчетливо сокращается.

6. Голосовые связки кажутся более напряженными.

7. Рельеф голосовых связок округленный и утолщенный на открытом звуке, утончается и становится лентообразным на прикрытом звуке.

8. Не появляется никакой вертикальной составляющей на свободном крае; если она очень слабо проявляется при эмиссии от-

крытого звука (например, в результате небольшой гипотонии щито-черпаловидной мышцы), то после прикрытия звука она исчезает.

9. В фазе смыкания голосовая щель закрывается по всей своей длине, но время прилегания голосовых связок кажется более коротким.

Эти явления устанавливают, что в момент прикрытия звука происходит более или менее заметное ослабление напряжения внутренних и внешних щито-черпаловидных мышц; этим можно объяснить факты, отмеченные в пунктах 1, 2 и 9. Вместе с тем одновременно наблюдается активное сокращение перстне-черпаловидной мышцы, что объясняет факты, отмеченные в пунктах 3, 4, 5, 6, 7 и 8.

Другие непосредственные наблюдения (не ларингоскопические)

Некоторые профессора пения и даже некоторые ларингологи считают, что в голосе «не должно быть перехода» при пении гамм вверх на открытом гласном.

Существуют только два способа выполнить это.

Или мощным и продолжительным усилием воли продолжать идти открытым звуком выше перехода до верхних пределов голоса, сознательно тормозя наступление прикрытия звука, которое рефлекторно должно произойти. Или же различными способами пытаться произвести постепенное приведение перстне-черпаловидной мышцы в состояние активного напряжения при ходе голоса вверх по гамме.

Первый способ — весьма опасный эксперимент. Я наблюдал однажды такого рода опыт, проделанный баритоном до c^2 (Севейляк). Этот опыт вреден для гортани, так как обычные наблюдения свидетельствуют, что пение открытым звуком выше нормальных границ способствует образованию узелков на голосовых связках.

Второй способ предлагает превосходное теоретическое решение вопроса, это именно то, что кажется многим профессорами пения находкой, когда они «подготавливают» осуществление прикрытия звука на восходящей гамме путем прогрессивного сомбривания звука на два или три тона ниже нормальной высоты перехода.

Из этой практики, хорошо знакомой и используемой уже давно, ясно, что изменение тембра при прикрытии голоса значительно умеряется, и даже у легких голосов (лирических баритонов и теноров) это изменение тембра практически растворяется в прогрессирующем сомбривании гласной, появившемся на нескольких нотах до и после перехода.

Но чрезвычайно многочисленные наблюдения, произведенные над очень гибкой, эластичной мускулатурой лирических певцов, находящихся в расцвете мастерства, все же показали мне, что на самом деле переход никогда не был уничтожен, но лишь благодаря применению этого второго способа сделан акустически незаметным.

Наблюдение 25. С., 60 лет, баритон, опытный певец, профессор Парижской консерватории (1933), утверждает, что в его голосе нет перехода.

Я прошу его спеть на гласном *a* гамму от *as* до *as*¹. Он это исполнял немедленно и столько раз, сколько я об этом просил. Он сомбрирует, округляет гласный *a* начиная с *c*¹, акцентируя изменение окраски на *cis*¹, *d*¹, *es*¹. Когда он подошел к *e*¹, гласный *a* был взят прикрытым, вполне профессиональным звуком, акустически близким к прикрытому *o*.

Тем не менее мое ухо отчетливо уловило, чтокрытие звука произошло при переходе с *es*¹, еще открытого, хотя и значительно сомбрированного, на *e*¹.

Я положил большой и указательный палец с одной и другой стороны на щитовидный хрящ, на его нижний край и попросил певца начать сначала: когда он переходил от *es*¹ к *e*¹, я заметил характерный наклон щитовидного хряща вперед. Следовательно, переход не был уничтожен, а стал лишь акустически мало заметен. Я обсуждаю это явление с С., который сообщил, что при переходе с *es*¹ на *e*¹ он отмечает соответствующие внутренние ощущения, столь характерные для прикрытия звука.

Наблюдение 26. Р., 52 лет, лирический тенор, поющий партии первого положения в самых крупных оперных театрах (1934). Гортанная мускулатура исключительной гибкости. Исполнил гамму на гласном *a* от *c* до *c*², возобновляя это столько раз, сколько я просил. Тембр гласного постепенно эволюционировал от открытого звука до закрытого, более темного. При первом прослушивании ухо не отличает никакого перехода. Нужно было очень напрягать слух, чтобы отметить небольшое изменение звучности, более явственное и характерное при переходе звука от *f*¹ на *fis*¹.

При пальпации можно ощутить, что наклон щитовидного хряща вперед происходит, когда звук попадает на *fis*¹.

Нужно добавить, что Р. очень хорошо отмечает момент прикрытия звука и определяет, что он производит этот переход на *fis*¹.

Добавлю еще, что за 17 лет наблюдений я никогда не встретил никого, кто мог бы произвести последовательное и активное сокращение перстне-щитовидной мышцы, то есть осуществить отмену резкого и скачкообразного перехода на прикрытое звучание.

Эти явления кажутся мне связанными с законом «все или ничего» мышечной физиологии.

Четвертый класс

Наблюдения, относящиеся к эмиссии звука, когда изменяют гласную или окраску голоса при постоянной высоте и подвязочном давлении

Первый класс наблюдений (ларингостробоскопических) относится к звукам постоянной высоты с изменяющимся подвязочным давлением (тембр сохраняется по возможности неизменным). Вторым класс изучает звуки изменяющейся высоты при сохранении возможно постоянного подвязочного давления (что никогда полностью не осуществляется, в равной мере как и постоянство тембра на всем диапазоне).

Оставалось произвести наблюдения за поведением голосовых связок при варьировании одного тембра, сохраняя высоту звука и

подвязочное давление постоянными. Третий класс наблюдений произведен в точке особенно важной, а именно на переходе к прикрытию на *e*¹. Интересны также аналогичные наблюдения на других, менее важных участках голосовой шкалы. Ниже будут изложены описание и результаты этих наблюдений.

Я имел по этому поводу несколько наблюдений, датированных 1933—1935 годами, но они должны были быть дополнительно проверенными по следующим соображениям: ларингостробоскопическое наблюдение гортани легче всего удается на закрытом гласном *ê*, что несколько поднимает гортань и выпрямляет надгортанник. На открытом *E* наблюдение становится уже труднее, так как надгортанник имеет тенденцию к опусканию. На любом другом гласном наблюдение еще более затруднено и иногда даже невозможно как из-за того, что язык опускается, так и из-за того, что ротовое отверстие стремится закрыться.

При исследовании я систематически пользовался при грудном звуке двумя видами изменения тембра:

а) переход из одного открытого гласного в другой открытый гласный;

б) переход из открытого гласного в закрытый гласный.

Вот результаты наблюдения.

Наблюдение 27. На *g* (196 кол/сек).

Взятый звук: *Ê* открытый, большой силы, постепенно округляемый до превращения его в *EU* открытый, той же силы.

Наблюдается, что амплитуда колебаний, сначала неизменная, слегка увеличивается, но все-таки достаточно резко, в тот момент, когда достигнуто звучание открытого гласного *EU* и появляется характерный ротовой резонанс. Напряжение голосовых связок и гортани в этот момент несколько уменьшается.

Наблюдение 28. На *a* (217 кол/сек).

Взятый звук: *Ê* очень открытый, большой силы, постепенно округляемый до превращения его в *EU* открытый, той же силы.

Очень легкое увеличение амплитуды при переходе на открытый *EU* в момент, когда ротовой резонанс точно соответствует *EU* (рис. 22). Напряжение голосовых связок и гортани уменьшается немного при переходе на *EU*. Усилие эмиссии более чувствительно на *Ê*, чем на *EU*.

Наблюдение 29. На *c*¹ (261 кол/сек).

Взятый звук: как в предыдущем наблюдении. Увеличение амплитуды едва ощутимое. Напряжение голосовых связок и всей гортани кажется еще несколько уменьшившимся. Усилие эмиссии несколько меньше на *eu*, чем на *ê*.

Наблюдение 30. На *d*¹ (294 кол/сек).

Взятый звук: как в предыдущем наблюдении. Нет никакой разницы ни в амплитуде, ни в напряжении.

Наблюдение 31. На *a* (217 кол/сек).

Взятый звук: *Ê* открытый, большой силы, постепенно изменяющийся в *A* той же силы. Никакой разницы не обнаружено.

Наблюдение 32. На *a* (217 кол/сек).

Взятый звук: открытый *Ê* большой силы, постепенно изменяемый в открытый *O* той же силы.

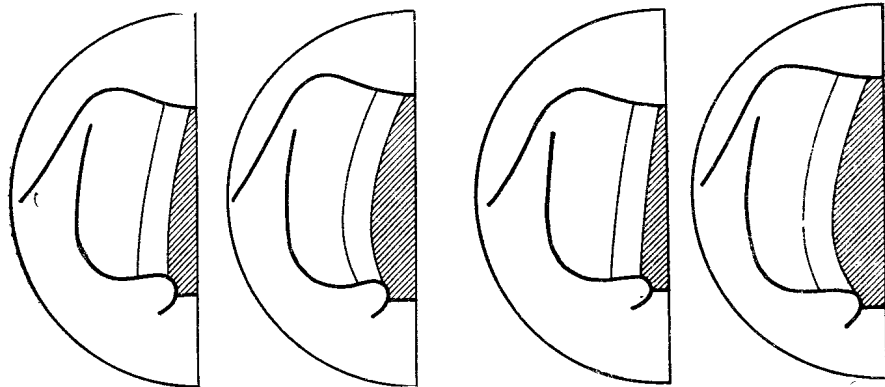


Рис. 22. Изменение фазы максимального открытия при переходе с *Е* открытого (слева) на *ЕУ* открытое (справа) при фонировании *а* малой октавы грудным звуком

Рис. 23. Изменение фазы максимального открытия при переходе с открытого *Е* (слева) на закрытое *еи* (справа) при фонировании *а* малой октавы грудным звуком

При подходе к формированию открытого *О* движение языка назад не дает возможности увидеть гортань. Если вытянуть вперед язык — нельзя взять открытый гласный *О*.

Наблюдение 33. На *а* (217 кол/сек).

Взятый звук: открытый *Е*, сильный, постепенно округляемый до *еи* закрытого, той же силы.

Значительное увеличение амплитуды (рис. 23). Значительное падение напряжения голосовых связок и всей гортани.

Наблюдение 34. На *д*¹ (294 кол/сек).

Взятый звук: как в наблюдении 33.

Отчетливое увеличение амплитуды, хотя и несколько меньшее, чем на *а*. Падение напряжения голосовых связок в гортани, но равным образом слабее, чем на *а*.

Первые заключения, относящиеся к эмиссии звуков различных тембров при постоянной высоте и подвязочном давлении

При перемене тембра взятого звука постоянной высоты и интенсивности можно наблюдать при ларингостробоскопии два вида изменений: одно касается амплитуды колебаний, или фазы максимального удаления, другое — общего напряжения голосовых связок и гортани. Наконец, поющий объект наблюдения может испытывать изменение усилий для эмиссии звука.

Эти изменения находятся в зависимости от явлений резонанса в ротоглоточных полостях, и в первую очередь от его взаимодействия с голосовыми связками.

При перемене тембра глотка и рот очень точно меняют форму и объем и настраиваются (более или менее) на гармоники гортани разных порядков. Это изменение касается главным образом только

ротовой полости: тот случай, когда происходит переход от одного открытого гласного к другому (наблюдение с 27 по 32); или еще от одного закрытого гласного к другому. Эта перестройка может касаться одновременно также полостей рта и глотки: тот случай, когда происходит переход от открытого гласного к закрытому и наоборот (наблюдение 33 и 34).

При постоянной высоте и интенсивности, когда ротовая или глоточная полость изменяют свою форму или свой объем так, что приближаются к настройке на новую гармонику с порядковым номером ниже, чем предыдущая (следовательно, более низкую, чем предыдущая), можно констатировать, что: а) амплитуда колебаний голосовых связок увеличивается; б) общее напряжение гортани и голосовых связок уменьшается; в) объект наблюдения ощущает облегчение при эмиссии звука.

Пятый класс

Наблюдения, относящиеся к некоторым частностям поведения голосовых связок во время их нормальных колебаний

Нормальные колебания голосовых связок осуществляются в горизонтальной плоскости. Однако некоторые авторы указывали, что они все же имеют вертикальную составляющую, очень маленькую, порядка доли миллиметра. Голосовая связка в момент, когда она отходит от медиальной линии в фазе открытия, слегка приподнимается. Музехолд считал возможным это утверждать, изучая сделанные им фотоснимки голосовых связок во время их колебаний. Он полагал, что в начале фазы открытия голосовой щели медиальная линия слегка углубляется, тогда как голосовые связки еще не прекратили своего контакта, и заключил из этого факта, что обе голосовые связки слегка приподнялись, прежде чем отделиться одна от другой во время вибрационной фазы открытия. Я лично никогда не отмечал такого явления за 17 лет наблюдения ни на грудном голосе, ни на фальцете.

Колеблется ли при фальцете только край голосовой связки?

Во многих исследованиях можно найти утверждение, что при фальцете колеблется только свободный край голосовой связки.

Такое утверждение ошибочно. В фазе разведения связок вся масса связки участвует в этом движении, а не только ее свободный край. При переходе с грудного звука на фальцет той же высоты можно при ларингостробоскопическом наблюдении видеть внезапное увеличение амплитуды колебаний, свидетельствующее, что масса голосовой связки менее напряжена — или просто находится лишь в состоянии обычного тонуca — и при фальцете не имеет достаточной силы для смыкательного движения, как это наблюдается при грудном голосе.

При фальцете мы видим, что свободный край голосовой связки слегка приподнимается, как только связка отходит от медиальной линии, распрямляется по мере увеличения раскрытия голосовой щели и постепенно спадает, когда голосовая связка вновь приближается к медиальной линии. Так как при фальцете голосовые связки никогда не контактируют (за исключением крайних верхних звуков), то довольно часто можно заметить, что свободный край остается немного приподнятым, даже в момент максимального сближения голосовых связок.

Это движение подъема очень заметно на низком и среднем регистрах и невероятно увеличивается при попытке усилить звук, то есть когда увеличивают подвязочное давление. Движение подъема уменьшается на верхнем регистре и исчезает на крайних верхах.

Но это никоим образом не относится к колебаниям свободного края голосовой связки, который на фальцете колеблется подобно свободному мундштуку. Свободный край в действительности никогда не опускается ниже горизонтального плана голосовой щели. Он приподнимается и отодвигается просто в результате тока воздуха, под давлением, через отверстие голосовой щели и остается постоянно более или менее приподнятым (за исключением предельных верхних звуков).

Было бы неправильным говорить, что при фальцете свободный край голосовой связки колеблется отдельно или же представляет «вертикальную колебательную составляющую»: он всего лишь распрямляется, более или менее сильно, под действием тока воздуха, который вырывается из голосовой щели.

При грудном звуке, как и при фальцете, голосовые связки отодвигаются одна от другой на всю свою длину (кроме тех случаев, когда голос приближается к крайним границам этих двух регистров). Раздвигание происходит нормально, симметрично и справа, и слева.

В низком регистре при грудном открытом звуке вокальные отростки черпаловидных хрящей равным образом колеблются и отходят от медиальной линии с оставшейся частью голосовой связки таким образом, что максимальная амплитуда приходится на ту точку голосовой связки, которая расположена ближе к области черпал, чем к переднему участку прикрепления. Амплитуда колебаний вокальных отростков слегка уменьшается при подъеме голоса вверх и угасает немного ниже перехода на e^1 .

На фальцете вокальные отростки не принимают более участия в колебаниях или же принимают очень слабое участие, таким образом, что максимум амплитуды падает на середину связки.

При грудном прикрытом голосе колебания вокальных отростков вновь появляются, но связка уже более натянута, так что максимальная амплитуда расположена на уровне самих вокальных отростков или же очень близко от них (рис. 24).

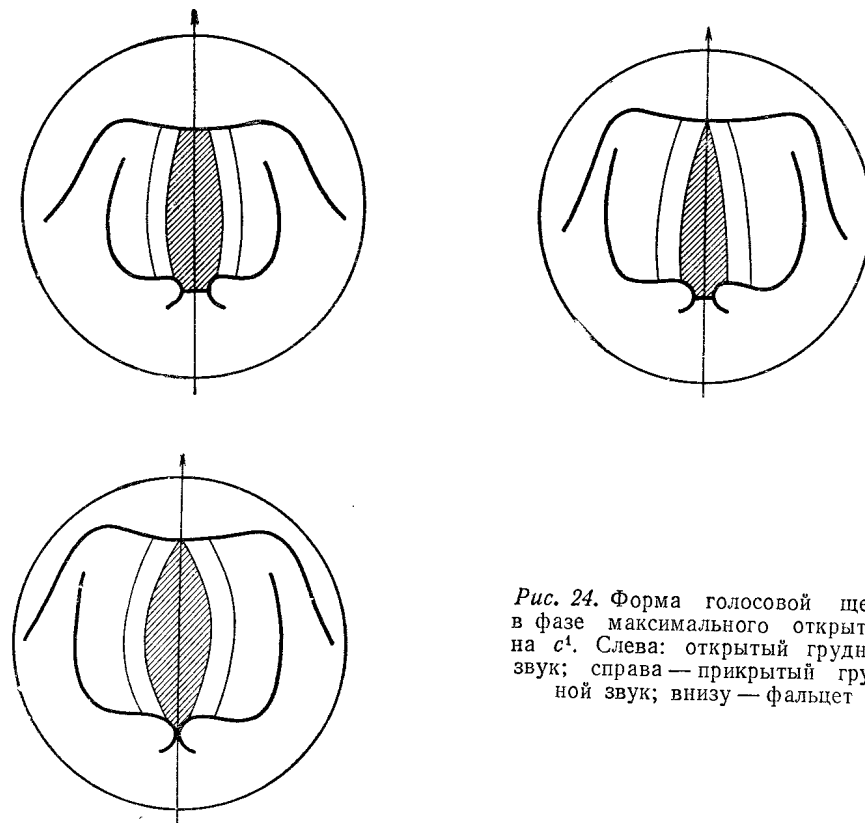


Рис. 24. Форма голосовой щели в фазе максимального открытия на c^1 . Слева: открытый грудной звук; справа — прикрытый грудной звук; внизу — фальцет

Патологические формы колебаний связок

Описанные выше формы колебаний связок названы нами нормальными, так как они наблюдались у людей с хорошим здоровьем, голосовой аппарат которых мог производить певческие звуки высокого профессионального качества.

Теперь переходим к изучению больных голосов у людей с испорченным здоровьем, певцов с плохим качеством звука или неспособных к пению полным голосом.

В этом случае мы встретимся с исключительным разнообразием форм колебаний, которые в совокупности я буду квалифицировать, в отличие от вышеописанных, как аномальные. Однако некоторые из этих аномальных форм колебаний наблюдаются у лиц, голоса которых хотя и нельзя признать абсолютно нормальными, но в то же время нельзя их квалифицировать как явно патологические. Подобные формы колебаний я назвал паранормальными, то есть почти нормальными или близкими к нормальным.

Эти формы колебаний я рассматриваю вместе с патологическими, так как в конечном итоге находишь или **начало** значительного повреждения, или функциональное расстройство большей или меньшей интенсивности. Нередко эти паранормальные формы колебаний исчезают в результате применения специальных упражнений, уступая место нормальным формам.

В силу чрезвычайного разнообразия этих паранормальных и патологических форм колебаний я должен был их классифицировать в порядке увеличивающейся серьезности нарушения нормы, начиная с тех, которые наблюдаются при местных поражениях гортани (катары, миопатии и т. д.) и кончая случаями, наблюдавшимися при центральных поражениях.

Весьма примечательно, что наименее опасные заболевания отражаются на амплитуде колебаний, поражая обычно одну связку.

Затем следует нарушение собственно формы колебаний одной голосовой связки или обеих, что указывает на более серьезное заболевание.

В третьем случае наблюдается изменение частоты колебаний, и тогда генезис заболевания меняет свой уровень: оно перестает быть периферическим, но становится бульбарным или центральным и т. д.

Наконец, колебания могут совершенно отсутствовать: эта высшая форма нарушения связана с самыми сложными участками физиологии звукообразования, исключая, конечно, серьезные повреждения голосового аппарата или нервных связей.

Первый класс

Изменения, касающиеся амплитуды колебаний

Изменение амплитуды колебаний может поражать одну связку (одностороннее расстройство); поражать обе связки (двустороннее расстройство); касаться только определенного участка диапазона; касаться пространственно-временной симметрии колебаний обеих связок, то есть нарушать фазу колебаний.

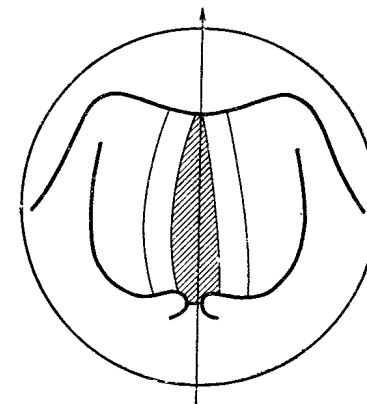
Одностороннее расстройство амплитуды

В фазе максимального открытия удлинение одной связки больше, чем другой (рис. 25).

Речь идет о более или менее легкой гипотонии¹ той связки, амплитуда которой является наибольшей. Малютин отмечал эту аномалию у 50% обследованных им певцов: у них левая связка колебалась слабее правой. Я тоже наблюдал, что обычно у правой связки амплитуда колебаний бывает больше и что правая связка обычно поражается заболеванием.

¹ Гипотония — понижение тонуса или степени напряжения связки.

Рис. 25. Одностороннее расстройство амплитуды правой голосовой связки (видно слева) при фонировании f^1 грудным прикрытым звуком в фазе максимального открытия



Разумеется, не исключена возможность, что больная связка иногда колеблется слабее. Однако не только этиология в таких случаях бывает другой, но и случаи эти редки.

Другое замечание: форма колебаний всегда несколько изменяется со стороны больной связки, обнаруживающей меньшую гибкость.

Двустороннее расстройство амплитуды

Обычно амплитуда увеличивается вследствие гипотонии, поразившей обе связки. Реже амплитуда колебаний уменьшается.

В тех случаях, когда положение обеих связок остается симметричным, бывает чрезвычайно трудно судить, является ли амплитуда нормальной или нет, так как эта амплитуда сильно изменяется, во-первых, в зависимости от высоты звука и, во-вторых, вместе с интенсивностью звука (она уменьшается на *forte* и увеличивается на *piano*). Правильную оценку изменений амплитуды можно сделать только на очень низких или на очень высоких звуках.

Если при эмиссии низких звуков *piano* амплитуда остается маленькой, это означает патологическое уменьшение амплитуды.

Если при эмиссии высоких звуков *forte* амплитуда является значительной, это означает ее патологическое увеличение.

Как выше было сказано, двустороннее поражение амплитуды сопровождается всегда хотя бы и небольшим, но изменением формы вибрации.

Расстройство амплитуды, обнаруживающееся на определенном участке диапазона

При рассмотрении расстройств амплитуды я предположительно считал, что они обнаруживаются на всех звуках диапазона исследуемого объекта.

Однако эти расстройства могут иногда проявляться лишь на нескольких звуках, образующих как бы «островок» на диапазоне.

Как правило, этот «островок» неизменно затрагивает участок перехода с e^1 (у мужчин) или e^2 (у женщин).

Когда обследуемый субъект поет восходящую гамму на открытом гласном, расстройство амплитуды начинает обнаруживаться около c^1 или cis^1 , увеличивается, достигает максимума с последним открытым звуком и внезапно прекращается на первой же ноте, взятой прикрытым звуком.

Что касается упомянутого «островка» диапазона, то здесь расстройство амплитуды может быть и односторонним, и двусторонним.

Если заболевание не подвергается необходимому наблюдению и лечению, то оно распространяется на весь диапазон певца. Я полагаю, что такое изменение амплитуды на определенном «островке» на e^1 является первым сигналом начала функционального расстройства. Оно появляется всегда определенно на последней терции, берущейся открытым звуком, так как именно на этом участке голоса реакция ротоглоточного резонатора на работу гортани является максимальной.

Изменение фазы колебаний обеих связок

При таком расстройстве левая связка отодвигается от медиальной линии, в то время как правая к этой линии приближается и затем возвращается к медиальной линии тогда, когда правая связка от нее отодвигается.

Такое заболевание впервые наблюдал Ортель, затем оно вновь было описано доктором Вейсом у больного 60 лет, страдавшего застарелым катаральным ларингитом, осложненным парезом щито-черпаловидной и межчерпаловидной мышцы. Я лично такого заболевания никогда не наблюдал.

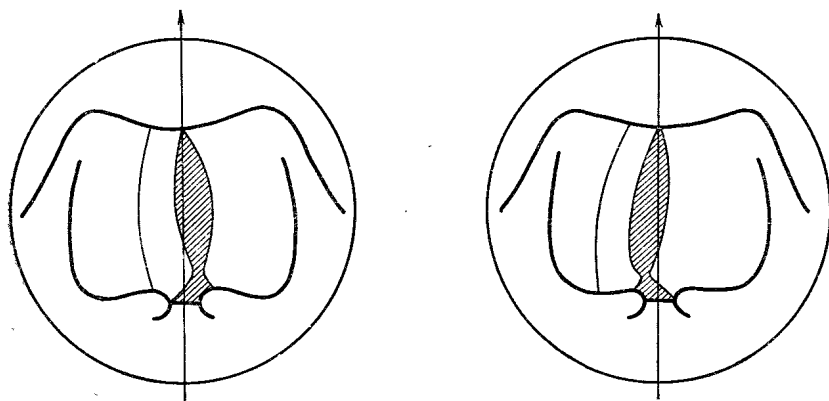


Рис. 26. Чередующиеся колебания по доктору Вейсу. Левая связка испытуемого, отодвигаемая от медиальной линии, когда правая к ней приближается (слева); затем возвращается к медиальной линии, когда правая от нее удаляется (справа)

Доктор Вейс во время своего пребывания в Париже в 1937 году детально описал мне этот случай, и это описание достаточно точно изображено на рис. 26.

В случае, описанном доктором Вейсом, различие фазы двух голосовых связок составляет приблизительно половину периода.

Ортель описал чередующиеся вибрации, где различие фазы было приблизительно не более $1/4$ периода и осложнялось односторонним изменением амплитуды.

Второй класс

Изменения, затрагивающие форму колебаний

Более глубокие периферические поражения (гипотонические, миопатические и др.) чаще всего проявляются в изменениях формы колебаний.

Эти изменения, визуально наблюдаемые, могут максимально поражать:

- фазу закрытия или прилегания связок;
- фазу максимального удлинения;
- длину собственно колеблющейся части голосовых связок;
- работу массы голосовой связки.

Разумеется, такие поражения почти никогда не бывают изолированными, но зачастую случается, что изменения, относящиеся к одному элементу (фаза смыкания, например), более явственны для глаза наблюдателя, чем сопутствующие. Именно в этом смысле и говорят, что болезнь поражает указанный элемент.

Изменение фазы смыкания

Патологическое изменение фазы смыкания выражается обычно дефектом смыкания. Связки не контактируют более или же не обеспечивают полного закрытия голосовой щели по всей ее длине.

Иногда полное смыкание прекращается на низких звуках, но сохраняется на высоких, когда оно вызвано мощными усилиями констрикторов. Случается также, что неполное смыкание становится видимым лишь на *piano*, тогда как при эмиссии звуков *forte*, в результате усиленных глоточных напряжений, вновь появляется полное смыкание голосовых связок.

Как бы мало ни была затронута заболеванием фаза смыкания, тембр голоса изменяется всегда одинаковым образом: он теряет свой блеск, то есть свои высокие гармоники (начиная от шестой), и становится вялым, бестембровым. Обнаруживается ясная взаимосвязь между нарушением закрытия голосовой щели и потерей блеска голоса.

Изменение фазы открытия

Фаза открытия голосовой щели может изменяться тремя способами (кроме простого нарушения амплитуды):

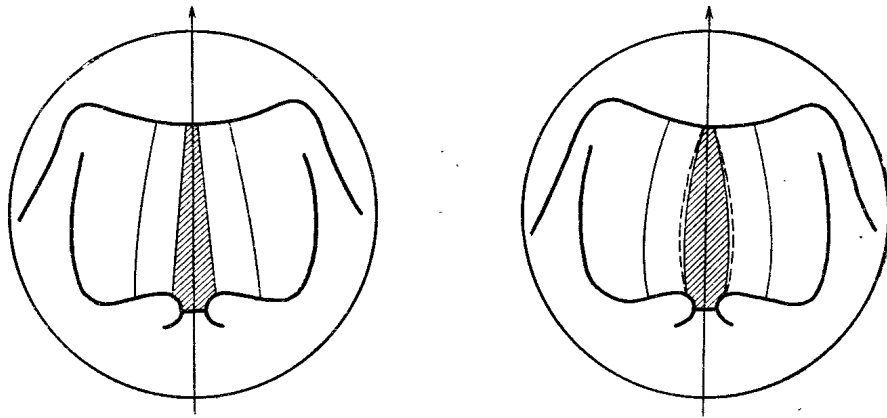


Рис. 27. Изменение фазы открытия прикрытого f^1 : нормальное (слева), патологическое (справа), тогда как амплитуда существенно не изменилась. Наметилась небольшая вертикальная составляющая

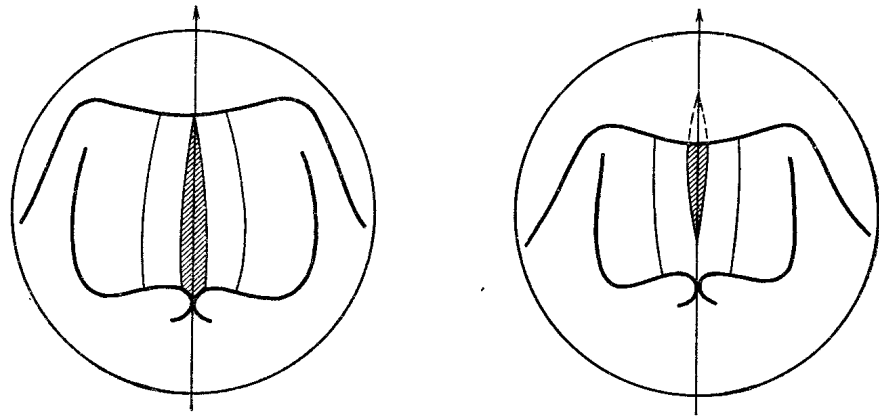


Рис. 28. a^1 , спетое двумя тенорами: грудным прикрытым звуком (слева); колеблющаяся часть связок уменьшена (справа). Фаза максимального раздвижения связок — в обоих случаях

а) край связки рисуется более вогнутым, чем бы это следовало (рис. 27);

б) край связки более прямолинеен, чем следовало бы;

в) свободный край связки более или менее приподнимается, обнаруживая то, что неточно называется «вертикальной составляющей», в то время как этот свободный край должен был оставаться натянутым и в плоскости связки.

Иногда эти заболевания происходят в результате поражения механизма возврата связки к ее позиции медиального смыкания. Нужно заметить, что они бывают порою односторонними и зачастую с неравномерной интенсивностью правой и левой стороны.

У некоторых больных можно иногда отметить, что колеблющаяся часть голосовых связок уменьшилась на $\frac{2}{3}$ или $\frac{3}{4}$ передней части, в то время как остальная часть связок оставалась плотно сомкнутой и не участвовала в колебаниях.

В четырех случаях такого рода (у мужчин), которые мне удалось наблюдать — это касалось профессиональных певцов, — такой способ колебаний с сокращением длины вибрирующей части связки сопровождался следующими обстоятельствами.

1. При эмиссии звуков, взятых во время наблюдения, равным образом заметно уменьшается амплитуда колебаний.

2. Объект наблюдения, подойдя открытым звуком к e^1 , не прикрывал переходного звука, и сразу же после переходного звука появлялось плотное смыкание в области черпал и сокращение длины колеблющейся части голосовых связок (рис. 28).

3. На звуках еще более высоких усиливалось смыкание, уменьшалась амплитуда и сокращалась длина колеблющейся части голосовых связок.

4. Общее напряжение всей гортани значительно увеличивалось и было намного больше, чем при эмиссии прикрытых звуков той же высоты.

5. Тембр звуков, издаваемых при таком способе колебания голосовых связок с укороченной длиной вибрирующей части, очень отличается от закрытых грудных звуков той же высоты: по сравнению с последними они менее объемны, менее сомбрированы, более светлые и резкие. Предельно высокие звуки (e^2 , например) при таком звукоизвлечении приближаются к очень мощному фальцету.

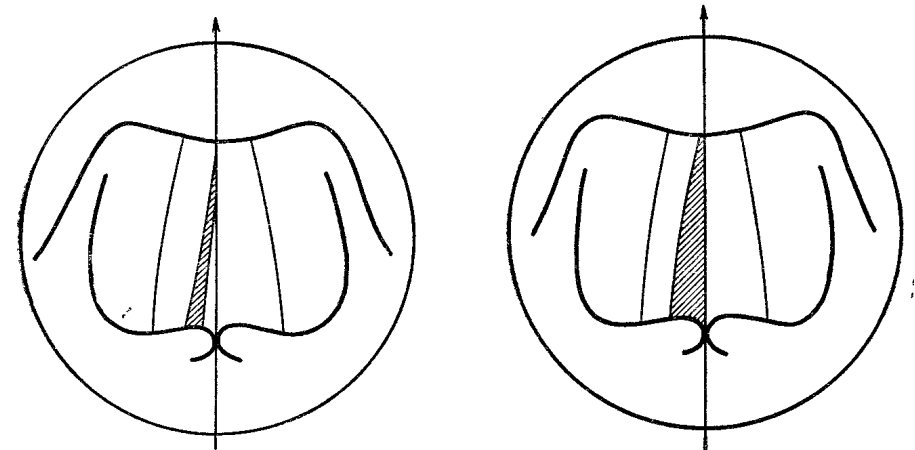


Рис. 29. Формы колебания связок при некоторых видах параличей

Изменения, касающиеся частоты колебаний

Многие наблюдатели отмечали, что при стробоскопировании можно видеть, как одна связка колеблется, а другая в это время неподвижна. Это явление может происходить вследствие того, что связка действительно неподвижна; или оттого, что частота ее колебаний отличается от частоты колебаний другой связки и, следовательно, отличается от частоты вспышек стробоскопа.

Я имел случай наблюдать оба эти явления, особенно у субъектов, страдавших центральными расстройствами.

Случай, когда обе связки колеблются с различной частотой, дает возможность сделать следующие наблюдения:

а) одна связка все время колеблется с меньшей частотой, чем другая, на всем диапазоне;

б) это явление наблюдается только на определенном участке голоса;

в) связка колеблется, по сравнению с другой, с различной и очень маленькой частотой, очень нерегулярной.

Одна связка колеблется с меньшей частотой, чем другая, и на всем диапазоне

Поворачивая ручку регулятора стробоскопа, можно настроиться на колебания правой или левой связки — одна связка будет в покое, а другая станет медленно колебаться. Это явление просматривается на всем диапазоне.

Разница в частоте колебаний редко превышает 20 колебаний, и в большинстве случаев она значительно меньше.

Хотя диплофонии (два звука, слышимые одновременно) я не наблюдал, но отмечал, что голос имеет тембр плохого качества.

Важное явление: связка колеблется с самой низкой частотой, имеет все время очень слабую амплитуду и кажется гипотоничной.

Ухудшение тембра очень заметно на низких и менее заметно на высоких звуках.

Опыты Линдемманна (1930)

Считая эти сведения очень важными, ниже я даю точный перевод части доклада «Изучение действия токов в гортанном нерве» доктора Эрика Линдемманна (Университет штата Айова, США).

«С целью увеличения знаний о нейрофизиологическом механизме фонации были зарегистрированы токи действия гортанных нервов, верхнего и нижнего, во время звукообразования у собак. Вой или лай, произведенный собакой после окончания действия эфирной анестезии, записывался через микрофон и усиливался одноканальным усилителем. Вместе со звуками токи, появившиеся в гортанных нервах, верхнем и нижнем, улавливались электродами из платины (так как электроды из других металлов были причи-

ной срывов нескольких опытов) и усиливались трехканальными усилителями на спаренных сопротивлениях. Запись звука и токов была произведена посредством трехшлейфового осциллографа Вестингауза.

Нижний гортанный нерв был обнажен точно под щитовидным хрящом, а верхний гортанный нерв — на несколько миллиметров от места его проникновения в перстне-щитовидную мембрану.

Осциллограмма показывает, что когда нет никакого звука, осциллографическая кривая практически находится в покое. Во время звукообразования эта кривая от нижнего гортанного нерва показывает правильные колебания, имеющие ту же частоту, что и линия голоса. Частота колебаний нервных токов изменяется вместе с изменением высоты звука. С целью исключения всяких влияний нефизиологического характера опыт был неоднократно повторен с электродами различной формы и после удаления усилителя из операционного зала. Кроме того, если электрод удаляли с нерва и прикладывали к мышечной ткани, регулярность частоты исчезала.

С целью определения направления, в котором происходят изменения потенциала, нижний гортанный нерв был рассечен, и запись производилась с одной стороны, с центрального конца нерва, с другой — с периферического конца. Запись с центрального конца нерва показывала еще регулярные колебания с частотой, равной частоте записи звука. Диапазон частот по этим наблюдениям простирался от 380 до 1800 кол/сек. Поэтому мы предположили, что отмеченные изменения потенциала идут от центрального органа к гортани.

Мы не можем настаивать на том, что эти регулярные изменения потенциала порождаются в наиболее высоких центрах координации. Возможно, что верхний гортанный нерв является эфферентной ветвью, осуществляющей рефлекторно-проприоцептивный механизм, используя при этом нижнегортанную ветвь как афферентную.

Записи, сделанные с верхнего гортанного нерва, не обнаруживают регулярных колебаний, но отмечают лишь неправильные изменения напряжения небольшой амплитуды и медленной частоты. Это говорит о том, что гортанный нерв в высшей степени чувствителен.

Рассечение гортанного нерва влечет за собой окончательное изменение тока на осциллограммах нижнего гортанного нерва. Кажется, что после этой операции со стороны рассеченного нерва исчезают описанные выше регулярные колебания. Хотя это не доказывает, что верхний гортанный нерв служит эфферентной ветвью в рефлекторной дуге, но все же говорит в пользу предложенного нами объяснения регулярных колебаний, наблюдаемых в нижнем гортанном нерве».

ФИЗИОЛОГИЯ КОЛЕБАНИЙ ГОЛОСОВЫХ СВЯЗОК

Классическая миоэластическая теория, ее недостатки и несовершенство

Поскольку у человека нет специального органа, очень затруднительно объяснить фонацию при помощи только общих законов физики или только общих свойств мышечной и нервной ткани. Лишь применение общих законов с учетом данных нейромышечной физиологии может дать объяснение явлений фонации.

В те времена, когда физиология мышц и нервов была мало или плохо известна, то есть до 1870 года, в науке о голосе разрабатывались только механические теории.

Публикация первых серьезных работ по физиологии мышц вызвала к жизни фонационные теории механико-физиологического характера, которые живут и в настоящее время.

Однако с 1907 года работы г-жи и г-на Лапик осуществили в физиологии нервной деятельности настоящую коперниковскую революцию, которая, продолженная во всех странах их учениками, должна была рано или поздно привести к уточнению наших представлений о фонации в смысле улучшения знаний и прежде всего в том, что касалось ритмической нервной деятельности. Настоящая работа, в сущности, является первой попыткой этого рода, особенно ее вторая часть.

Во всем, что касается фонации, можно отметить в течение нескольких веков улучшение систем объяснения этого явления в связи с общим прогрессом смежных с фониатрией наук.

Прежние периферические теории

До Лонже (1860) и даже до Лермуае (1886) считали, что голосовые связки являются свободными перепончатыми мембранами или язычками, которые ток воздуха заставляет колебаться. Перстне-щито-черпаловидная мышечная система имеет целью лишь установку связок поперек трахеи и обеспечение для них надлежащего натяжения. Поэтому Мюллер (1839) пытался экспериментировать на искусственной гортани, располагая на дыхательной трубке две резиновые мембраны, натягиваемые гириями различного веса. Спустя 47 лет Лермуае повторяет опыты Мюллера, используя мертвую человеческую гортань.

Несомненно, что в подобных опытах всегда можно получить звуковые колебания, но они требуют чрезмерного продольного натяжения и значительного расхода воздуха. Кроме того, полученные колебания осуществляются в направлении потока воздуха. К тому же уже очень старый, многократно повторенный эксперимент Лисковиуса (1814) показывает, что во время фонации можно приложить к голосовым связкам тампон из ваты, не ухуд-

шая колебаний, что было бы несовместимо с вертикальным направлением колебаний.

В 1870 году Гийёмен, профессор физики в Алжире, создает новую теорию. Заимствовав некоторые мысли Савара и довольно спорные наблюдения бельгийского монаха Лоотенса, сделанные над движением воздуха в органных трубах, Гийёмен вывел заключение, что голосовые связки вовсе не колеблются и что периодические изменения давления воздуха, возникающие на уровне голосовой щели, происходят от вихревых потоков, зарождающихся в морганиевых желудочках, объем которых регулирует высоту звука.

Эти аэродинамические теории имели очень быстрый, но кратковременный успех. Начиная с 1911 года хорошие стробоскопические наблюдения, сделанные в Германии многими исследователями, среди которых можно назвать и Музехольда, неопровержимо установили, что голосовые связки колеблются, но в горизонтальной плоскости, то есть способом, совершенно отличным от колебаний перепончатых мембран и язычков.

К 1910 году некоторые французские авторы, в том числе и П. Бонье, тогда ларинголог Парижской консерватории, пытались еще совместить колебания голосовых связок с идеями аэродинамической теории, создавая чисто гипотетические модели работы связок и морганиевых желудочков. Но лишь в Германии в трудах Эвальда (1898) и Вертло (1910) появились новые концепции.

Эвальд, тогда профессор медицины в Страсбурге, сконструировал модель язычков с валиками, которые колебались в строго горизонтальном плане, как голосовые связки (модель была усовершенствована Вертло спустя 10 лет). Более того, изобретательный физиолог, Эвальд создает смелую, чисто физиологическую теорию колебаний голосовых связок, допуская, что одна связка, отделенная от другой током воздуха, возвращается в медиальное положение вследствие местного проприоцептивного мышечного напряжения, или короткого рефлекса, который рождается собственной деформацией.

Но если модель язычков с валиками и сохранилась, то мышечная проприоцептивная теория не была долговечной, так как почти все физиологи считали, что она не способна порождать колебания выше 20 в сек.

Итак, мы приблизились к миоэластическому объяснению явления колебаний связок, которое отличается от теории Эвальда, но в такой же мере, по нашему мнению, неудовлетворительно и недолговечно.

Современная миоэластическая теория

Согласно этой теории, любой маленький плоский элемент нижней поверхности связок подвергается действию в первом приближении следующих сил;

а) сначала подвязочному давлению, которое действует на него перпендикулярно;

б) затем натяжению краев, которое возникает в плоскости покоя, но когда голосовая связка деформируется, появляется наклонная к этой плоскости равнодействующая сила;

в) силе упругости, порожденной деформацией мышцы, противоположной подсвязочному давлению.

Изучение такой системы сил позволяет объяснить зарождение колебаний. Голосовые связки, прилегающие друг к другу, то есть в начальной фазе смыкания, называемой «фонационной позицией», находятся в состоянии сокращения под действием нервного прилива или достаточной тонической стимуляции и благодаря этому сокращению обеспечивают закрытие голосовой щели, оказывая в то же время некоторое сопротивление подсвязочному давлению. Когда подсвязочное давление вырастает под действием выдыхательной мускулатуры, голосовые связки в конце концов разъединяются, дают возможность пройти воздушной струе и возвращаются в положение смыкания в результате сил, рожденных от их деформации и обязанных собственной эластичности сокращенной мускульной ткани. Таким образом, их колебания — явление чисто периферическое, обусловленное упругостью мышечной ткани. Нервный импульс принимает участие здесь лишь для того, чтобы обеспечить голосовым связкам определенную степень натяжения в соответствии с высотой звука. Но когда эта степень натяжения обеспечена, колебания продолжают автоматически силами упругости и подсвязочным давлением.

Предложенная теория прекрасно объясняет работу голосовых связок на многочисленных механических моделях, сконструированных Эвальдом и Ветло, в которых использовались упругие перепонки с валиками.

Эти механические модели не только создавали колебания в горизонтальной плоскости, но позволяли экспериментировать с анатомическими препаратами, извлеченными из гортани человека или телят.

Однако проблема состоит в том, чтобы узнать, колеблются ли голосовые связки в жизни, следуя этому механизму, то есть соответствует ли такой механизм всем тем известным явлениям, относящимся к способам колебаний, нормальным и патологическим, которые были нами описаны в первой части настоящей работы.

Недостатки и несовершенство современной миоэластической теории

1. Трудности начинаются с того момента, когда хотят, исходя из этой теории, объяснить возможность филирования звука, переходящего от *piano* к *forte*, и наоборот, постепенно увеличивая или уменьшая подсвязочное давление. Если ссылаются на то, что это возрастание и уменьшение давления совпадает с внутренним со-

кращением голосовой связки, подвергаемой наблюдению, то взятый звук должен сначала повыситься, потом понизиться. Надолечный допускает даже, что сокращение внутренней щито-черпаловидной мышцы противоположно подсвязочному давлению! С другой стороны, если это сокращение не изменяется, то амплитуда вибрации, слабая на *piano*, должна возрастать на *forte* — а ведь непосредственное наблюдение показывает при грудном голосе как раз обратное (наблюдение 1 и 2).

2. Такие же трудности возникают при попытке объяснить, что можно петь *piano* в высоком регистре, то есть при относительно слабом подсвязочном давлении. Наблюдение показывает, что сокращение гортанного сфинктера на верхнем регистре очень значительно. Такое сокращение, согласно миоэластической теории, создает необходимость пропорционального увеличения соответствующего подсвязочного давления, чтобы привести в движение голосовые связки. Тогда как же можно петь *piano* в верхнем регистре, как это делают все опытные певцы?

3. Трудности подобного характера возникают и тогда, когда пытаются объяснить, каким образом одна гортань может издавать при грудном голосе звуки различной высоты, обнимающие диапазон до двух октав. Миоэластическая теория допускает «прогрессивное сокращение» внутренних щито-черпаловидных мышц. Но что можно понимать под этим, если пользоваться физиологическими понятиями? Если дело касается мускула во всей его целостности, совмещение этого факта с законом «все или ничего» может представить трудности. Если же это определенное количество волокон, возрастающее при повышении звука от низкого к высокому, то можно думать, что подобная изменчивость, настолько точно расположенная от низкого к высокому регистру, плохо согласуется с известными нам анатомическими условиями иннервации этого мускула¹.

И, наконец, если даже считать, что эта трудность побеждена, как объяснить возможность для певца свободно реализовать атаку звука желаемой высоты и такой постоянной точности? Если певец хочет взять, к примеру, *d*¹ — ошибка в интонации не превышает всего 3—4 колебаний, что по миоэластической теории предполагает немедленную произвольную реализацию сокращения внутренних щито-черпаловидных мышц с экстраординарной нюансировкой интенсивности. Зачем же реализация, если предположить, что она возможна, должна находиться в зависимости от слуховой памяти объекта исследования?

4. Наблюдения доказывают, что при фальцетном голосе внутренние щито-черпаловидные мышцы не сокращаются или если и

¹ Автор в этой работе не учитывает регистровую перестройку голосовых мышц при повышении тесситуры. Как показывают томографические рентгеновские исследования, с повышением звука уменьшается масса включения голосовых связок в процессе фонации, то есть меньше мышечных волокон включается в работу в высоком регистре. — *Примеч. Н. А. Вербовой.*

сокращаются, то очень слабо или частично. По миоэластической теории, звуки, издаваемые в таких условиях, должны быть очень низкими, гораздо более низкими, чем при грудном голосе. Опыт показывает обратное.

5. Всякая гипотония, даже значительная, внутренних щито-черпаловидных мышц сопровождается ухудшением тембра голоса, но никогда не изменяет высоту звука. Почему же высота звука не понижается при таких повреждениях?

6. Я показал, что ротоглоточный резонатор оказывает во время фонации значительное воздействие на колебания голосовых связок. Это подтверждает непосредственное стробоскопическое наблюдение (§ 24—28) и различные эксперименты. Тарно даже предположил, что это воздействие может быть основой изменения двигательной способности голосовых связок, хорошо заметного при ларингоскопировании.

А ведь из работ Тренделенбурга и Вулштейна, с их исключительно качественным опытным материалом, видно, что воздействие резонатора на механические модели язычков с валиками, функционировавшие точно по схеме миоэластической теории гортани, было нулевым.

Так как опыты Тренделенбурга и Вулштейна с научной точки зрения безупречны, мы вынуждены вывести заключение, что голосовые связки у живых существ повинуются динамике другого происхождения, чем та, которая приводила в движение искусственные гортани Тренделенбурга и Вулштейна, даже снабженные анатомическими препаратами, заимствованными из человеческой или телушей гортани.

7. Для объяснения возникновения колебаний голосовых связок миоэластическая теория нуждается в предварительном смыкании голосовой щели, предназначенной для того, чтобы позволить в достаточной степени поднять подсвязочное давление. А между тем из обычных наблюдений известно, что голосовые связки могут начать колебаться без того, чтобы они находились в медиальном положении смыкания, и это же подтверждает наблюдение в случаях пареза черпаловидных мышц.

8. Опыты, которые я осуществил вместе с доктором Гардом, показали, что кокаинизация, доведенная до внутренних щито-черпаловидных мышц и до входа в гортань, не уничтожает вокальной деятельности: если тембр голоса очень ухудшается и эмиссия открытых звуков затруднена, то голосовые связки продолжают колебаться на всем протяжении вокального диапазона до высоты, желаемой исполнителю; это свидетельствует, что внутренний механизм, необходимый для возникновения колебаний связок, заметно еще не затронут.

Наблюдаемое явление находится в несоответствии с классической миоэластической теорией: согласно схеме данной теории, кокаинизация, доведенная до внутренних щито-черпаловидных мышц, должна сделать невозможными колебания по крайней мере в нижнем регистре и возможными только случайно в высоком регистре

вследствие чрезмерной нервной стимуляции. Между тем ничего подобного не происходит, и скорее затрудняется эмиссия высоких звуков, которые восстанавливаются самыми последними, хотя эта эмиссия остается всегда возможной.

9. Как по миоэластической теории объяснить, что высота звука изменяется при применении глушителя, в особенности — что слуховое внимание и слуховая память могут помешать этому изменению при полном отсутствии чувственного слухового контроля?

10. Как по миоэластической теории объяснить, что одна голосовая связка может во время фонации быть неподвижной в медиальном положении, без всякого изменения своего внешнего вида, в то время как парная ей другая связка вибрирует нормально? И как можно объяснить, что колебания обеих связок могут быть уничтожены, в то время как обе связки нормально сокращаются и прилегают друг к другу в нормальном фонетическом положении смыкания?

11. Как по миоэластической теории объяснить, что голосовые связки могут вибрировать с разницей фаз порядка половины периода (чередующиеся вибрации Ортеля и Вейса)?

При этом способе колебаний левая голосовая связка отодвигается от медиальной гортанной линии, в то время как правая к ней приближается, и наоборот, правая связка отодвигается от медиальной линии тогда, когда левая к ней приближается. Такая форма колебаний совершенно необъяснима при помощи классического тезиса о возникновении колебаний в результате борьбы эластического порядка на уровне голосовой щели. Исходя из классического тезиса, нельзя никак понять, каким образом одна голосовая связка может отодвигаться от медиальной гортанной линии под влиянием подсвязочного давления, в то время как другая к этой линии приближается.

Первые заключения

1. Недостатки и несоответствия, отмеченные выше, делают вполне очевидными несостоятельность как миоэластической, так и всех других старинных периферических теорий. Дело в том, что все эти теории недооценивают роль нервных факторов и в особенности мозговых центров в генезисе колебаний голосовых связок.

Анализ патологических колебаний у субъектов с пораженной центральной нервной системой приводит к выводу, что колебания голосовых связок осуществляются при помощи функций центральной нервной системы, и особенно за счет ее способности к ритмической деятельности.

2. Теория колебаний голосовых связок должна быть независимой от физиологии смыкания голосовой щели. Я показал, что в нормальных условиях могут возникать колебания

голосовых связок без замыкания голосовой щели, и наоборот, замыкания голосовой щели — при совпадающем повышении внутри-трахеального давления без того, чтобы возникали колебания голосовых связок. Кроме того, болезни создают иногда диссоциацию¹ этих двух актов, позволяя наблюдать или параличи смыкания без изменения колебаний связок, или параличи колебаний без нарушения смыкания. Замыкание голосовой щели и колебания связок являются двумя различными и независимыми физиологическими актами, которые теория фонации не должна смешивать, делая из первого условие для реализации второго.

¹ Диссоциация — разъединение.

СОДЕРЖАНИЕ

Е. Рудаков. Рауль Юссои и его исследования	3
--	---

Первая часть

ФИЗИОЛОГИЯ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

Общие понятия

Предисловие	40
От автора	42
Глава I. Физиология фонационных функций гортани	44
§ 1. Анатомия гортани. Работа К. Гёртлера (1948—1950)	44
§ 2. Действие гортанных мышц. Приведение голосовых связок в фонационное положение	48
§ 3. Длительные импульсы возвратного нерва во время фонации. Опыты А. Мулонге (Париж, 1952—1953)	50
§ 4. Особые физиологические свойства возвратного нерва. Работы Э. Корабёфа и Р. Гайяра (1955)	51
§ 5. Реакция голосовых связок на двигательные импульсы возвратного нерва. Электромиографические опыты Ж. Портмана (Париж, 1954—1957)	51
§ 6. Об анатомии и гистологии правого и левого возвратного нерва. Работы Елены Кромпотич (1956—1958)	53
§ 7. Колебания голосовых связок без подвязочного давления воздуха	53
§ 8. Изучение колебаний голосовых связок по методу Ф. Фабра (1957)	55
§ 9. Как формируется первоначальный звук гортани	58
§ 10. Церебральный генезис колебаний голосовых связок (1950)	58
§ 11. Возбудимость возвратного нерва и ее роль в различных вокальных явлениях	59
§ 12. Первый регистр голоса человека	61
§ 13. Второй регистр голоса человека	62
§ 14. Переход из первого во второй регистр. Исследования Э. Корабёфа, П. Лаже, Ж.-Л. Робена (Париж, 1955—1956)	63
§ 15. «Высшие регистры» голоса человека. Мадо Робен	64
§ 16. Прикрытие открытых звуков в первом регистре, или «переходы» в мужских голосах	64
§ 17. Физиологический анализ механизма прикрытия открытых звуков	66

ка — защитный механизм голосовых связей	69
§ 18. Физиологическая природа прикрытия звука. Прикрытие зву-	
§ 19. Исторические данные о появлении прикрытых звуков в пении	72
§ 20. Прикрытие открытых звуков во втором регистре у женских го-	
лосов. Случаи «высших регистров»	72
§ 21. Голос микст	73
§ 22. О роли подвязочного давления при фонации	73
§ 23. Первая и основная роль подвязочного давления	73
§ 24. Расход воздуха за один период при нормальной фонации	74
§ 25. О неприменимости закона Л. Бернулли к певческой фонации	74
§ 26. О независимости высоты звука от подвязочного давления	75
§ 27. Косвенная роль подвязочного давления	76
§ 28. Общий расчет сил, действующих на голосовые связи во	
время фонации	79
§ 29. Поддержка подвязочного давления	80
Глава II. Физиология фонации ротоглоточных полостей	81
§ 30. Акустическая роль ротоглоточных полостей	81
§ 31. Акустическая характеристика первоначального звука гортани	83
§ 32. Главные акустические свойства рупора по И. Рокару (1935)	84
§ 33. Приложение теории И. Рокара к изучению акустических	
свойств ротоглоточного рупора	86
§ 34. Тембр гласной и тембр верхних частот (ТВЧ)	87
§ 35. Физиологическое происхождение тембра области формант глас-	
ных. Основные фонационные формы ротоглоточного рупора.	
Десять основных гласных по Хеллвагу (1781)	89
§ 36. Замечания об относительной стабильности формант гласных	91
§ 37. Изменение тембров гласной в зависимости от регистров.	
Общая пирамида гласных	92
§ 38. О роли морганиевых желудочков в образовании гласных	94
§ 39. Физиологическое происхождение тембра верхних частот. Его	
значение для голоса	95
§ 40. Физиологические и акустические явления при назализации	96
§ 41. Импеданс, приведенный на голосовые связи	98
§ 42. Импеданс как защитный механизм голосовых связей	98
§ 43. Дополнительное действие импеданса. Влияние на фонацию	
акустических свойств помещений	100
§ 44. Об анатомо-физиологической структуре стенок ротоглоточ-	
ного рупора	103
Глава III. Роль внутренних ощущений в пении	105
§ 45. Об общей природе внутренней чувствительности фонационного	
происхождения	105
§ 46. Периферическая клавиатура внутренней чувствительности фона-	
ционного происхождения	106
§ 47. Специфические восходящие пути внутренней чувствительности	
фонационного происхождения	107
§ 48. Восходящая система диффузных активизаторов Маруци —	
Магуна	108
§ 49. Вокально-телесная схема (А. Сулерак, 1955)	109
§ 50. Нёбные области — активизаторы фонации	110
§ 51. Механизмы активизации	111
§ 52. О других афферентных возбуждениях, активизирующих то-	
нус гортани	113
§ 53. О субъективной направленности внутренних ощущений	115
§ 54. Автоматическое управление и самоконтроль ощущений звуко-	
образования на основе вокально-телесной схемы	117
§ 55. Обратные связи фонационного происхождения. Анализ эффекта	
Томатиса (1954)	118

Глава IV. Классификация и классифицирование певческих голосов	125
§ 56. Классификация и классифицирование	121
§ 57. Традиционные классификации	121
§ 58. Старые способы классифицирования певческих голосов	122
§ 59. Основные данные физиологии фонации	126
§ 60. Физиологическая классификация певческого голоса в зависи-	
мости от диапазона	127
§ 61. Физиологическая классификация певческих голосов. Общая	
таблица Юссона и Шеня (1954)	132
§ 62. О «промежуточных голосах»	133
§ 63. О мужских и женских голосах с одинаковой хронаксией	134
§ 64. О факторах, изменяющих возбудимость возвратного нерва	135
§ 65. Непрерывное повышение высоты стандартного камертона и	
физиологические последствия	136
§ 66. Классификация голосов по мощности	137
§ 67. Классификация певческих голосов в зависимости от акусти-	
ческих характеристик	138
§ 68. Общая классификация амплуа в оперных театрах. Подбор	
исполнителей для данной оперы	139

Вторая часть

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ ПЕВЧЕСКОЙ ФОНАЦИЕЙ

Глава V. Управление фонацией	142
§ 69. «Управление» как общее понятие	142
§ 70. Классификация систем управления фонацией	142
§ 71. Типы вокальной техники	143
Глава VI. Требования к оперному голосу	143
§ 72. Четыре основных требования	143
§ 73. О диапазоне голоса	144
§ 74. О точности певческой интонации	148
§ 75. О силе голоса	148
§ 76. О тембре певческого голоса	151
§ 77. Требование неутонченности	155
§ 78. Что считается потерей голоса в оперном пении	156
§ 79. О роли вокального воспитания	157
Глава VII. Классификация различных типов вокальной техники	158
§ 80. Определение вокальной техники	158
§ 81. Физиологические элементы вокальной техники	158
§ 82. Выбор критерия для классификации	158
§ 83. Основные типы вокальной техники как функции импеданса	159
Глава VIII. Физиологический анализ различных типов вокальной техники со слабым импедансом	160
§ 84. Главные нервно-двигательные признаки	160
§ 85. Главные акустические признаки	161
§ 86. Включение главных защитных механизмов гортани	162
§ 87. Проявления чувствительности	162
§ 88. Вокально-телесная схема	163
Глава IX. Физиологический анализ типов вокальной техники с сильным импедансом	164
§ 89. Главные нервно-двигательные признаки	164
§ 90. Главные акустические признаки	164
§ 91. Включение главных защитных механизмов гортани	165
§ 92. Проявления чувствительности	166

§ 93. Вокально-телесная схема	168
§ 94. Сравнение основных типов вокальной техники	168
Глава X. Физиологический анализ типов назализованной вокальной техники	168
§ 95. Назализованные типы вокальной техники	168
§ 96. Главные чувствительно-двигательные признаки	170
§ 97. Главные акустические признаки	171
§ 98. Включение защитных механизмов гортани	173
§ 99. Анализ внутренних ощущений	173
§ 100. Вокально-телесная схема при назализации	175
§ 101. График типов вокальной техники	175
§ 102. О технике пения с большой силой звука	175
§ 103. О пении без вокальной техники или пении с любой техникой	176

Третья часть

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ВОСПИТАНИЯ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

Глава XI. Классификация основных методов воспитания певческого голоса	178
§ 104. Определение методов воспитания певческого голоса	178
§ 105. Разнообразие методов вокального воспитания	178
§ 106. Пять основных групп педагогических методов	179
Глава XII. Методы прямого воздействия на установки и движения мышц	180
§ 107. Многообразие этих методов. Их классификация	180
§ 108. Воздействие на дыхание. Опора дыхания	180 ✓
§ 109. Физиологический анализ опоры дыхания	181 ✓
§ 110. Пение с опорой и соответствующая вокальная техника	182
§ 111. Комплексное воздействие на установки ротоглоточных полостей. Постепенные поиски низкого положения гортани	182 ✓
§ 112. Штаупринцип Ж. Армина (1909)	183
§ 113. Расширение и эластичность — принципы Е. Фернау-Горн (Штутгарт, 1954)	184
§ 114. Использование звка в педагогической практике	185 ✓
§ 115. Прямое воздействие на форму ротового отверстия	186
§ 116. Воздействие на артикуляцию согласных	187
§ 117. О принципе прямого воздействия на мышечные движения и установки	187 ✓
Глава XIII. Методы прямого воздействия на тембр	188 ✓
§ 118. Общая природа и основные принципы этих методов	188
§ 119. Классификация методов прямого воздействия на тембр	189
§ 120. Метод А. Лабрие или вокальная настройка путем компенсации гласных	189 ✓
§ 121. Выбор гласных для компенсации по методу Лабрие	190 ✓
§ 122. Физиологические следствия метода Лабрие	191 ✓
§ 123. Два крайних типа вокальной техники: «темный» голос и «белый» голос	192
§ 124. Упрощенные методы воздействия на тембр гласных	192 ✓
Глава XIV. Методы, использующие внутренние ощущения певца	193
§ 125. Принцип этих методов	193
§ 126. Два типа внутренних ощущений	194
§ 127. Метод Ж. Морана. Устойчивая вибрационная точка в передней части неба	195
§ 128. Практические поиски точки Морана	196

§ 129. Метод Эдуарда Руара — наблюдения за ощущениями губ и рта	197
§ 130. Методы, использующие субъективные ощущения направленно-сти звукообразования. Наблюдения Лили Леман. Субъективная оценка направленности звука у Мадо Робен и других французских оперных певцов	197
§ 131. Заключительные замечания о методах, основанных на личной оценке внутренних певческих ощущений	201
Глава XV. Методы, использующие эмоциональную настройку певца	202 ✓
§ 132. Общий принцип этих методов	202
§ 133. Педагогические приемы Рауля Дюамеля (1929)	203
§ 134. Критика методов этого типа	203
§ 135. Воздействие выразительности на звукообразование у профессионального певца. Работа Ж. Вайана (1954)	204
§ 136. О методе Пьера Бонье (1907)	207
Глава XVI. Методы, использующие обратные связи слухового происхождения	208
§ 137. Общий принцип этих методов	208
§ 138. Первые результаты, описанные А. Томатисом (1954)	208
§ 139. Вторые результаты, описанные А. Томатисом (1957)	209
§ 140. Теоретически возможный метод вокального воспитания по А. Томатису	209
§ 141. Семейный вокальный миметизм	210
§ 142. Обратные слуховые связи и роль подражания в преподавании пения	211
§ 143. О воспитании тембрального слуха певца	211

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И АКУСТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

Вступление. О некоторых особенностях явлений фонации у человека	214
---	-----

Первая часть

Наблюдения и опыты. Ларингостробоскопические наблюдения, сделанные в обычных условиях (характер колебаний нормальный)	219
Первый класс. Наблюдения, относящиеся к эмиссии звука постоянной высоты при изменяющемся подсвязочном давлении	219
[Первые выводы из наблюдений]	222
Второй класс. Наблюдения, относящиеся к эмиссии звука изменяющейся высоты при постоянном подсвязочном давлении, взятого грудным голосом, открытым, прикрытым и фальцетом	222
Первые заключения, касающиеся эмиссии грудных открытых звуков	229
Первые заключения, относящиеся к эмиссии грудных прикрытых звуков	231
Первые заключения, относящиеся к эмиссии фальцета	232
Третий класс. Наблюдения, относящиеся к прикрытию звука при переходе к e^1 (мужские голоса)	233
Первые заключения, относящиеся к прикрытию звука	234
Другие непосредственные наблюдения (не ларингоскопические)	235
Четвертый класс. Наблюдения, относящиеся к эмиссии звука, когда изменяют гласную или окраску голоса при постоянной высоте и подсвязочном давлении	236
Первые заключения, относящиеся к эмиссии звуков различных тембров при постоянной высоте и подсвязочном давлении	238
Пятый класс. Наблюдения, относящиеся к некоторым частностям поведения голосовых связок во время их нормальных колебаний	239
Колеблется ли при фальцете только край голосовой связки?	239
Существует ли при фальцетном голосе «вертикально-составляющая» колебаний?	240

Патологические формы колебаний связок	241
Первый класс. Изменения, касающиеся амплитуды колебаний	242
Одностороннее расстройство амплитуды	242
Двустороннее расстройство амплитуды	243
Расстройство амплитуды, обнаруживающееся на определенном участке диапазона	243
Изменение фазы колебаний обеих связок	244
Второй класс. Изменения, затрагивающие форму колебаний	245
Изменение фазы смыкания	245
Изменение фазы открытия	245
Изменение длины колеблющейся части	247
Третий класс. Изменения, касающиеся частоты колебаний	248
Одна связка колеблется с меньшей частотой, чем другая, и на всем диапазоне	248
Опыты Линдемманна (1930)	248

Вторая часть

Физиология колебаний голосовых связок

Классическая миоэластическая теория, ее недостатки и несовершенство	250
Прежние периферические теории	250
Современная миоэластическая теория	251
Недостатки и несовершенство современной миоэластической теории	252
Первые заключения	255

Рауль Юссон

ПЕВЧЕСКИЙ ГОЛОС

Исследования основных физиологических
и акустических явлений певческого голоса

Редактор *Е. Дурандина*

Художник *Б. Кузнецов*

Художественный редактор *А. Головкина*

Технический редактор *И. Левитас*

Корректор *Г. Федяева*