

Сопоставительное МРТ-исследование артикуляционных моделей гласных звуков в разных языках**Contrastive MRI investigation of articulatory patterns in different languages**

Статья посвящена анализу артикуляционных моделей производства гласных звуков в разных языках. Основным методом получения экспериментальных данных – МРТ-визуализация артикуляторного тракта в сагиттальном разрезе в процессе производства речи. Предложен новый метод онлайн-МРТ-съемки для получения достоверных качественных изображений артикуляторных органов в движении. Полученные экспериментальные данные об особенностях артикуляционных моделей русских гласных звуков сопоставлены с аналогичными данными об особенностях артикуляции гласных звуков в немецком, французском, шведском и корейском языках.

The MRI investigation of Russian vowels articulatory patterns was realized upon original technology elaborated by the authors for real-time visualization of the speech articulation dynamics (sagittal cuts). Experimental results of the MRI investigation of the Russian language database have been confronted with the corresponding data of German, French, Swedish and Korean vowels.

Ключевые слова: МРТ-визуализация артикуляционных процессов; артикуляционные модели, речевой тракт, русские гласные звуки

Keywords: MRI-visualization of articulations; articulatory patterns, vocal tract configuration; Russian vowels, contrastive multi-lingual investigation

Изучение, описание и сопоставление речевого поведения носителей разных языков традиционно рассматривается как один из основных методов совершенствования лингвистической теории. Вместе с тем, сопоставительные исследования в этой области могут оказаться чрезвычайно полезными и для решения целого ряда теоретических и методических задач не только общей и прикладной лингвистики, но и, в целом, всего речеведения как новой интегративной области знаний [6]. Уже в начале 1980-х гг., рассматривая разные способы построения фонологической модели языка, Л. В. Бондарко подчеркивает важность сбора сведений о том, «чем отличается речевое поведение носителей одного языка от речевого поведения носителей другого языка» [1]. Эти знания могут иметь ключевое значение и при формировании современных методик обучения иностранным языкам; они нужны для поиска наиболее эффективных подходов к созданию систем автоматического распознавания и синтеза речи; кроме того, совершенно справедливо считается, что без них невозможно адекватно решать проблем верификации и идентификации говорящего по речи и т.п. проблемы. Понятие «речевого поведения», о котором пишет Л. В. Бондарко, включает в себя все аспекты порождения речи и в первую очередь – как частные, так и общие механизмы артикуляции речевого высказывания как основного этапа всего процесса речепроизводства. Таким образом, очевидно, что полученные в ходе экспериментально-фонетического исследования сведения об артикуляторных моделях какого-либо конкретного языка было бы крайне полезно сравнить с аналогичными данными о специфике артикуляционного репертуара других языков.

В этой связи уместно напомнить основные положения методологии экспериментально-фонетических исследований, которые разрабатывал и успешно применял Л. В. Щерба для исследования и описания, в частности, особенностей русских гласных звуков. Так, Щерба всегда стремится прежде всего найти какие-то универсалии, которые соответствовали бы «характерным тонам» звучания конкретного гласного, при этом он использует сопоставительный метод как основной метод своего исследования. Об этом пишут в своем предисловии к монографии Л. В. Щербы о русских гласных звуках Л. Р. Зиндер и Л. В. Бондарко: «Анализируя данные других авторов, касающиеся акустических характеристик гласных, Л. В. как будто бы исходит из идеи о существовании некоторых

универсальных звуковых типов: каждую из исследованных им русских гласных он сравнивает с гласными других языков» [3].

Нам представляется, что любая попытка вычленить общее, универсальное в тембровой окраске каждого гласного в разных языках может и должна быть также дополнена описанием специфической, конкретно-языковой составляющей артикуляционных программ в этих языках, поскольку именно эти программы самым непосредственным образом связаны с основными особенностями артикуляторной базы конкретного языка. Артикуляторная база языка, в свою очередь, рассматривается многими современными лингвистами как ключевое понятие для всей прикладной фонетики: ср. высказывание Е. А. Брызгуновой о ведущей роли артикуляторной базы языка в обучении – «оказалось, что трудности усвоения русской артикуляторной базы более интернациональны, чем трудности усвоения отдельных звуков. Но известно, что именно усвоение артикуляторной базы обеспечивает правильное произношение» [2].

Исходя из базовых представлений о динамике процесса развертывания речевой артикуляции в разных языках, наиболее достоверные и релевантные физические корреляты артикуляторной базы языка (в первую очередь, как минимум, в языках консонантного типа) можно получить, как нам кажется, при сопоставлении репертуара артикуляций, прежде всего, кардинальных гласных звуков [10]. Для этого на первой стадии экспериментального и теоретического исследования, проведенного по оригинальной методике, разработанной на филологическом факультете МГУ им. М. В. Ломоносова совместно с Центром магнитной томографии и спектроскопии (ЦМТС МГУ), были получены онлайн-контрастные, высокоинформативные и достоверно интерпретируемые МРТ-изображения, отображающие реальную конфигурацию артикуляторных органов при произнесении основных тянутых гласных звуков русской речи.

Поскольку основным источником формирования базы данных для сопоставительного экспериментально-фонетического исследования артикуляционных моделей гласных звуков в разных языках был выбран метод магнитно-резонансной томографии (МРТ), для сопоставимости результатов, полученных в разных исследовательских коллективах разных стран, было крайне важно добиться единства экспериментальных подходов как к формированию экспериментального материала, так и к методам обработки полученных данных. Анализ соответствующей литературы показал, что для большинства языков, артикуляторные модели которых изучались с помощью МРТ-анализа, в первую очередь были получены и опубликованы артикуляторные «портреты» именно гласных звуков. Выбор гласных звуков в качестве основного объекта МРТ-исследования обусловлен, прежде всего, тем фактом, что время их реализации как в составе слова (особенно в позиции под ударением), так и в изолированной позиции оказалось достаточным для получения высококачественных томографических изображений. Такого рода данные были получены для базового инвентаря гласных фонем французского [11], [7], немецкого [9], шведского [8] и корейского языков [12]. Важно, что методики получения и обработки экспериментального материала, равно как и примененные в этих исследованиях технологические решения, оказались в значительной мере аналогичными тем, которые использовались и в наших экспериментах. Все это обусловило саму возможность применения сопоставительного метода в настоящей работе, а также позволило надеяться на корректность полученных результатов и достоверность сделанных на их основании выводов.

Известно, что адекватность и достаточность информации об артикуляционных моделях языка, если она получена на материале изолированного произнесения звуков (или на материале произнесения псевдослов), достаточно часто оспаривается исследователями-фонетистами. Тем не менее, попытки описания базовых элементов фонетической системы русского вокализма через исследование особенностей, прежде всего, изолированного произнесения гласных звуков (фонем) в русской фонетике также имеют давние и прочные традиции. Методологической основой здесь могут послужить высказывания Л. В. Щербы в защиту метода исследования гласных звуков языка через изучение их произнесения в

изолированной позиции. В частности, Л. В. Щерба пишет: «Обыкновенно мы изолируем наиболее типичную часть того гласного варианта, который наиболее часто встречается и находится в наиболее независимом положении, ... т.е. тот вариант, с которым ассоциируется фонема, ибо фонема – это не отвлеченные общие признаки группы частных представлений, ... это совершенно конкретное звуковое представление. Если так, то первая задача исследователя состоит в том, чтобы описать именно этот вариант, который, как, например, в русском языке, может представлять и отдельное слово, правомерность изолированного произнесения которого не может вызывать сомнений» [3]. Хотя впоследствии представление об идентичности понятий «типичного оттенка» и фонемы было существенно подкорректировано как самим Л. В. Щербой, так и его последователями и учениками, для нас важно отметить, что изолированное произнесение гласных звуков может рассматриваться не только как полноценное языковое явление, но и как феномен, особым образом фонетически и фонологически маркированный. Эта идея поддерживается и Л. Р. Зиндером и Л. В. Бондарко, которые пишут во вступительной статье к новому переизданию работы Л. В. Щербы «Русские гласные в качественном и количественном отношении»: «Реальность понятия типичного оттенка доказывается тем обстоятельством, что носитель языка осознает только его и намерен произносить в любом фонетическом положении именно его» [3].

Таким образом, именно эти высказывания Л. В. Щербы легли в основу используемых в нашем исследовании методик формирования экспериментального массива звучащего материала, они также определили и сам порядок следования разных этапов исследования всех типов речевых стимулов.

Как и всякий технический способ исследования физических процессов, магнитно-резонансная томография существенно зависит от уровня развития лежащей в ее основе технологии и соответствующих технических средств. Поэтому все практические исследования в этой области потребовали тщательной проработки технологии постановки эксперимента и поиска новых методов, позволяющих преодолеть имеющиеся технические ограничения. От успешности этих разработок практически всегда существенно зависит достоверность и интерпретируемость получаемых результатов, поэтому ниже мы более подробно рассмотрим некоторые ключевые вопросы релевантности условий экспериментального томографического исследования речевых артикуляций.

В экспериментах по МРТ-исследованию артикуляторных моделей русских гласных звуков МР-сканирование проводилось по сагиттальному срезу шириной 9 мм и зоне сканирования – 20x12 см. Быстрое сканирование – примерно 2-2,5 кадра в секунду – получено с использованием импульсной последовательности градиентного эха. Сканирование проводилось многократными (128-256) запусками без перерывов внутри каждой серии МР-импульсов. В экспериментах участвовали два диктора (мужской и женский голоса). При отборе МР-изображений использовался стробоскопический метод, для чего дикторы должны были многократно повторять короткие речевые фрагменты (долгий, «тянутый» гласный звук, слог, слово/псевдослово со структурой VCCV, предложение, короткая фраза, произнесенные в естественном темпе). Каждая серия повторов изолированных гласных звуков включала от 16 до 33 стимулов для каждого звука, что в итоге позволило получить от каждого из дикторов и проанализировать 384 МРТ-снимка процесса артикуляции гласных звуков в каждом из сеансов записи. Одновременно с говорением велась последовательная томографическая съёмка выбранной проекции артикуляторного тракта с заданным временным сдвигом и фиксацией начала каждого МР-импульса в виде специальных меток (параллельно с записью акустического сигнала собственно фонации) на двухканальной фонограмме, по которой после временной привязки и последующей атрибуции полученных изображений проводилась реконструкция динамики изменения конфигурации артикуляторных органов в момент звучания речевых стимулов и анализ их взаимного расположения. Таким образом, одной из основных особенностей разработанной нами технологии постановки и проведения МРТ-экспериментов было то, что первичное соотнесение

МРТ-снимков и соответствующих им моментов фонации производилось на основе анализа специальным образом подготовленных аудиозаписей. Для аудиозаписи использовались аппаратные и программные средства основного, управляющего томографом, компьютера INDY (фирмы SiliconGraphics). Особенностью процесса аудиозаписи было параллельное использование двух аудиоканалов (стерео-запись). На первый канал поступал сигнал от микрофона, а на второй – импульс начала МР-сканирования кадра. Для формирования этого импульса были внесены изменения в управляющую программу сканирования и задействован резервный интерфейс. В результате каждый участок осциллограммы аудиозаписи нам удалось достаточно однозначно соотнести с конкретным кадром – МРТ-изображением. Технология и основные методики всех осуществленных авторами МРТ-экспериментов более подробно изложены в наших предыдущих публикациях [4]. Отметим лишь, что помещение в центр нашего экспериментального исследования на этом этапе именно изолированного произнесения гласных звуков полностью соответствовало техническим возможностям и разработанной технологической базе. Впоследствии точно такие же условия эксперимента были воспроизведены при повторной съёмке тех же испытуемых (дикторов), реализующих идентичный языковой материал, через временной промежуток в один месяц и один год. Основным результатом данного этапа исследования стала достаточно высокая степень постоянства артикуляторных конфигураций для каждого из экспериментальных речевых стимулов (гласных звуков) у каждого из участвовавших в экспериментах дикторов. Эта стабильность артикуляционных поз сохранялась практически во всех экспериментальных сериях, т.е. как при многократности повторения каждого из речевых стимулов в однородных последовательностях реализации гласного звука и при его произнесении в окружении других гласных, так и в разные моменты времени в ходе одного и того же сеанса записи и в рамках разных сеансов, проведенных с временным сдвигом в один месяц и один год [5].

На последующих этапах исследования мы сопоставили наши результаты по формированию банка данных томографических «портретов» артикуляций русских гласных звуков с артикуляторными «портретами» тянутых гласных звуков в других языках. Заметим, что для сравнения мы сочли корректным использовать только те изображения, которые были получены в ходе полностью аналогичных по своим условиям экспериментов, т.е. при производстве тянутых (долгих) гласных. На рисунках 1, 2, 3, 4 представлены томографические изображения артикуляции немецких, французских, шведских и корейских гласных звуков в сопоставлении с полученными в наших экспериментах данными по всем кардинальным гласным звукам русского языка.

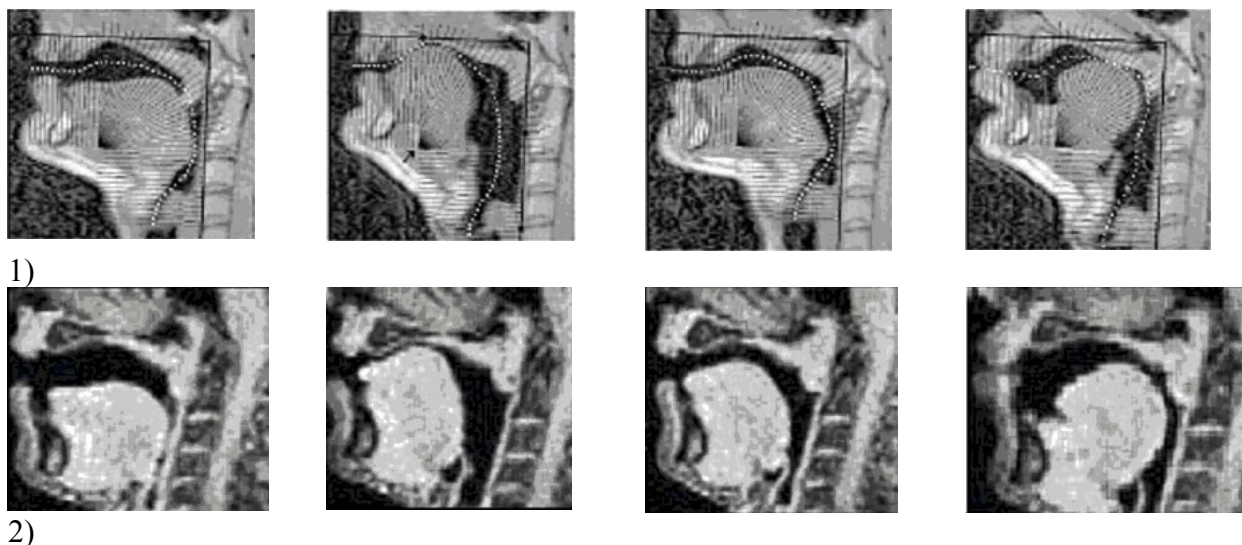
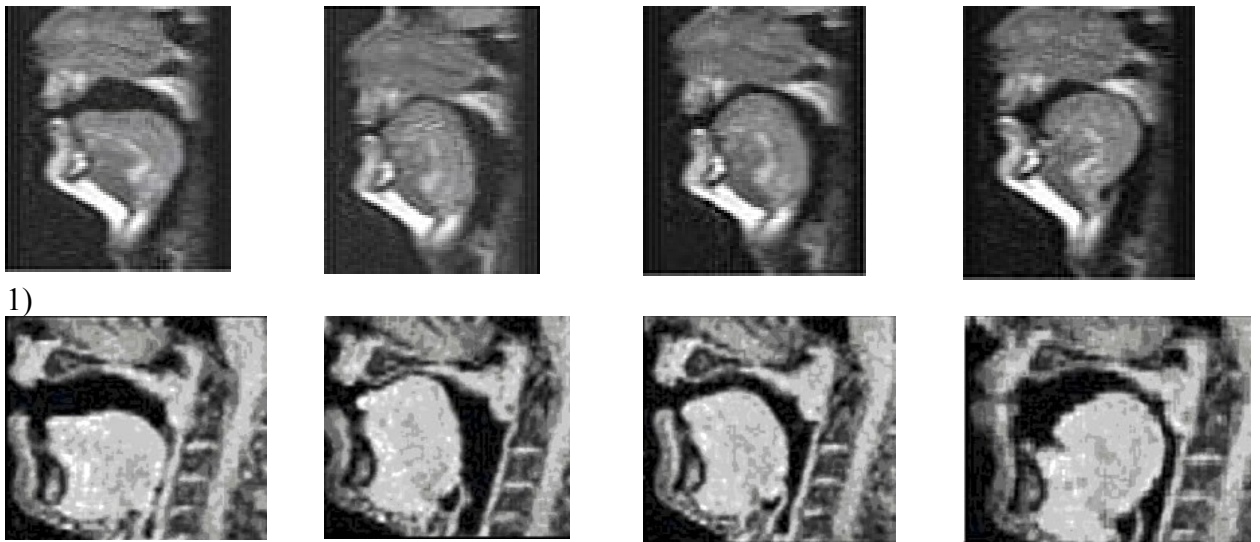


Рисунок 1. 1) Артикуляция гласных звуков [a:], [i:], [ɛ:], [u:] в немецком языке (слева направо) и 2) артикуляция аналогичных гласных звуков русском языке.



1)
2)
Рисунок 2. 1) Артикуляция гласных звуков [a:], [i:], [e:], [u:] во французском языке (слева направо) и 2) артикуляция аналогичных гласных звуков русском языке.

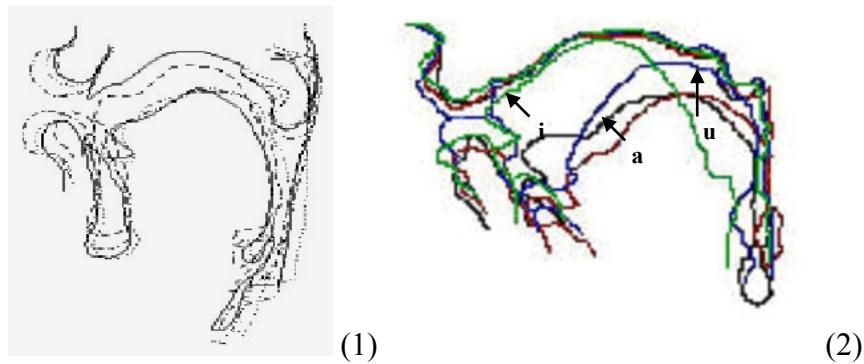


Рисунок 3. 1) Артикуляторные контуры шведских гласных, полученные в результате прорисовки кадров МРТ-съёмки: [a] (сплошная линия), [i] (пунктир), [o] (точка-пунктир), [u] (точка); 2) артикуляторные профили русских гласных звуков, полученные в результате прорисовки кадров МРТ-съёмки: [a] (линия чёрного цвета), [i] (линия зелёного цвета), [o] (линия коричневого цвета), [u] (линия синего цвета).

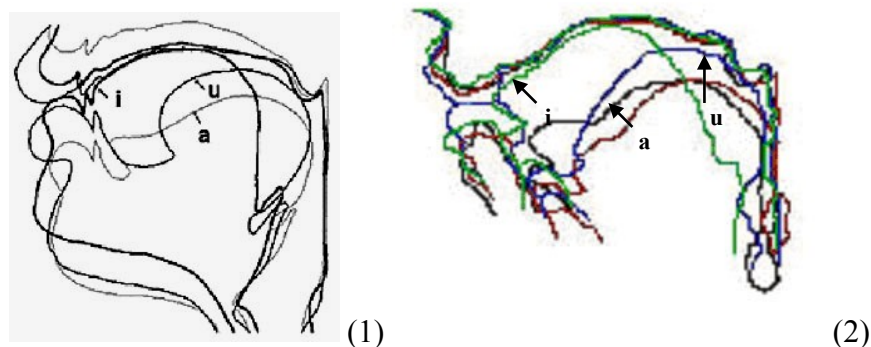


Рисунок 4. 1) Артикуляторные профили корейских гласных [i], [a], [u], , полученные в результате прорисовки кадров МРТ-съёмки. 2) артикуляторные профили русских гласных звуков, полученные в результате прорисовки кадров МРТ-съёмки: [a] (линия чёрного цвета), [i] (линия зелёного цвета), [o] (линия коричневого цвета), [u] (линия синего цвета).

Попарное сопоставление вокальных артикуляций в немецком (по имеющимся в литературе материалам) и русском языках (рис. 1) позволяет выявить следующие основные различия в процессе производства гласного звука:

– передние гласные в немецком языке в целом отличаются более закрытой артикуляцией (особенно гласный верхнего ряда [i]);

– в то же время, можно заметить, что в русском языке звук [e] отличается несколько более передней артикуляцией, чем немецкий переднеязычный открытый гласный. При этом «упередненность» обусловлена, по-видимому, не только продвижением основной массы языка вперед, но и более компактной его формой, благодаря чему в задней части ротовой полости образуется резонатор достаточно значительного объема;

– гласный нижнего подъема среднего ряда [a] практически идентичен немецкому гласного аналогичного места образования по ряду, однако в русском языке он также более открытый, чем его немецкий аналог, что наиболее отчетливо видно при включении в рассмотрение такого параметра, как угол раствора челюстей; в целом, можно утверждать, что артикуляционная картина этих гласных звуков в обоих языках все же очень близка, так как различается только по одному параметру;

– достаточно существенные различия в рассматриваемых языках обнаруживаются и в отношении артикуляторных паттернов лабиализованного гласного заднего ряда верхнего подъема. Прежде всего, обращает на себя внимание большая лабиализованность немецкого [u] по сравнению с русским [y], а также – как и для других русских гласных – большая открытость гласного в русском языке.

Попарное сопоставление вокальных артикуляций во французском и русском языках (рис. 2) позволяет выявить следующие основные сходства и различия:

– носителями французского и русского языков при реализации гласных переднего ряда верхнего подъема, среднего ряда нижнего подъема и заднего ряда верхнего подъема используются наиболее близкие артикуляторные модели; при этом особенностью русского произношения этих гласных является только большая открытость звучания и несколько более четко выраженная заднеязычность звука [y];

– существенно различаются в русском и французском языках артикуляционные паттерны гласных среднего подъема – как переднеязычные, так и гласный заднего ряда. Гласный [e] в русском языке существенно более открытый и в значительной степени тяготеет к среднему ряду, в то время как французский гласный остается гласным достаточно «упередненным» и почти такого же высокого подъема, как и звук [i];

– русский [y] так же, как и французский аналог, является гласным верхнего подъема заднего ряда, однако он выступает как несколько более открытый и более задний по своей артикуляции звук, чем звук [u].

Попарное сопоставление вокальных артикуляций в шведском и русском языках (рис. 3) позволяет выявить следующие основные различия:

– шведский гласный верхнего подъема переднего ряда менее высокий и существенно более центрирован, чем русский звук [i];

– шведский [a] явно более задний, но остается таким же по подъему, как и русский [a];

– шведский [u] наиболее сильно отличается от русского заднеязычного гласного верхнего подъема – он не только более открытый, но и существенно более центрирован по своей артикуляции, т.е. далеко не такой задний звук, каким выступает русский гласный [y].

Попарное сопоставление вокальных артикуляций в корейском и русском языках (рис. 4) позволяет выявить следующие основные различия:

– артикуляция всех рассматриваемых корейских гласных существенно более ориентирована на заднюю часть ротовой полости (более фарингальная), чем артикуляция русских аналогов, что проявляется в первую очередь в конфигурации задней части спинки языка и смещении артикуляционного фокуса звука назад.

Показательно, что отмеченные различия в конфигурации задних участков спинки языка постоянны по всем рассматриваемым гласным звукам и имеют вид более или менее значительных выпуклостей. Особенно рельефна такая выпуклость у гласного нижнего

подъема среднего ряда [a]: при сохранении кончика языка у задней поверхности нижних зубов в обоих языках (что обеспечивает уплощение спинки языка в передней части ротовой полости и способствует сохранению его рядности) именно сдвиг в фарингальную область основной массы языка и выпуклая форма задней части его спинки отличают артикуляцию корейского гласного от соответствующего русского аналога. Достаточно существенные различия между анализируемыми языками в общем контуре тела языка и его задней части наблюдаются и в артикуляции переднеязычного гласного верхнего подъема [и]: хотя в обоих языках этот гласный является, вне всякого сомнения, гласным верхнего подъема переднего ряда, корейский [i], в отличие от русского, – это одновременно также и веляризованный по своей артикуляции звук, что обеспечивается заметной выпуклостью в задней части спинки языка и увеличением протяженности сужения канала прохода воздушной струи почти до участка середины мягкого нёба.

– Эта же тенденция в отношении гласного заднего ряда [y]/[u] проявляется в том, что в корейском языке он не только более задний, но и более закрытый, чем в русском (выпуклость в задней части спинки языка приводит почти к смыканию поверхности языка с нижним участком увулы);

– в целом, не только гласный [y], но и вообще все три сопоставляемых типа гласных артикуляций в корейском языке являются более закрытыми, чем в русском.

Таким образом, сопоставительное изучение артикуляторных паттернов на основе томографических изображений позволяет конкретизировать роль разных участков речевого тракта в процессе производства речи в разных языках и выявить релевантность определенных сегментов активных и пассивных органов артикуляции, детализировать их вклад в создание нужного качества звучания. Тем самым расширяются и уточняются наши традиционные представления как об отдельных речевых артикуляциях, так и об их функциональных комплексах и, в конечном итоге, о материальной базе фонетических систем в разных языках. Мы можем утверждать, что томографические данные, которые наиболее полно и достоверно отражают особенности артикуляционных моделей в разных языках, могут стать надежной основой для создания инновационных методик обучения иностранным языкам. В целом наш материал по сопоставительному исследованию артикуляции гласных звуков в рассматриваемых языках позволяет наметить основные, базовые отличия артикуляторной базы русского языка в сегменте вокализма от аналогичного сегмента артикуляторной базы других языков, что позволяет более продуманно и оптимизировано выстраивать дидактические методики постановки правильного иноязычного произношения и открывает новые перспективы в решении целого ряда проблем современной прикладной лингвистики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарко Л.В.* О разных способах построения фонологической модели // Фонетика-83. Материалы к X Международному конгрессу фонетических наук. – М., 1983. С. 22-27.
2. *Брызгунова Е.А.* Звуки и интонация русской речи. – М.: Русский язык, 1981. – 194 стр.
3. *Зиндер Л.Р., Бондарко Л.В.* От редакции / Л.Р. Зиндер, Л.В. Бондарко // Л.В. Щерба. Русские гласные в качественном и количественном отношении. – Л.: Наука, 1983. – 166 стр.
4. Исследование вокалических артикуляций: новые подходы / Г.Е. Кедрова и др. // III Международные Бодуэновские чтения: И.А.Бодуэн де Куртенэ и современные проблемы теоретического и прикладного языкознания. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 2006. – С. 11-14.
5. Новые подходы в исследовании базовых артикуляций русского вокализма / Г.Е. Кедрова и др. // Сборник научных трудов «Лингвистическая полифония»: Сб. статей в

- честь юбилея Р.К. Потаповой. Отв. ред. чл.-корр. РАН В.А. Виноградов. М.: Языки славянских культур, 2007. – С. 770-781.
6. *Потапов В.В.* У истоков речеведения // Лингвистическая полифония: Сборник статей в честь юбилея профессора Р.К. Потаповой. Отв. ред. чл.-корр. РАН В.А. Виноградов. М.: Языки славянских культур, 2007. – С.19-40.
 7. 3D geometry of the vocal tract and inter-speaker variability / L. Apostol [et al.] // Proceedings of the XIVth International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS98). – San Francisco, 1999. – Vol. 1. – P. 443-446.
 8. An MRI study of Swedish fricatives: coarticulatory effects / O. Engwall, P. Badin // Proceedings of the 5th Seminar on Speech Production: Models and Data & CREST Workshop on Models of Speech Production: Motor Planning and Articulatory Modelling. – Kloster Seeon, 2000. – P. 297-300.
 9. Estimation of vocal tract area function from magnetic resonance imaging: Preliminary results / B.J. Kröger [et al.] // Proceedings of the 5th Seminar on Speech Production: Models and Data & CREST Workshop on Models of Speech Production: Motor Planning and Articulatory Modelling. – Kloster Seeon, 2000. – P. 333–336.
 10. *Koenig L.L.* Towards a physical definition of vowel systems of languages // Hard-science linguistics / Ed: V.H. Yngve and Z. Wasik. – Continuum: 2004. – P. 49-66.
 11. Real time MRI and articulatory coordinations in vowels / D. Demolin, T. Metens, A. Soquet // Proceedings of the 5th Seminar on Speech Production: Models and Data & CREST Workshop on Models of Speech Production: Motor Planning and Articulatory Modelling. – Kloster Seeon, 2000. – P. 93-96.
 12. *Yang Byunggon.* Measurement and synthesis of the vocal tract of Korean monophthongs by MRI // Proceedings of the XIVth International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS 99). – San Francisco, 1999. P. 2005-2008.

Сведения об авторе: Кедрова Галина Евгеньевна, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, Москва, kedr@philol.msu.ru

Сведения об авторе: Анисимов Николай Викторович, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, Москва, kedr@philol.msu.ru

Сведения об авторе: Захаров Леонид Михайлович, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация, Москва, leon@philol.msu.ru