

Г. А. Оганесян и К. А. Кяндарян

Состояние надсвязочных резонаторных полостей при произношении гласных звуков речи*

(Рентгено-физиологическое исследование)

Изучение физиологии речи связано с различными вопросами, касающимися анатомии, физиологии голосового аппарата, фонетики, акустики звуков речи, резонанса их в надсвязочных резонаторных полостях и физической характеристики голоса (высота, сила, тембр, диапазон и т. п.). Настоящая работа посвящена рентгенографическому изучению надсвязочных резонаторных полостей в момент произношения гласных звуков речи.

Источником звуков речи является голосовой аппарат, состоящий из следующих основных отделов: 1) легкие, бронхи и трахея, подводящие воздушную струю к голосовым связкам; 2) гортань с голосовыми связками, где возникают звуки речи; 3) система надсвязочных воздушных резонаторных полостей гортани, глотки, рта и носа с различной формы дополнительными пространствами, карманами и пазухами. Здесь звуки речи, резонируясь, получают особую окраску. Прежде чем перейти к описанию надсвязочных резонаторных полостей, коротко остановимся на механизме возникновения голоса. Это необходимо для выяснения значения резонаторных полостей в формировании голоса.

Мысль, возникающая на основе языкового материала, является функцией деятельности коры головного мозга. Соответствующие импульсы, исходящие от коры и, в частности, от двигательного центра речи, приводят в движение весь голосовой аппарат. Возникший в гортани голос представляет собой периодические сгущения и разрежения воздуха, под определенным давлением прорывающегося через голосовую щель и приводящего голосовые связки в колебания. В результате этого образуются волны сложного колебательного движения воздуха, физическая характеристика которых хорошо определяется законом Фурье. Возникший звук, называемый первичным, состоит из основного тона и ряда гармонических обертонов.

* Из доклада, прочитанного на научной сессии Института рентгенологии и онкологии Министерства здравоохранения Армянской ССР, 1947 г.

В образовании голоса различают две фазы: фаза колебаний голосовых связок при кратковременно открытой голосовой щели (в момент прорыва сжатого воздуха звук богат обертонами) и фаза относительно длительного закрытия голосовой щели, когда звук постепенно заглушается благодаря поглощению обертонов стенками резонаторных полостей. Часть обертонов первичного звука, попавшего из гортани в систему надсвязочных резонаторных полостей, поглощается стенками этих полостей; оставшаяся часть обертонов резонируется, усиливается в „значительной“ (Л. А. Андреев) степени. Последнее зависит от настройки — собственной частоты колебаний этих полостей, что обусловлено их формой и объемом. Таким путем, звуку придается характерная окраска (тембр). Предполагается, что кроме образования первичного звука в резонаторах возбуждаются собственные колебания с присущей им частотой, но которые быстро затухают. Эти области собственных колебаний резонаторных полостей называются формантами.

Резонаторные полости голосового аппарата подразделяются на *подсвязочные*, находящиеся ниже голосовых связок, и на *надсвязочные*, расположенные выше голосовых связок. Последним, по занимаемому объему и степени их участия в резонансе звуков речи, принадлежит первое место.

Резонирующая роль подсвязочных воздушных полостей — трахеи и бронхов изучена недостаточно. В литературе отмечается большая изменчивость ширины просвета трахеи при произношении различных гласных. Много ценных данных о состоянии этих полостей можно добыть наблюдениями над трахеотомированными больными, у которых отмечаются колебания внутритрахеального давления в зависимости от произносимой гласной (Л. Работнов). Вопрос о резонансе надсвязочных полостей имеет важное значение для объяснения постановки певческого голоса (С. Н. Ржевкин). Нельзя отрицать участие надсвязочных полостей в резонансе грудного голоса, образующегося в укороченной дыхательной трубке и прикрытой голосовой щели, наоборот, значение этих полостей в образовании фальцета — ничтожно. Возможно, что эти полости служат резонаторами при чревовещании и спастической форме гиперкинезии гортани (Л. Работнов и Л. П. Лазаревич).

Резонирующее значение системы надсвязочных воздухоносных полостей — бесспорно. В отличие от других звуков речи, произношение гласных характеризуется постоянством формы надсвязочных резонаторов за время всего периода звучания звука, о чем можно судить по рентгенограммам. Гласные звуки отличаются от согласных также тем, что возникающие в гортани воздушные колебания не встречают в резонаторных полостях препятствия для своего дальнейшего распространения (Тодд, Драгунова, Цветкова и Коф; Белостоцкая Мазурская).

С значением надсвязочных резонаторов в фонетике можно судить, хотя бы по тому факту, что для каж. ой произносимой гласной свойственна характерная форма подвижных, активных частей органов речи. Более того, без участия резонаторных полостей, равно как и при отсутствии голосовых связок или функционировании их в патологических условиях, произношение обычных звуков речи невозможно. Доказательством сказанного является пример больных с искусственной гортанью. У них воздушная струя, пройдя из трахей в систему трубочек, вызывает появление звука, который подводится в надсвязочные резонаторные полости, где и соответственно резонируются формы этих полостей.

Придавая резонаторным полостям ту или иную характерную форму, строго соответствующую каждому звуку, больные снова восстанавливают свой дар речи и даже могут говорить настолько хорошо, что, как об этом пишет Н. Терebinский, громко переговариваются по телефону.

В целях изучения изменений надсвязочных резонаторных полостей, в момент произношения различных гласных, нами были проведены исследования на людях (10 чел.). Рентгенография дает наглядное представление о состоянии надсвязочных резонаторных полостей, об изменениях их формы и объема в зависимости от возраста, пола, произносимой гласной и других факторов. Рентгено-физиологическое изучение отличается простотой и доступностью применения.

В отличие от Расселя (Russel) и Чайба (Chiba), рентгенологически исследовавших надсвязочные резонаторные полости при произношении звуков английской и немецкой речи, мы контрастировали слизистую оболочку полости рта и глотки путем смазывания маслянистой взвесью сернокислого бария. Таким образом была достигнута лучшая видимость мягких тканей. Всего сделано 80 опытов, документированных рентгенограммами и несколькими рентгенокимограммами. В данной статье мы не вдаемся в акустический анализ произносимых гласных, так как это подробно физически исследовано в отдельной работе Г. А. Оганесяна.

Рентгенография производилась в вертикальном положении исследуемых, стоявших с плотно прижатой к кассете боковой поверхностью лица и шеи. Кассета удерживалась на вертикальном штативе при помощи специального приспособления. Расстояние от фокуса трубки до пленки бралось в 1,5 м, чем достигалось минимальное проекционное искажение. Лиц, специально отобранных для рентгенографии надсвязочных резонаторных полостей в момент произношения гласных можно распределить последующим группам: 1) группа детей—девочка 5 лет, 2) мальчика в возрасте 7 и 12 лет; 2) группа мужчин—3 человека в возрасте от 22 до 32 лет; 3) группа 2-х молодых женщин в возрасте 24—26 лет; 4) группа 2-х пожилых женщин, достигших 61 и 68-летнего возраста и полностью лишившихся зубов. У исследуемых лиц

камертоном определялись различные регистры голоса (контральто, баритон, мецо-сопрано и сопрано).

Всего изучено 5 гласных русского алфавита и 6 гласных армянского („А“ - „Ա“, „И“ - „Ի“, „О“ - „Օ“, „У“ - „Ս“, „Э“ - „Է“, „—“ - „Է“). Последняя гласная армянского алфавита „Է“ не имеет себе аналогичной гласной в русском алфавите.

Сложная система надсвязочных-резонаторных полостей, известная в литературе как „надставная труба“, нами подразделяется на следующие составные части, каждая из которых принимает то или иное участие в резонансе.

1. *Полость гортани.* Нам кажется, что указанный выше термин „надставная труба“ неудачен. Правильнее будет рассматривать как „надставную трубу“ не всю систему надсвязочных резонаторных полостей, роль отдельных участков которой различна, а лишь полость гортани. Будучи расположенной непосредственно над голосовыми связками, она имеет форму трубки, представляющей по анатомо-функциональным особенностям совершенно самостоятельную часть резонаторных полостей. Туда в первую очередь попадает образовавшийся звук. В рентгеновском изображении форма этой трубки меняется в зависимости от возраста и пола исследуемого: Так, у детей и женщин она похожа на цилиндр, у мужчин напоминает усеченный конус, широким основанием направленный к голосовым связкам. При произношении различных гласных меняется ширина надставной трубки, особенно верхнего ее конца. В литературе имеются указания о большой „активности“ полости гортани, проявляющейся при резонансе певческого голоса (А. В. Рабинович).

2. *Глоточная трубка* — воздушное пространство глотки в промежутке между надставной трубкой и мягким небом: ее форма меняется в зависимости от положения языка.

3. *Система дополнительных воздушных пространств.* Верхний конец надставной трубки, выступая вместе с надгортанником в полость глотки, образует пазухи, дополнительные воздушные пространства, расположенные между надгортанником, корнем языка и боковыми стенками глотки. Упомянутые воздушные пространства, находящиеся в непосредственной близости от места образования звука — голосовых связок и надставной трубки, проводящей эти звуки, несомненно, принимает участие в резонансе звуковых колебаний. Их форма меняется в зависимости от произносимой гласной. Так, при произношении гласных „И“ - „Ի“ и „Э“ - „Է“ надгортанник больше всего отдален от языка и имеет вертикальное направление, а верхнее отверстие надставной трубки становится шире. Для гласных „А“, „Օ“, „У“, (Ա, Օ, Ս) характерно отодвигание языка назад, что вызывает сужение выхода надставной трубки и прижатие надгортанника в задней поверхности корня языка.

В форме и положении глотки и гортани необходимо отметить некоторые анатомо-физиологические особенности, оказывающие влия-

ние на голос. Органы дыхания у детей отличаются абсолютной малостью размеров и, отчасти, некоторой незаконченностью анатомо-гистологического строения (А. Ф. Тур). У детей гортань относительно узка и расположена более вертикально. У взрослых гортань располагается на 1—2 позвонка ниже, чем у детей, причем у мужчин — ниже, чем у женщин. К периоду полового созревания воронкообразная форма детской гортани преобразуется в цилиндрическую, а голос подвергается изменениям. Отличительные особенности гортани, зависящие от пола, появляются еще раньше. Обызвествление хрящей гортани, очевидно, также оказывает определенное воздействие на окраску голоса. Физиологическое значение морганиевых желудочков в голосообразовании не выяснено и большинство авторов отрицает их участие в резонансе (Л. Работнов). Они хорошо видны на рентгенограммах в виде веретенообразных просветлений, расположенных непосредственно над голосовыми связками.

4. *Ротовая полость.* Вследствие значительной подвижности языка, принимающего при произношении каждой гласной определенное положение, соответствующим образом меняется и форма ротовой полости. Многочисленные возрастные и индивидуальные особенности отражаются на ее форме. Применение контрастного вещества улучшает видимость отдельных ее частей.

5. *Носовая полость.* По С. Н. Ржевкину, носовая полость подобна звуковому фильтру, который своеобразно преобразует и окрашивает звук. Это относится к тем звукам речи, при которых носовая полость остается неизолированной от полости глотки.

Схематическое подразделение надсвязочных резонаторных полостей на двухполостной резонатор (С. Н. Ржевкин, Тренелленбург) обосновывается наличием двух характеризующих областей, часто называемых формантами. Распространенное в литературе представление о двухполостной форме надсвязочных резонаторных полостей, рентгенографированных в момент произношения гласных, схематично и оправдывается только при произношении гласных „А“, „О“, „У“ (Ш. О. П.). Ротовая и глоточная полости отделяются друг от друга суженным промежутком, находящимся между языком, мягким небом и задней стенкой глотки. Нужно учесть, что это не просто двухполостный резонатор, а очень сложная система резонаторных полостей. Форма надсвязочных резонаторных полостей меняется при произношении различных звуков речи и подвергается значительным возрастным, половым и индивидуальным колебаниям. Придавая определенные положения губам, щекам, языку, нижней челюсти, мягкому небу, надгортаннику и надставной трубе, а также поднимая или опуская всю гортань, человек тем самым меняет настройку резонаторных полостей. Это отражается на качестве звука, на его окраске.

Чем выше произносимый звук, тем больше гортань подтягивается кверху и, наоборот, чем ниже звук, тем значительнее опущение гортани. Сказанное легко проверить прощупыванием гортани рукой.

Наглядно это можно увидеть и на рентгенограммах, путем сравнения или измерения соответствующих отелов. Большое внимание в литературе уделяется плотности стенок резонаторных полостей (Л. А. Андреев, С. Н. Ржевкин).

Наши исследования позволяют выделить следующие особенности в момент произношения резонаторных полостей различных гласных.

Гласная „А“—„Ц“. Губы и зубы умеренно отстоят друг от друга. Язык укорочен, отодвинут назад и слегка приподнят в средней и задней частях. Кончик языка не доходит до передних зубов, утолщен и имеет округлую форму. Очертания ротовой полости напоминают изогнутый и несколько уплощенный рог. Мягкое небо и язычок при произношении гласных плотно соприкасаются с задней стенкой глотки и изолируют носовую полость от ротовой. Надгортанник прижат к корню языка. Дополнительные воздушные пространства в этом участке почти не выражены, так как язык отодвинут назад больше, чем при какой-либо другой гласной. Надставная трубка в верхнем отделе сужена. Наиболее суженное место в системе надсвязочных резонаторных полостей при произношении гласной „А“—„Ц“ находится между задним отделом языка, мягким небом и языком. Этот узкий проход, соединяющий воздушные полости рта и глотки, относительно длиннее у детей.

Гласная „О“—„О“. Рот слегка приоткрыт. Резонаторная полость рта больших размеров. Язык, как и при гласной „А“, отодвинут назад, но несколько больше приподнят. На месте противостояния корня языка к мягкому небу образуется проход, соединяющий ротовую полость с полостью глотки. Следует отметить, что положение и форма резонаторных полостей для гласных „А“, „О“, „У“ в основном сходны. Различие заключается в увеличении высоты стояния языка последовательно от гласной „А“, через „О“ к „У“. При гласной „О“ губы О-образно собраны, но в отличие от положения губ при произношении гласной „У“ они меньше выступают вперед. В задней части языка виден двойной контур, обусловленный имеющейся на ней бороздкой.

Гласная „У“—„Ц“. Рот слегка приоткрыт. Губы сжаты в трубочку и сильно выдвинуты вперед. Язык резко укорочен и больше всего приподнят верх, если сравнивать с серией гласных „А“, „О“, „У“. Однако при произношении „У“ это укорочение и высокое стояние языка бывает выражено больше в среднем отделе. Благодаря этой особенности расположения языка, глоточная трубка расширена в верхнем отделе и принимает цилиндрическую форму. Дополнительные воздушные пространства вокруг надгортанника выражены лучше, чем при „А“, что объясняется некоторым передвижением языка вперед.

Гласная „И“—„Ц“. Рот слегка приоткрыт, губы оттянуты. По сравнению с предыдущими тремя гласными соотношение между внутренней и наружной резонаторными полостями резко изменилось. Внут-

ренная полость расширилась и увеличилась за счёт ротовой; язык значительно переместился вперед по направлению к зубам, укорочен и в передней части приподнят к твердому нёбу. Надгортанник отстоит от корня языка больше всего при произношении гласной „И“. Дополнительные воздушные пространства вокруг него хорошо видны. Глоточная трубка — цилиндрической формы и расширена в верхнем отделе. Ротовая полость настолько уменьшена в высоте, что между спинкой языка и нёбом остается равномерно суженный проход. У пожилых людей описанное уплощение формы ротовой полости выражено лучше, чем у детей и молодых женщин.

Гласная „Э“ — „ѣ“. Рот открыт меньше, чем при произношении „А“, но больше, чем при „И“. Язык поддался вперед и кончиком соприкасается с нижними резцами. Ротовая полость уменьшена, а расширенная в верхнем отделе глоточная трубка постепенно переходит в суженную ротовую полость. Передняя часть языка слегка утолщена. Надгортанник откинут назад. Дополнительные воздушные пространства вокруг него хорошо выражены. Спинка языка вогнута и имеет двойной контур. При произношении гласной „Э“ резонаторные полости можно сравнить с одной сложной резонаторной полостью с отводящим каналом.

Гласная „Է“ (армянская). Рот открыт настолько мало, что верхние и нижние губы и зубы незначительно отстоят друг от друга. Язык уплощен больше, чем при произношении остальных гласных, а в переднем отделе имеет даже небольшую вогнутость. Задняя часть языка оттянута назад. Вместе с задней стенкой глотки она ограничивает суженный проход, соединяющий воздушное пространство глотки с таковой в ротовой полости. Более равномерное заполнение последней выражено больше, чем при гласных „Э“ (ѣ) и „И“ (ѣ). Увеличение ротовой полости обусловлено низким стоянием уплощенного языка, кончик которого доходит до зубов. При произношении гласных „А“, „У“ и „О“ этого не происходит. Мягкое нёбо и язычок отделяют ротовую полость от носовой. Надгортанник слегка отстает от корня языка.

Для определения состояния резонаторных полостей в необычных, патофизиологических условиях специально были изучены две пожилые женщины. Будучи совершенно беззубыми, обе они носили вставные зубные протезы. При этом было учтено и использовано интересное сочетание обстоятельств. Старшая из этих женщин 30 лет постоянно носит вставные зубные протезы, в то время как другая начала пользоваться ими за несколько дней до опытов. Понятно, что ношение протезов вполне обычное явление для первой женщины, привыкшей к такому состоянию; вторая же женщина очень затруднялась в разговоре со вставленными протезами и весьма свободно делала то же без них. Указанное различие голосов, в зависимости от наличия или отсутствия зубных протезов, явно улавливалось слухом, а поэтому было интересно изучить изменения формы и положения резонаторных полостей. Над каждой из упомянутых женщин были произведены 2

серии опытов последовательного произношения 6-ти гласных со вставленными зубными протезами и без них.

Как и следовало ожидать, анализ опытов подтвердил наше предположение об изменениях надсвязочных резонаторных полостей и выяснил их характер. Больше всего изменяется форма ротовой полости. Остальные отделы надсвязочных резонаторных полостей пассивно приспосабливаются к новым условиям, главным образом, благодаря хорошей подвижности языка. Типичная для каждой гласной общая форма резонаторных полостей сохраняется приблизительно одной и той же. Более подробное ознакомление с рентгенограммами параллельных опытов в условиях ношения или отсутствия зубных протезов дополнительно выявляет небольшие изменения резонаторных полостей. Эти изменения возникают в результате приспособления органов речи к новому патофизиологическому состоянию. Опыты с беззубыми женщинами наглядно свидетельствуют о способности надсвязочных резонаторных полостей человека приспосабливаться к более или менее нормальному функционированию, путем соответствующего изменения формы, следовательно и надстройки. Это может происходить даже в условиях отсутствия зубов, при наличии выраженной атрофии альвеолярных отростков или, когда в ротовой полости находятся также инородные тела—как вставные зубные протезы. Все эти приспособительные процессы совершаются благодаря нервной регуляции. Неправильное произношение отдельных звуков речи, дошедшее до коры головного мозга, вызывает соответствующее активное изменение подвижных частей резонаторных полостей.

Значение применения рентгенографии при изучении физиологии речи не ограничивается только рассматриванием этого вопроса. Мы полагаем, что рентгенографическое изучение надсвязочных резонаторных полостей при произношении различных звуков речи, может оказать большую помощь в деле наглядного и более легкого обучения глухонемых правильной речи. В этом вопросе рентгенография является ценным дополнением к другим известным методам обучения, основанных на использовании тактильно-вибрационной чувствительности и высоко развитой наблюдательности глухонемых, благодаря чему они по мимике улавливают речь говорящего и сами учатся говорить. Речь глухонемых часто несколько отличается от обычной. Это происходит вследствие того, что придавая органам речи, в том числе надсвязочным резонаторным полостям, то или иное положение, характерное для каждого произносимого звука, они руководствуются субъективными, „кинестическими“ (Ray) ощущениями о состоянии органов голосового аппарата. Поэтому полученные с помощью рентгеновых лучей объективные данные о надсвязочных резонаторных полостях, возможно, найдут себе новую область применения в качестве наглядного пособия обучения глухонемых правильной речи.

В ы в о д ы

1. Рентгенография является вполне доступным и ценным методом изучения положения и формы надсвязочных резонаторных полостей в момент произношения звуков речи и, в частности гласных.

2. При произношении гласных отмечается постоянство формы надсвязочных резонаторных полостей в течение всего периода звучания голоса. В момент образования голоса резонаторные полости принимают форму, характерную для каждой гласной.

3. Надсвязочные резонаторные полости имеют большое значение в окраске голоса. Различие тембра голоса есть индивидуальная особенность человека и зависит от формы и объема резонаторных полостей.

4. Надсвязочные резонаторы представляют собой сложную систему полостей, из которых особое значение имеет полость гортани.

5. Для каждой гласной отмечается общее сходство формы надсвязочных резонаторных полостей, независимо от пола и возраста. Изменение объема этих полостей определяется, главным образом, возрастом исследуемого объекта. Подробное же изучение материала выявляет небольшие индивидуальные колебания в их форме.

Институт рентгенологии и онкологии

Министерства здравоохранения

АрмССР

Поступило 3 XII 1954 г.

Գ. Զ. Հովհաննիսյան, Կ. Ս. Քյանգարյան

ՎԵՐԿԱՊԱՆԱՅԻՆ ՌԵԶՈՆԱՏՈՐ ԽՈՌՈՋՆԵՐԻ ԴՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԶԱՅՆԱՎՈՐ ՀԱՉՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱՐՏԱՍԱՆՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Պոսքի ֆիզիոլոգիայի ուսումնասիրությունը կապված է ձայնային աղարատի անատոմիայի, ֆիզիոլոգիայի, ֆոնետիկայի, ձայնի ակուստիկայի և ֆիզիկական հատկությունների ուսումնասիրության, վերկապանային խոռոչներում կատարվող՝ ձայնի ռեզոնանսի և այլ հարցերի հետ: Ներկա աշխատանքը նվիրված է ձայնավոր հնչյունների արտասանման ժամանակ վերկապանային ռեզոնատոր խոռոչների ռենտգենոգրաֆիկ ուսումնասիրությանը:

Ռենտգենոգրաֆիան կատարվում է 10 մարդու մոտ, այդ թվում երեխաներ, երիտասարդ կանայք և աղամարդիկ, ինչպես նաև մեծահասակ կանայք: Ձայնավորների արտասանման ժամանակ բնդամենը կատարվում է 80 քննություն: Մինչև քննությունը բերանի լորձաթաղանթը պատվել է յուղային կոնտրաստ նյութով, որով հնարավոր է դարձել հասնել վերկապանային ռեզոնատոր խոռոչների, մասնավորապես բերանի խոռոչի լավագույն տեսանկյունին:

Ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ որոշակի ձայնավոր հնչյունների (Ա, է, Ը, Ի, Օ, Ու) արտասանման ժամանակ վերկապանային ռեզոնատոր խոռոչների ձևը և ծավալը փոխվում են, սակայն ամեն մի ձայնավորի համար պահպանվում է մի կայուն գիրք:

Ձայնի տեմբրը, նրա գունավորումը պայմանավորված է վերկապանային ռեզոնատոր խոռոչների ձևի և ծավալի փոփոխությամբ և, բացի այդ, կրում է անհատական բնույթ: Հիմնական նշանակություն բունեն բերանի և կոկորդի խոռոչների փոփոխությունները: