

<https://doi.org/10.3176/biol.1968.1.11>

Г. ЛИЙВ, А. ЭЭК

О ПРОБЛЕМАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ РЕЧЕОБРАЗОВАНИЯ: КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА СИНХРОНИЗИРОВАННОГО КИНОФЛУОРОГРАФИРОВАНИЯ И СПЕКТРОГРАФИРОВАНИЯ РЕЧИ

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

1. 1 Быстрое развитие комплексного экспериментального исследования речи в последние годы стимулировано такими весьма важными и перспективными с точки зрения современной техники областями приложения возможных результатов автоматического распознавания речи, как устный обмен информацией между человеком и машиной (напр., высокопроизводительными вычислительными машинами с большим объемом памяти, различными вычислительными системами, многими автоматическими установками и т. п.), значительное повышение пропускной способности каналов связи и создание новых систем коммуникации, конструирование пишущих машинок, печатающих с голоса, синхронный перевод устной речи и т. д. и т. п. (см., напр., обзоры: Цемель, 1961; Peterson, 1961; Загоруйко, 1964, 1966; Загоруйко и др., 1965; Линдгрэн, 1966; Кюннап, 1966 и др.). Попытки решения проблемы автоматического распознавания речи на основе одних лишь технических схем привели к неудовлетворительным и малоэффективным результатам (Чистович, Кожеников и др., 1965; Линдгрэн, 1966; Fant, 1966; Чистович, 1966 и др.). Залогом успешного решения названных проблем является подробное исследование и моделирование сложнейших процессов, происходящих в организме человека при речеобразовании и восприятии речи, необходимость которого в настоящее время получила всеобщее признание.

1. 2 Многоступенчатую коммуникационную цепочку можно рассматривать с трех основных аспектов: а) речеобразование, б) акустическая волна и в) восприятие речи, определение сложных трансформационных зависимостей между параметрами которых и составляет одну из главнейших задач исследования. Заметным достижением следует здесь считать создание акустической теории речеобразования (Fant, 1960, 1965; Stevens, House, 1961; Ungeheuer, 1962), которая описывает основные математические зависимости между акустическими характеристиками сигналов и определенными конфигурациями речевого тракта (более ранние работы этого направления: Chiba, Kajiyama, 1941; Stevens, House, 1955, 1956). Фундаментальные исследования зависимостей между речеобразованием и формантной структурой проведены при помощи синтезаторов речи — электрических аналогов речевого тракта, сконструированных фирмой «Bell Telephone Laboratories», в Массачусетском технологическом институте (США) и в Королевском технологическом институте в Стокгольме (Dunn, 1950; Stevens и др., 1953; Dennis, 1963; Kelly, Lochbaum, 1963; Dennis и др., 1964; см. также

обзоры: Fant, 1957; Peterson, Sivertsen, 1960; Cooper, 1962, 1965). Много ценной информации дало также исследование восприятия акустических коррелятов лингвистических единиц (Liberman и др., 1959; Delattre, 1962; Öhman, 1962, 1966b; Liiv, 1965a, b; Люблинская, 1966 и др.). Интенсивная работа в этом направлении продолжается.

1. 3 Упомянутая акустическая теория речеобразования рассматривает в основном статические аспекты речи, определяя физические корреляции, существующие лишь в определенные моменты времени. На деле, однако, речевой поток состоит не из звуков, определяемых тем или иным положением артикуляторов, и переходов между ними, а из речевых элементов, непрерывно меняющихся во времени. Исследование динамики речевых артикуляций и непрерывно изменяющихся акустических характеристик речевых сигналов в последние годы привлекает особенно большое внимание (Sovijärvi, 1959, 1962; Truby, 1959, 1964; Moll, 1960; Ondráčková, 1960, 1964b; Wängler, 1960; Björk, 1961; Björk, Nylén, 1961; Holbrook, Fairbanks, 1962; House, Paul, Stevens, Arnold, 1963; House, Stevens, Paul, 1963; Inomata, 1963; Lindblom, 1963a, b, 1964, 1965b; MacNeilage, 1963a, b; Stevens, House, 1963; Öhman, Stevens, 1963; Öhman, 1963a, b, 1964, 1966a, 1967a, b; Kato, 1964; House, Stevens, 1964; MacNeilage, Sholes, 1964; Perkell, 1965a, b; Чистович, Кожевников и др., 1965; Wierzchowska, 1965; Stevens и др., 1966; Lindblom, Studdert-Kennedy, 1966; Stevens, 1966a; Williams, 1966; Skaličková, 1967; некоторые данные о коартикуляции содержат также такие работы, как Menzerath, de Lacerda, 1933; Joos, 1948; Stetson, 1951; Fujimura, 1960). При описании конечных значений движения формант необходимо отметить так наз. *hub-* и *locus-*теории (Potter и др., 1947; Delattre и др., 1955; Stevens, House, 1956; более ранняя работа того же направления: Cooper и др., 1952; дополнения: Lehiste, Peterson, 1961; Delattre и др., 1964 и др.). Разрабатываемая в настоящее время динамическая теория речеобразования ставит своей задачей описание артикуляционных движений в количественных величинах (в виде формул) и моделирование контекстных модификаций речевых единиц (Lindblom, 1963b).

1. 4 Постановка названных задач привела в последнее время к переносу центра тяжести научно-исследовательских работ с чисто акустических исследований на изучение динамических процессов речеобразования. Заметную роль в сосредоточении исследовательского интереса вокруг генетического аспекта речи сыграли весьма результативный и перспективный метод анализ-через-синтез и моторная теория восприятия речи (Cooper, 1965). Основой дешифровки и интерпретации динамических спектрограмм речи (так наз. «видимая речь») служат также артикуляционные категории, в том числе правила коартикуляции и теория трансформаций артикуляторных характеристик в акустические (Fant, 1966).

1. 5 Указанный метод, названный его создателем К. Н. Стивенсом и его сотрудниками (Массачусетский технологический институт) анализ-через-синтез, состоит в основном в сравнении спектра анализируемой речи с серией синтезированных в анализаторе спектров, генерируемых на основе акустической теории речеобразования. Результаты анализа каждого входного спектра предстают в виде комплекса параметров, описывающего сравниваемый синтезированный спектр, наилучшим образом соответствующий спектру анализируемой речи. Поиск наилучшего соответствия анализируемого и сравниваемого спектров проводится либо экспериментатором, либо автоматически. Все операции выполняются на ЭВМ по соответствующим программам (Bell и др., 1961; Paul и др., 1964).

1. 5. 1 Эффективность этого метода и скорость получения результатов зависят от выбора стратегии, т. е. от того, на основе какой программы правил генерируются и анализируются сравниваемые спектры. Первоначально эта программа базировалась на «резонансной модели» генерирования речи, и результаты представляли собой описания спектров в виде полосов (и нулей) фильтровой функции речевого тракта (и обобщенных характеристик голосового источника и излучения) (см., напр., Fujisaki, 1960).

1. 5. 2 Более поздний вариант метода использует для генерирования сравниваемых спектров «артикуляционную модель». Информация для управления генератором спектра выдается в виде площадей поперечного сечения, определяющих конфигурацию речевого тракта, в определенных точках, следующих одна за другой вдоль средней линии последнего. Хотя стратегия и вычисления оказываются в этом случае более сложными, система обеспечивает значительно более эффективное описание речевых сигналов, особенно для сложных спектров согласных звуков. Результаты имеют вид параметров, отражающих физические размеры речевого тракта в их изменении, и дают тем самым возможность изучать динамику артикуляционной системы, базируясь на акустические сигналы (Heinz, 1963; Mermelstein, 1966).

1. 5. 3 Дальнейшим развитием метода анализ-через-синтез может стать стратегия, при которой генерирование сравниваемых спектров происходит по правилам, соответствующим управляющим (нервным) сигналам, при помощи которых человек активизирует речеобразующий механизм для производства того же речевого сообщения (Соорег, 1965). При этом выдвинута гипотеза (до сих пор не доказанная, но и не опровергнутая) о том, что определенный комплекс названных управляющих сигналов точно соответствует определенной фонеме (Lieberman и др., 1966; Öhman, 1967b).

1. 5. 4 Некоторые исследователи указывали на сходство известных аспектов восприятия речи человеком и процедуры метода анализ-через-синтез и на этой основе сформулировали так наз. модель активного (основанного на обратной связи) восприятия речи (Stevens, 1960; Halle, Stevens, 1962).

Таким образом, уже одна высокая эффективность метода анализ-через-синтез оправдывает возросший интерес исследователей к комплексному изучению изменяющихся конфигураций речевого тракта и производимому в результате этого акустическому сигналу (речи).

1. 6 Указанный интерес исследователей стимулируется, кроме того, моторной теорией восприятия речи, согласно которой в процессе восприятия сообщения человек в результате многоступенчатых трансформаций сигнала описывает сигнал в величинах тех управляющих сигналов, которые необходимы для создания того же сообщения путем определенных артикуляционных движений. Следовательно, артикуляторное декодирование сигнала предшествует его восприятию в виде дискретных лингвистических единиц. Восприятие речи по элементам, соотносимым с механизмом управления артикуляцией, дает возможность описывать анализ (восприятие) и синтез (речеобразование) какого-либо сообщения одними и теми же величинами, что, по-видимому, наиболее экономно. Модель восприятия речи, основанная на моторной теории, также дает возможность использовать процедуру анализа-через-синтез (Lieberman, 1957; Stevens, 1960; Чистович, 1960, 1961, 1962, 1966; Lieberman и др., 1963; Denes, 1965; Галунов, Чистович, 1965; Чистович, Кожевников и др., 1965; Соорег, 1966; Lieberman и др., 1966; Чистович, Голузина и др., 1966). Организующей единицей как артикуляции, так и восприятия речи многие ученые считают слог (Чистович, Кожевников и др., 1965; Lieberman и др., 1966; Чистович, Жукова и др., 1966; Чистович, 1966; Бондарко и др., 1966; Ladefoged, 1966; Fromkin, Ladefoged, 1966; из более ранних работ отметим: Stetson, 1951). Эта точка зрения подтверждается также опытами по восприятию, проведенными на базе как синтезированной (Lieberman и др., 1959; Delattre, 1962 и многие другие работы, особенно проведенные в Хаскинских лабораториях), так и естественной речи (Lehiste, 1960; Liiv, 1961a и др.).

1. 7 Обширные циклы экспериментов по определению перцептивной сущности лингвистических единиц с использованием метода имитации и различных опытов по восприятию, инспирированные описанной выше теорией, дали большое количество новой и интересной информации, в целом подтверждающей особо специфический характер восприятия речи по сравнению с восприятием любых других акустических стимулов и в большинстве своем говорящей в пользу моторной теории. В частности, эти опыты показали категоричность восприятия, различное соотношение между

идентификацией и различием варьируемых стимулов в разных сегментах речевых единиц (напр., на границах или в середине фонем), разную степень дистинктивности разных классов речевых единиц, известную латеральность восприятия речи и т. п. (основные результаты этих работ изложены в работах: Liberman и др., 1966; Чистович, Голузина и др., 1966; см. также: Liberman и др., 1963; Stevens, 1963, 1966b; Чистович, Жукова и др., 1966; Чистович, 1966; Chistovich, Fant, Serpa-Leitão, Tjernlund, 1966; Chistovich, Fant, Serpa-Leitão, 1966; Shankweiler, Studdert-Kennedy, 1966). Перечисленные работы дают основание полагать, что для восприятия речевых и неречевых акустических стимулов организм человека снабжен двумя разными системами, обладающими разной стратегией описания, причем сами эти процедуры протекают наиболее эффективно в различных центрах головного мозга.

1. 8 Гипотеза об определенной связи восприятия речи с ее артикуляцией повысила также интерес к изучению нейромускульных аспектов речеобразования. Важным и широко используемым в настоящее время методом исследования является здесь электромиография, основанная на том, что при сокращении мышц в них возникают биоэлектрические сигналы, которые можно зарегистрировать при помощи миниатюрных электродов, прикрепленных к поверхности языка, лица и т. п. (или игл, воткнутых в мышцу) (Кратин, 1955; MacNeilage, 1963; MacNeilage и др., 1966; MacNeilage, Sholes, 1963, 1964; Fromkin, 1965, 1966; Öhman и др., 1965, 1966; Persson и др., 1965; Öhman, 1966c; Lübker, Curtis, 1966; Haggis и др., 1966; Fónagy, 1966 и др.; хороший обзор исследований, методов и технических средств электромиографии приводится в работе: Fromkin, Ladefoged, 1966). Трудностью при использовании электромиографии является, однако, точное определение соотношения регистрируемого электрического сигнала к действию какой-либо определенной мышцы.

1. 9 Самую непосредственную и детальную информацию о меняющихся конфигурациях речевого тракта получают с помощью кинорадиографии. При этом, как известно, может использоваться как прямая, так и косвенная рентгенокимография.

1. 9. 1 При прямом методе рентгенокниофильмы экспонируются непосредственно, и кассеты приходится менять быстро. Эта так наз. рентгеносериография дает возможность получать до 12 четких, детальных и крупных кадров в секунду, однако этого недостаточно для полного описания динамики речеобразования (Ondráčková, Poch, 1957, 1962; Subtelny, Subtelny, 1962a; Ondráčková, 1964b, 1965).

1. 9. 2 В случае применения метода косвенной радиографии движущиеся изображения снимаются с флуоресцирующего экрана при помощи кинокамеры. Это так наз. метод кинофлуорографии¹ получил в настоящее время наиболее широкое применение, произошло это после изобретения электронно-оптических преобразователей (с фактором усиления изображения в несколько тысяч раз), благодаря которым удалось значительно сократить дозу облучения, получаемую испытуемым, и повысить скорость съемки.²

1. 9. 3 Для уменьшения облучения можно синхронизировать кинокамеру и рентгеновский аппарат, в результате чего удается подавать рентгеновское излучение в виде импульсов лишь в те моменты, когда затвор камеры открыт (Miller и др., 1955; Lusted, Miller, 1956; Gilardoni и др., 1959; Euler, 1960).

1. 10 Кинофлуорография, будучи синхронизирована с записью и спектрографией речи, превращается в одно из наиболее эффективных и современных технических средств изучения динамики речи. Основные цели интерпретирования получаемых экс-

¹ Подробное описание радиографических методов см. в работах: Lusted, Miller, 1956; Tristan, 1960.

² В. Гинзбург и Н. Жинкин проводили съемку с флуоресцирующего экрана без электронного усиления изображения, но полученные результаты в общем неудовлетворительны (Артемов, Гинзбург, 1954; Жинкин, 1958).

экспериментальных материалов состоят в следующем: 1) углубленное изучение позиций артикуляторных структур, а также связей между конфигурациями речевого тракта и продуцируемыми при этом акустическими сигналами; 2) изучение динамических свойств различных компонентов артикуляторного механизма и взаимосвязей между движениями этих компонентов; 3) сбор информации о механизме трансформаций лингвистического дискретного описания речи в непрерывное движение артикуляторов (Ohman, Stevens, 1963). Предварительное кинофлуорографическое исследование соответствующих артикуляций необходимо также при использовании электромиографии для точного определения мест прикрепления электродов.

1. 11 Недавно опубликованы сообщения о разработке новой комплексной методики, позволяющей одновременно производить как кинофлуорографическую, так и электромиографическую запись одного и того же информанта (MacNeilage и др., 1966; Lubker, Curtis, 1966). Преимущество этой методики станут ясны, если учесть, что по кинофлуорограммам не всегда можно установить, какую роль в том или ином положении артикулятора играют непосредственно моторные команды, а какую — механическая инерция; электромиографические записи же, в свою очередь, не всегда показывают, какие мышцы активизированы и какие движения имеют при этом место. Эта, по-видимому, весьма перспективная методика даст возможность экспериментально определять соотношения динамических процессов нейромускульных явлений и изменяющихся конфигураций речевого тракта.

1. 12 Описание конфигурации речевого тракта при помощи набора численных измерений на основе латеральных рентгено снимков и кинофлуорограмм всегда представляло собой трудную задачу прежде всего из-за неравномерности и сложности геометрических размеров резонансных полостей, образующих речевой тракт³ (см., напр., Fant, 1960). Число измерений и их координация (при этом подчас неоднозначная) были до сих пор у разных авторов различны.

1. 13 Наиболее экономичной системой определения связей между артикуляцией и формантной структурой оказалась так наз. упрощенная трехмерная система измерения, предложенная К. Н. Стивенсом и А. С. Хаусом, основанная на допущении о том, что, определив местоположение и степень максимального сужения речевого тракта, можно с достаточной точностью вывести размеры речевого тракта по обе стороны от этого сужения. Речевой тракт характеризуется следующими тремя величинами: 1) расстояние между максимальным сужением и голосовой щелью (возможный диапазон расстояний от 4 до 13 см); 2) радиус тракта в месте максимального сужения (от 0,3 до 1,2 см); 3) отношение между площадью и длиной ротового отверстия (от 0,1 до 20 см) (Stevens, House, 1955, 1956; Heinz, 1963; Kadokawa, Nakata, 1965).

1. 14 Детальная, точно определенная система координат для количественного описания структур речевого тракта, а также процедура обработки измерений (при помощи ЭВМ) разработаны И. М. Хейнцом и К. Н. Стивенсом в Массачусетском технологическом институте (Heinz, Stevens, 1964, 1965; Ohman, 1967a). Для описания конфигурации медианной сагиттальной плоскости проводится до 50 линейных измерений через равные промежутки вдоль и поперек средней линии речевого тракта. Затем на базе полученных линейных измерений определяются площади поперечных сечений речевого тракта (в виде функций относительно их расстояния до голосовой щели), причем расчеты показали, что названные зависимости примерно соответствуют функции мощности (Heinz, Stevens, 1965; Ohman, 1967b). На основе функций площади можно вычислить частоты формант и акустический спектр генерируемого сигнала, для трансформации которого в большинстве работ используется уравнение Вебстера (Webster's horn equation) (Heinz, Stevens, 1964, 1965; Heinz, 1967). (Отметим, что

³ Дополнительную информацию можно получить при помощи метода стереорентгенокинематографии (Janke, 1949; Rushmer и др., 1955; Winter, Lehman, 1959; Ondráčková, Poch, 1962; Ondráčková, 1964a, b; Massengill и др., 1966).

проводились и обратные трансформации, т. е. определение геометрических конфигураций на основе акустических измерений: Mermelstein, Schroeder, 1965; Mermelstein, 1966; Schroeder, 1966). Для осуществления всех названных вычислений на ЭВМ созданы специальные программы. При оценке результатов сравниваются вычисленные спектры с экспериментальными, заснятыми при кинофлуорографировании записанной на пленку речи.

1. 15 Важную роль играет моделирование анализируемых процессов (см., напр., Henke, 1966; Coker, Fujimura, 1966). Очень интересную и вместе с тем сравнительно простую модель коартикуляции (для структур типа гласная-смычная согласная-гласная) предложил С. Эман (Öhman, 1967a, b), который для определения наиболее важных параметров модели вычислил (на ЭВМ), базируясь на формулы коартикуляции, теоретическую конфигурацию речевого тракта и затем сравнил ее с фактической конфигурацией, замеренной по радиограммам (о методе названных сравнений см. также: Heinz, Öhman, 1966). Эти операции позволили на основе критерия среднего квадратного отклонения изменять значения искоемых параметров до нахождения наилучшего соответствия.

1. 16 В ходе всех названных исследований стерлась четкая грань между исследованиями в области физиологии речи и работами медицинского направления, использующими кинофлуорографию. К числу таких перекрывающихся областей, где необходимо сотрудничество представителей целого ряда специальностей и где полученная информация представляет взаимный интерес, следует в первую очередь отнести патологию и терапию речи, особенно исследование больных с волчьей пастью (наиболее заметные результаты в этой области получены в Стоматологическом диспансере Истмана, США).⁴ Кинофлуорографическое исследование играет большую роль при вынесении диагностического решения, следует ли при том или ином типе волчьей пасти применить терапию речи, обтюратор, или хирургическое вмешательство. После операции кинофлуорография помогает определить эффективность лечения, годность обтюратора либо необходимость осуществления каких-либо модификаций. Существенную роль играет кинофлуорография и при ранней диагностике аномальности речевых механизмов (Fletcher, 1958; Mitrinowicz-Modrzejewska, Kruszewski, 1961; Massengill, 1966).

Эффективно такое сотрудничество и в области ортодонтии, например при проверке функционирования зубных протезов с помощью кинофлуорографии (Mooge, 1961); в области логопедии, при изучении так наз. чревовещания, появившегося как следствие приспособления организма к оперативному удалению гортани (van den Berg, Moolenaar-Bijl, 1955; Cernoch, Zbořil, 1961); а также при изучении речи заик (Massengill и др., 1967). Кинофлуорография использовалась и при исследовании жевательных и глотательных процессов (Ardran, Kemp, 1956; Roberts, 1957; Petrany, 1961; Subtelny, Subtelny, 1962b; Massengill, 1967).

Многие авторы изучали анатомическую структуру и функционирование мягкого нёба (Hagerty, Hoffmeister, 1954; van Gelder, 1956; Subtelny, Koepf-Baker, 1956; Subtelny, 1957a; Hagerty и др., 1958a, b; Imre, 1958; Björk, 1961; Laczowska, 1961; Damsté, 1962; Moll, 1962; Wängler, 1962; Ondráčková, 1964c; Shelton и др., 1964; Massengill, Bryson 1967 и др.) и глотки (Bate и др., 1957; Janker, Schwab, 1957; Kirkpatrick, Olmsted, 1959; Cline, 1965; Truby, 1965 и др.), а также и гортани (Ardran, Kemp, 1953; Ardran, Kemp, Manen, 1953; Gay, 1958; Shimizu, 1961; Kim, 1967).⁵

⁴ Назовем здесь лишь несколько работ: Subtelny, 1955a, b, 1957b, 1961b; Cooper, 1956; Subtelny, Subtelny, 1959; Aram, Subtelny, 1959; Coupe, Subtelny, 1960; Mestre и др., 1960; Hagerty, Hill, 1960; Nylén, 1961; Björk, Nylén, 1961; Subtelny и др., 1961; Coccato и др., 1962; Powers, 1962; Wheatherly-White и др., 1965 и др. Заслуживают интереса также исследования последовательных новообразований различных частей головы в зависимости от возраста, в частности, соотношений роста костяных структур и мягких тканей (Subtelny, 1957a, 1959, 1961a).

⁵ Хороший обзор исследований этого направления можно получить из работ van den Berg, 1962; Subtelny Joanne, 1961.

В дальнейшем сотрудничество между медиками и исследователями речи должно стать еще более тесным, так как изучение аномальных явлений предполагает компетентные точные сравнения с соответствующими механизмами и процессами здоровых людей; к тому же, при исследовании любых дефектов речеобразования необходим также и акустический анализ речи пациента на основании синхронизированных звукозаписей.

1. 17 Указывалось также на эффективность использования кинофлуорографических фильмов в педагогической практике, особенно при обучении иностранным языкам (Ondráčková, 1961; Прокопова и др., 1965; Еек, 1966).

1. 18 Общая тенденция к комплексному исследованию артикуляционных процессов и физиологических проблем активизировала также работы по созданию новых методов и более квалифицированному применению уже известных методик. Сюда относятся точная детальная фиксация движений губ с последующей математической обработкой данных (Lindblom, 1965a, c, 1966a, b; Lindblom, Soron, 1965; Lindblom, Vinner, 1966); регистрация динамики воздушного потока, как-то: измерение давления воздуха в полостях под и над голосовыми связками, определение линейной и объемной скорости воздуха, вытекающего из ротового и носовых отверстий (Ladefoged, 1962, 1966; Ladefoged, McKinney, 1963; Fischer-Jørgensen, 1963; Чистович, Кожевников и др., 1965; Кожевников и др., 1966; Lane и др., 1966; Lindqvist, Ohman, 1966; Klatt, Stevens, 1966; Klatt, 1967 и др.); использование скоростной съемки голосовых связок, ларингофона и системы транслюминанции голосовой щели (глоттография), для точного фиксирования деятельности голосовых связок (Ondráčková, 1966; Lisker и др., 1966; Fant и др., 1967; Halle, Stevens, 1967; Fischer-Jørgensen и др., 1967; Vallancien, Faulhaber, 1967 и др.), а также исследование спектра голосового источника при помощи метода обратной фильтрации (Lindqvist, 1965a, b и др.); применение методики комплексной регистрации различных физиологических и некоторых акустических параметров (Кожевников, Щупляков, 1962; Кузьмин, 1963; Чистович, Кожевников и др., 1965; Кожевников и др., 1966) и т. д.

2. КИНОФЛУОРОГРАФИЯ

2. 0 Как следует из всего вышеизложенного, проблема количественного изучения меняющихся конфигураций речевого тракта и динамических свойств различных его компонентов, особенно в связи с анализом продуцируемых при этом акустических сигналов, сейчас весьма существенна и актуальна в общей структуре вопросов по автоматическому распознаванию речи. Учитывая, что кинофлуорография, будучи синхронизирована с записью и спектрографией речи, превращается в одно из наиболее эффективных и современных технических средств исследований по указанной проблеме, Лаборатория экспериментальной фонетики Института языка и литературы Академии наук Эстонской ССР начиная с 1965 года занимается разработкой и внедрением комплексных кинофлуорографических методов и приемов. В ходе этих работ создана специальная система звукозаписи, синхронизирующая кинорентгенокадры (время их экспозиции) с акустическим континуумом речевых сигналов.

При этом сотрудники лаборатории имели возможность использовать рентгеновскую аппаратуру Республиканского Таллинского онкологического диспансера.⁶

⁶ Выражаем искреннюю благодарность главному врачу Республиканского Таллинского онкологического диспансера А. Гаврилову и заведующей отделением рентгенодиагностики Л. Луйк за любезное предоставление аппаратуры, а также рентгенотехнику В. Иванову, медсестре С. Лиллиоя и биофизику Х. Эхвярту за помощь и участие в проведении экспериментов.

2. 1 Аппаратура

2. 1. 1 Использованная кинофлуорографическая аппаратура состояла из следующих основных компонентов (см. рис. 4, 5): шестикенотронная рентгеновская трубка «TuRD 1000-2» с фокусным отверстием $0,3 \text{ мм} \times 0,3 \text{ мм}$ и $1,2 \text{ мм} \times 1,2 \text{ мм}$ (F); пятидюймовый электронно-оптический преобразователь фирмы «Philips» (B); 35-миллиметровая рентгеновская кинокамера фирмы «Arriflex» (I) с перископом (L). Скорость съемки составляла 48—50 кадров в секунду; время выдержки при каждом кадре — $\frac{1}{100} \text{ сек.}$

2. 1. 2 Точная синхронизация кадров рентгенокинофильма и спектрограмм (*resp.* осциллограмм) достигается при помощи специального механизма (рис. 5-1), соединенного с ведущим валом (K) кинокамеры. Каждый оборот ведущего вала вызывает импульс, отмечающий единичные кадры, а при помощи зубчатой передачи вызываются усиленные импульсы, отмечающие первый и десятый кадры. Полученные импульсы записываются на одну звуковую дорожку стереофонического магнитофона «Яуза-10» (H; вариант, модернизированный инженерами лаборатории), в то время как на вторую звуковую дорожку записывается речь, произносимая во время кинофлуорографирования. Одновременно кадры рентгенофильма отмечаются одной темной точкой на краю фильма, а каждый первый и десятый кадры для облегчения подсчета — двумя (для этого в камеру вмонтированы две неоновые лампочки). Время экспозиции киносеквенции (10 мсек) регистрируется на верхнем краю динамических спектрограмм, снятых на основании звукозаписи, в виде горизонтальных затемненных черточек (при этом с целью облегчения счета первые и десятые черточки несколько толще и темнее) или же на второй кривой осциллограммы в виде сигналов с различной амплитудой и длительностью, соответствующей времени экспозиции каждого кадра.

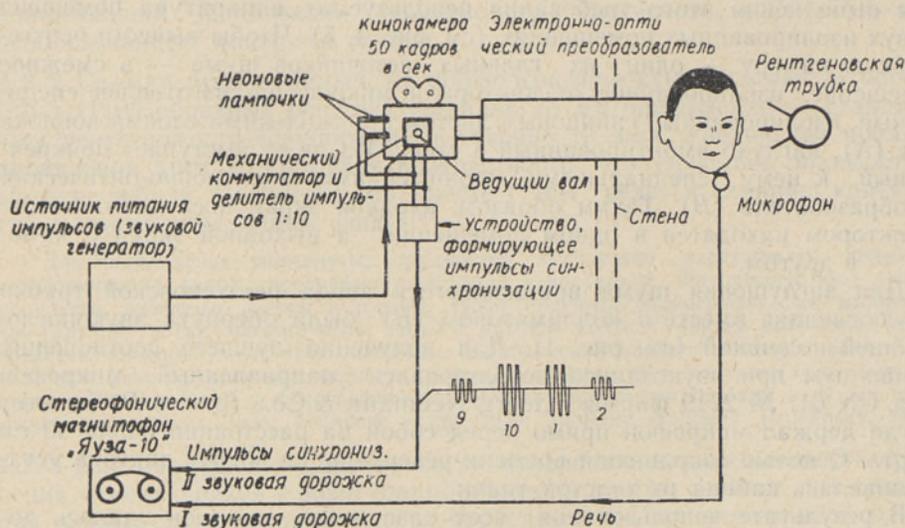


Рис. 1. Схема системы, синхронизирующей киносеквенции (время их экспозиции) речевых артикуляций со звукозаписью произносимой речи.

Это дает возможность осуществлять синхронизированный анализ движения артикуляторного аппарата говорящего и динамики акустических параметров речевых сигналов (см. рис. 1, 6, 7).

Описанную электромеханическую систему сконструировали и построили инженеры Л. Пыльдма, А. Роос, Ю. Калдма и Х. Ристметс.

Сфера применения такого синхронизирующего устройства не ограничивается одним только комплексным экспериментальным исследованием речи. При кинофлуорографировании сердца, системы кровообращения, легких, желудка и пр. кадры рентгенокинофильма можно синхронизировать с регистрацией на магнитофонную пленку любой дополнительной информации при помощи многоканального магнитофона или иного подобного регистрирующего устройства.

Принципиально сходный метод синхронизации использован Л. Бьерком и Б. С. Ньюленом (Björk, 1961; Björk, Nylén, 1961).

Известны также другие возможности синхронизации. И. А. Киркпатрик и Р. В. Ольмстед, а также К. Л. Молл производили оптическую регистрацию речи с помощью специальной камеры непосредственно на флуорографическую пленку (Kirkpatrick, Olmsted, 1959; Moll, 1960). В Канзасском университете (США) использовалась камера с магнитной регистрацией речи (Shelton и др., 1962, 1963). Я. Ондрачкова и Р. Пох синхронизировали кинокамеру и рентгеновскую трубку. Один из лучей двухлучевого осциллографа регистрировал речь, а второй — длительности излучения рентгеновых лучей, которые фотографировались кинокамерой с экрана осциллографа (Ondráčková, Poch, 1962). Принципиально сходную систему использовал также Р. Массенджил (только импульсы регистрировались с помощью стереофонического магнитофона) (Massengill, 1966; Massengill и др., 1966). Х. М. Труби обеспечивал необходимую корреляцию, используя миниграф, один из каналов которого регистрировал речь, а второй — обозначения кадров (Truby, 1959, 1962). Дж. Л. Деклерк и др. использовали цифровой синхронизатор, который, подсчитывая кинокадры, при помощи особого кода одновременно регистрирует соответствующие показания на рентгенокинофильме и магнитофонной пленке. Такая система синхронизации обладает преимуществом: при анализе любого слова из любого места рентгенофильма нет необходимости каждый раз начинать подсчет кадров с самого начала (DeClerk и др., 1965).

2. 1. 3 Для спектрального анализа речевого материала необходима высококачественная звукозапись с минимальными шумовыми помехами. Для выполнения этого требования используемая аппаратура помещена в двух изолированных помещениях (см. рис. 4, 5). Чтобы вынести рентгеновскую камеру — один из главных источников шума — в смежное помещение, изолированное от диктора и микрофона, изготовлен специальный, изолированный свинцовым листом и несколькими слоями войлока люк (А), наглухо вмонтированный в стену. Из люка выступает прикрепленный к нему специальными кронштейнами электронно-оптический преобразователь (В). Таким образом, входной экран последнего вместе с диктором находятся в одном помещении, а выходной экран с камерой — в другом.

Для заглушения шума вращающегося анода рентгеновской трубки (F) последняя вместе с коллиматором (E) была обернута звукопоглощающей подушкой (см. рис. 4). Для получения лучшего соотношения сигнал/шум при звукозаписи использовался направленный микрофон типа UN 61, № 2719 фирмы «Georg Neumann & Co.» (рис. 4-D);⁷ диктор всегда держал микрофон прямо перед собой на расстоянии около 40 см от рта. С целью сокращения времени реверберации вокруг диктора устанавливалась кабина из толстой ткани.

В результате использования всех названных приемов удалось добиться такого отношения сигнал/шум, которое удовлетворяет требованиям, предъявляемым к звукозаписи для спектрографирования речи с одновременным кинофлуорографированием речевых артикуляций. На полученных спектрограммах можно заметить некоторый шум с максималь-

⁷ Некоторому улучшению отношения сигнал/шум помогает также помещение микрофона в рупор (Проколова и др., 1964).

ным уровнем — 31 дб (при динамическом диапазоне спектрографа в 35 дб) лишь в области самых низких частот (до 500 гц) (см. рис. 6, 7), что не мешает проведению количественных измерений спектральных параметров.

2.1.4 Исследование акустической структуры речевого материала производится при помощи быстродействующего 52-канального динамического спектрографа звуковых частот Лаборатории экспериментальной фонетики Института языка и литературы АН ЭССР. Основные технические характеристики прибора следующие: диапазон анализируемых частот — от 40 до 14 000 гц; динамический диапазон — 35 дб; предварительное усиление частот выше 1000 гц — 6 дб на октаву; частота коммутации каналов, т. е. анализа — 500 раз в секунду.

Результаты анализа регистрируются одновременно двумя кинокамерами на две киноплёнки: в виде динамической спектрограммы, непрерывно меняющейся во времени (с координатами время-частота, причем интенсивность выражается путем относительного изменения степени затемнения точек координатной плоскости), и в виде спектральных срезов (с координатами частота-интенсивность; скорость съемки последних — до 64 кадров в секунду; каждый срез соответствует отрезку длительностью около 8 мсек), синхронизированный анализ которых обеспечивается путем фиксации моментов съемки срезов на динамической спектрограмме и автоматического подсчета кадров при помощи нумераторов (цифровые обозначения последних регистрируются на обеих киноплёнках).

2.2 Методика

2.2.1 В результате обработки данных, полученных в ходе множества пробных съемок, установлены следующие оптимальные режимы рентгенографирования: 90—105 кв, 200 масек или 110 кв, 150 масек (без дополнительной фильтрации рентгенового излучения), с 70—75%-ным использованием мощности трубки.

2.2.2 Съемка производилась на флуорографическую негативную пленку РФ-3 (1100 обратных рентген) шириной 35 мм, проявление — стандартным рентгеновским проявителем в течение 10 мин. Увеличение времени проявления хотя и повышает контрастность, что улучшает видимость в области небной занавески, но вместе с тем ведет к слиянию контуров губ с темнеющим общим фоном.⁸

Для преодоления упомянутых трудностей безусловно заслуживает внимания комбинирование кинофлуорографии с обычной киносъемкой. Флуоресцентному экрану придаются желаемые формы и размер, чтобы получить радиографическое изображение гортани, глотки, мягкого нёба, языка и ротовой полости, причем выбранный экран представляет собой лишь часть площади, охватываемой камерой. Одновременно путем обычного фотографирования регистрируются движения губ и контуры лица. Как при радиографической, так и фотографической съемках используются одни и те же оптические линзы (Lotz, 1954; Weinberg и др., 1956; Subtelny, Subtelny, Pruzansky, 1957).

2.2.3 Для обеспечения однозначности измерения, для возможности сравнения изменяющихся конфигураций речевого тракта, а также для сравнения данных разных дикторов, при проведении экспериментов необходимо использовать строгие стандартизирующие принципы цефалометрии. Последние требуют точного и воспроизводимого фиксирования положения информанта, его головы и шеи, а также точного контроля искажений и степени увеличения изображения, вызываемых коническим рассеиванием

⁸ Подробный анализ этих проблем вместе с обширной библиографией дает, напр., С. Маттссон (Mattsson, 1955).

рентгеновых лучей. При оценке степени увеличения и искажений следует учитывать: 1) расстояние между анодом рентгеновской трубки и информантом; 2) расстояние между информантом и рентгеновской пленкой (*resp.* входным экраном трубки электронно-оптического преобразователя).

Учитывая все сказанное, удалось добиться весьма хороших результатов в отношении стандартизации и максимального сокращения названных искажений. Положение головы информанта (медианная сагиттальная плоскость) фиксируется при помощи специального штатива (рис. 4-С) строго параллельно по отношению к вертикальной плоскости входного экрана трубки электронно-оптического преобразователя и перпендикулярно по отношению к центральному лучу. Это положение сохранялось неизменным в течение всего цикла опытов (см. также Parmenter и др., 1931; Liiv, 1960, 1961b; Moll, 1960; Subtelny, Subtelny, 1962a), так как изменение позиции головы влияет на положение артикуляторов (Carmody, Holbrook, 1937). При помощи специальных кронштейнов входной экран трубки электронно-оптического преобразователя вынесен в непосредственную близость к соответствующей анатомической структуре информанта (см. рис. 4-В) (у стандартных аппаратов такой возможности нет), причем рентгеновская трубка отнесена от медианной сагиттальной плоскости информанта на расстояние 2,5 м (F). В результате этого увеличилась анатомическая площадь, регистрируемая в кадре, и уменьшилось искажение изображения. Особенного внимания и терпения требовала фиксация точного положения информанта перед трубкой электронно-оптического преобразователя путем непосредственного визуального наблюдения и с помощью перископа камеры «Arriflex» (рис. 5-Л), причем высота сидения для разных дикторов регулировалась при помощи стула со специальным винтом. В результате строгого соблюдения всех перечисленных мероприятий удалось вместить в кадр анатомическую область, важную с точки зрения анализа речевых артикуляций, от твердого неба до морганиева желудочка и от губ до позвоночника (у дикторов с небольшой головой).⁹

Для правильного определения степени увеличения и оценки искажений, вызванных рассеиванием рентгеновского излучения, в ходе каждого сеанса производилась съемка нескольких контрольных кадров с использованием специальной металлической сетки, которая фиксировалась перед входным экраном электронно-оптического преобразователя на расстоянии, соответствующем расположению медианной сагиттальной плоскости каждого информанта (см. рис. 7; ср. Ohman, 1966a).¹⁰

2.2.4 Контрастным веществом служила эмульсия бария (*barium sulphuricum*), которая при помощи кисточки наносилась в виде узкой полоски вдоль спинки языка, твердого неба и по центру верхней и нижней губ.¹¹

⁹ Для преодоления этих трудностей в качестве дикторов иногда использовали только детей (Sovijärvi, 1962) или же проводили съемки при помощи преобразователя большего диаметра (6-дюймового — Massengill, 1966; Massengill, Bryson, 1967; или 9-дюймового — Shelton и др., 1963; DeClerk и др., 1965). Существуют также 8- и 11-дюймовые преобразователи (Ball, 1960; Feddema, 1960; Subtelny, Subtelny, 1962a), но использование преобразователей большого диаметра приводит к потере некоторых деталей изображения (Lignon, Botden, 1960; Moll, 1960; Subtelny, Subtelny, 1962a).

¹⁰ Прежде с этой целью использовалась металлическая линейка с делениями (Brader, 1949; Moll, 1960; Björk, 1961).

¹¹ Подробный обзор прочих возможностей для маркировки центральной линии языка и твердого неба можно найти у А. С. Макмиллана и Г. Келемена (MacMillan, Kelemen, 1952). Я. Ондрачкова же последовательно считает лучшим контрастным веществом воздух, заключенный в резонансных полостях (Ondráčková, 1961, 1962, 1964a, b, 1965; Ondráčková, Poch, 1962), однако абсолютный отказ от контрастных материалов не следует все же считать целесообразным (Král', 1966).

Этот прием дает также возможность точнее определять центральную линию спинки языка и в случае артикуляции звуков, при произнесении которых язык принимает вогнутую форму (что особенно характерно для передних артикуляций). Чтобы избежать размазывания бария, после произнесения каждых двух-трех фраз производилось прополаскивание рта.

2.2.5 В целях максимального уменьшения дозы излучения, получаемой информантом, была предусмотрена возможность включения рентгеновского аппарата непосредственно до и выключения его сразу после произнесения диктором слова, представляющего интерес для исследования, но произносимого в контексте. Включение и выключение аппарата производил экспериментатор при помощи дополнительного выключателя, вынесенного за пульт диагностического просвечивания. Путем применения такого приема оказалось возможным регистрировать за один сеанс на 30-секундный флуорографический фильм около 20 контекстовых слов (около 1000 кадров).

2.2.6 Для определения дозы облучения, получаемой диктором, были проведены измерения радиации потока рентгеновых лучей в позиции, отвечающей положению медианной сагиттальной плоскости информанта перед трубкой преобразователя (в 2,5 м от рентгеновской трубки). Средняя доза облучения при режиме 90 кв, 200 масек составила около 50 мр/сек. Поскольку во время одного сеанса один информант давал материала примерно на 20—25 сек плюс несколько контрольных просвечиваний, то общая доза облучения составляла около 1,2—1,3 р, что значительно меньше допустимой максимальной дозы в 20—25 р (Lusted, Miller, 1956). Оператора, находившегося в соседнем помещении, защищал от радиации люк, обитый свинцовым листом (см. рис. 4-, 5-А).

2.2.7 Рентгеновские киноплёнки анализируются по кадрам или — для прослеживания речевых артикуляций как динамического процесса — проектируются на экран специальным проектором, позволяющим произвольно менять скорость движения пленки в обоих направлениях.¹² К сожалению, до сих пор у лаборатории не было возможности при проектировании с различной скоростью синхронно воспроизводить речь, записанную в ходе кинофлуорографирования.¹³

3. СТАТИЧЕСКАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЯ

3.0 При кинофлуорографировании со скоростью 50 кадров в секунду артикуляторы (язык, мягкое небо) могут во время быстрых речеобразовательных переходов совершать в течение экспозиции кинокадров (и в интервале между двумя экспозициями) движение в 1 мм и больше (Vjögk, 1961). Это может приводить к известной нечеткости границ артикуляционных структур, которая, правда, при проектировании движения незаметна, но затрудняет графическое воспроизведение отдельных неподвижных кадров и производство точных измерений. Поэтому оказывается целесообразным дополнять кинофлуорографию статической рентгенографией¹⁴ (Ardran, Kemp, 1953; Ardran и др., 1953; Fletcher, 1958;

¹² Дополнительные сведения о различных методах и средствах анализа рентгенокинофильмов можно найти в работах: Fletcher, 1958; Miller, 1959; Campet, 1960; DeClerk и др., 1965.

¹³ На такую возможность указывают А. С. Абрамсон и Ф. С. Купер (Abramson, Cooper, 1963).

¹⁴ Подробный обзор литературы по вопросу о статическом рентгенографировании

Fletcher и др., 1960; Шварцман, 1961; Subtelny Joanne, 1961; Subtelny, Subtelny, 1962a). Путем увеличения кинорентгенокадра до величины статической рентгенограммы и выборочного наложения таких кадров на статический снимок можно использовать последний, поскольку он обладает более четкими границами, в качестве общего ориентира, помогающего анализировать динамические процессы мягких тканей и производить более точные измерения.

Разработанная в последнее время техника статической рентгенографии — метод намагниченной пластинки (ксерорадиография) — дает более детальную и четкую картину, чем обычная рентгеновская техника; особенно повышается контрастность на границах теней (Heppu, 1958; Powell, 1965). Интерес может представить и сверхжесткая рентгенография, на снимках которой тени костных структур несколько затусованы, а контуры мягких тканей и полостей, заполненных воздухом, обрисованы резко, что особенно облегчает изучение мягких тканей (McDonnell и др., 1958).

3.1 Для статических рентгеновских съемок использовалась рентгеновская трубка «Diagnomax-125» (с фокусным отверстием 2 мм × 2 мм) с алюминиевым фильтром толщиной 1 мм; время выдержки 0,04 сек. 112 кв, 260 ма или 118 кв, 220 ма; расстояние между рентгеновской трубкой и медианной сагиттальной плоскостью головы диктора 2 м. Кассета помещалась непосредственно на плечо диктора; положение головы фиксировалось держателем; контрастным веществом служила эмульсия бария, которую наносили в виде тонкой полосы на центральную линию спинки языка, мягкого неба и губ.

3.2 Первый этап разработки системы звукозаписи произнесенной речи, синхронизированной с отметками, обозначающими время экспозиции заснятых артикуляционных фаз на статических рентгеноснимках, состоял из создания специальной схемы, которая давала возможность определить время задержки между моментом включения аппарата и фактическим началом рентгеновского облучения, вызванной инерцией механических реле аппарата. С этой целью на одной из звуковых дорожек магнитной ленты регистрировался переменный ток (50 гц), предварительно пропущенный через выключатель рентгеновского аппарата, причем момент его включения отмечался резким повышением напряжения. На второй звуковой дорожке регистрировался импульс, получаемый из трансформатора высокого напряжения пульта управления аппарата (т. е. трансформатора, питающего электромагнитный выключатель высокого напряжения), отмечавший момент фактического начала рентгеновского излучения. Сравнительный анализ на осциллограмме двух синхронных кривых позволил определить (с точностью до 1 мсек) длительность задержки начала излучения по сравнению с момента включения рентгеновского аппарата. Для использованного нами рентгеновского аппарата «Diagnomax» эта задержка оказалась равной 80—100 мсек.

Ввиду этого, чтобы зафиксировать так наз. квазистационарную фазу какого-либо звука, особенно короткого, необходимо включать аппарат еще до того, как этот звук будет произнесен. В таком случае для точного определения того, на какой фазе произнесения звука сделан рентгено-

артикуляторов можно найти в статье А. С. Макмиллана и Г. Келемена (MacMillan, Kelemen, 1952). Здесь назовем лишь несколько работ: Hála, Polland, 1926; Russell, 1928, 1931, 1934; Carmody, 1936, 1941; Carmody, Holbrook, 1937; Hegedüs, 1937; Sovijärvi, 1938a, b, c, 1963; Koneczna, Zawadowski, 1951, 1956; Лapidус и др., 1957; Hála, 1960; Саломатина, 1960; Liiv, 1961b; Скалозуб, 1963; Матусевич, Любимова, 1963, 1964; Wängler, 1964 и др.

снимок, необходима синхронная осциллографическая или спектрографическая запись¹⁵.

Судя по имеющимся публикациям, в экспериментальных исследованиях артикуляций указанная задержка донныне не учитывалась.

3.3 Для синхронизации рентгеновских снимков и произнесенной речи была разработана следующая специальная схема (см. рис. 2). На одной

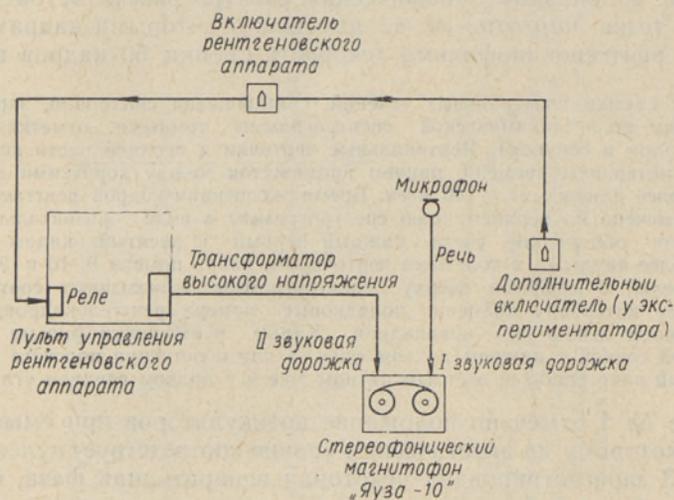


Рис. 2. Схема системы, синхронизирующей статический рентгеноснимок определенной фазы артикуляции со звуковой записью произносимой речи.

из звуковых дорожек двухканального магнитофона записывалась фраза (речь), произносимая во время рентгенографирования, на второй — импульс, отвечающий времени экспозиции (0,04 сек), который снимался непосредственно с трансформатора пульта управления аппарата и отмечал таким образом фактическое начало и конец облучения (а не моменты включения и выключения). Изучение осциллограмм, полученных на основании магнитофонной пленки, позволяет определить, какая фаза артикуляции звука изображена на том или ином рентгеноснимке (см. рис. 3).

3.4 Включение рентгеновского излучения в нужный момент (информант читал связный текст) производилось экспериментатором при помощи дополнительного включателя, вынесенного к пулту управления (рис. 2).¹⁶

¹⁵ Именно поэтому Г. Р. Пауэрс и предостерегает от использования нетипичной позиции, часто получаемой при статических съемках, для описания звука (Powers, 1962).

¹⁶ См. также Chlumský и др., 1938.

Известные возражения вызывает прием, использованный В. А. Артемовым и В. М. Шварцманом, при котором включал аппарат сам диктор (Артемов, Гинзбург, 1954; Шварцман, 1961). При этом диктор вынужден чрезмерно сосредоточивать свое внимание на процесс включения, что может приводить к неестественно затянутому произнесению звука.

4. ОБСУЖДЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.0 На рис. 6 и 7 приведены некоторые примеры экспериментальных материалов, полученных при помощи комплексной методики синхронизированного кинофлуорографирования и спектрографирования речи.

4.1 На рис. 6 показана динамическая спектрограмма эстонского слова ('kai:~tu) 'тезка, *партитив ед. ч.*' вместе с некоторыми кадрами соответствующего рентгенокинофильма (скорость съемки 50 кадров в секунду).

Моменты съемки спектральных сечений, снимавшихся синхронно, зарегистрированы на нижнем краю динамической спектрограммы темными отметками (скорость съемки 64 кадра в секунду). Вертикальные черточки в верхней части спектрограммы показывают интервалы времени, причем промежутки между короткими соответствуют 20 мсек, а более длинными — 100 мсек. Время экспозиции кадров рентгенокинофильма (10 мсек) отмечено на верхнем краю спектрограммы в виде горизонтальных черточек (при этом для облегчения счета каждый первый и десятый кадры отмечаются несколько более темными и толстыми черточками, напр., номера 9, 10 и 19, 20). Вертикальные стрелки с цифрами вверху спектрограммы показывают соответствующие определенному интервалу времени порядковые номера рентгенокадров, отмеченные также в нижнем левом углу кинокадров. Кадры рентгенокинофильма отмечаются одной светлой точкой в нижнем правом углу, а для облегчения подсчета каждый первый и десятый кадр снабжен светлым пятном еще и в правом верхнем углу (10, 19, 20).

В кадре № 1 отмечено положение артикуляторов при смычке согласного [к-], которому на акустическом уровне соответствует нулевой сигнал. На кадре 3 зарегистрирована некоторая аспираторная фаза, следующая за взрывом (шумовой спектр неопределенного характера, лишенный основной частоты). Кадры 4—5 показывают переходы от согласного к гласному в коартикуляторной структуре сочетания [ка-] (происходит сдвиг второй форманты в сторону более низких частот и первой — в сторону более высоких). Конфигурация речевого тракта, изображенная на кадре 7, показывает место максимального сужения тракта в глотке, при раскрытых ротовой полости и ротового отверстия и, по-видимому, в наибольшей степени соответствует так наз. кульминационной фазе гласного [-а-] (F_1 около 975 гц; F_2 примерно 1250 гц).

На кадрах 8—12 видны изменяющиеся конфигурации речевого тракта при переходе от первого компонента дифтонга [-ai-] ко второму его компоненту: продвижение места наибольшего сужения, образованного задней частью языка и мягким небом, к сужению, образованному передней частью языка и твердым небом (кадр 12). Одновременно происходит заметное уменьшение диаметра этого сужения, увеличение объема полости глотки и расширение валлекул. В результате всех этих процессов на спектрограмме хорошо прослеживается движение F_2 (и F_3) в сторону более высоких частот (и их максимальное сближение) (F_2 : примерно 1350 → 2550 гц) и понижение F_1 (900 → 525 гц). В отрезок времени, соответствующий кадрам 17—19, можно в конечных переходах второго компонента дифтонга, т. е. в коартикуляторной структуре сочетания [-it-], заметить понижение всех формант в результате, по-видимому, усиливающейся лабиализации (конфигурация резонансных полостей сравнительно неизменна). Особого внимания заслуживают здесь заметное на кадре 19 некоторое расширение канала между полостью глотки и носовой полостью и появление на спектрограмме так наз. назальной резонансной области в полосе частот около 3000—3150 гц.

Интересны и кадры 20—22, характеризующие продуцирование звука [-m-]: движение всей массы языка из переднего положения в заднее (от-

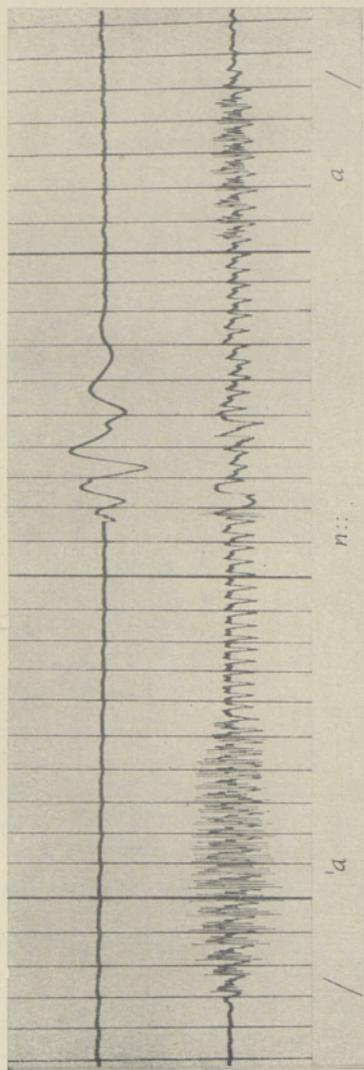


Рис. 3. Осциллограмма эстонского слова /'ап: :а/ (иллатив единственного числа названия местности *Аппа*) (нижняя кривая) вместе с записью сигнала, фиксирующего время экспозиции статического рентгено снимка (с переходными процессами) (верхняя кривая). Вертикальные черточки отмечают интервалы времени; расстояние между двумя соседними черточками соответствует 20 мсек. Из сопоставления кривых следует, что рентгено снимок сделан в момент артикуляции срединной фазы согласной /п: :/.

См. также рис. 2.

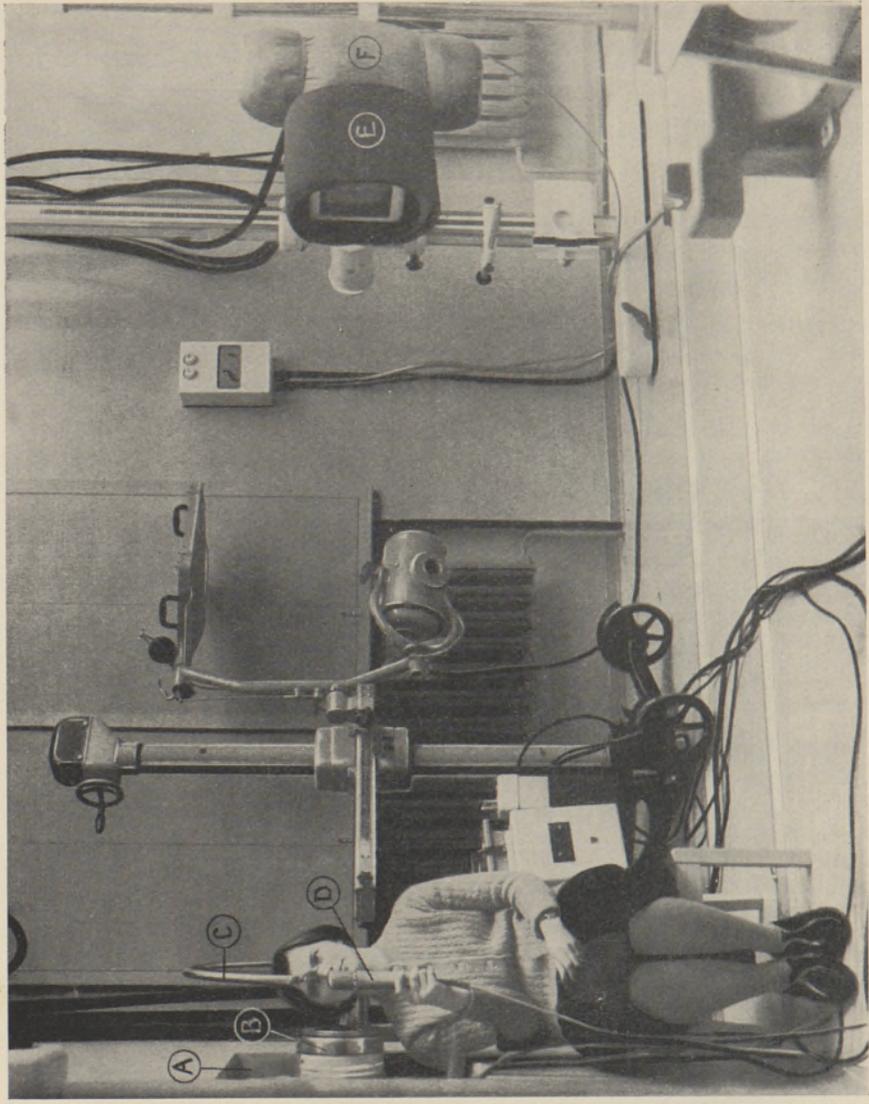
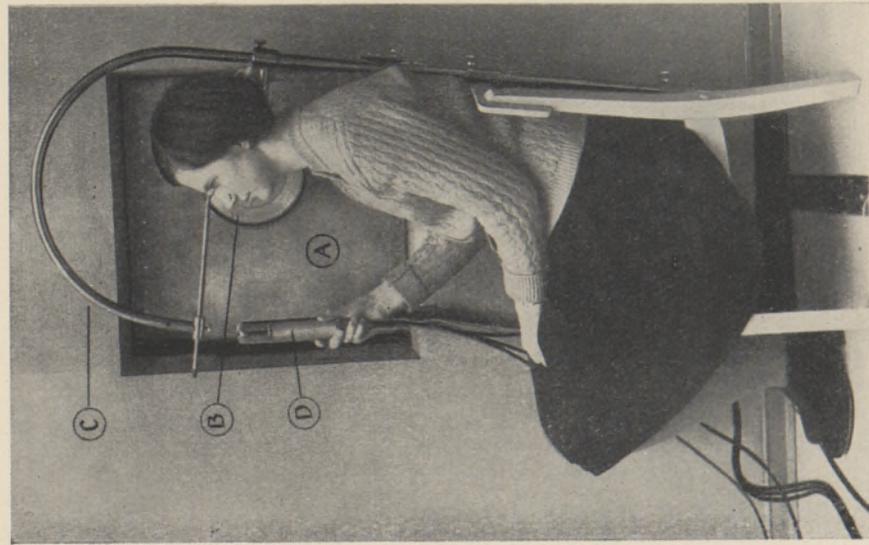


Рис. 4. Комплект кинофлуорографической аппаратуры, помещенной для получения высококачественной звукозаписи в две изолированные комнаты. Шестикатодная рентгеновская трубка «TuR D 1000-2» (F) с коллиматором (E) покрыты шумопоглощающими подушками. Точно подобранное положение информанта зафиксировано при помощи держателя (C) перед трубкой электронно-оптического преобразователя фирмы «Philips» (B), вмонтированного в специальный люк (A), обитый свинцовым листом и несколькими слоями войлока, и расположенного в стене между двумя помещениями. Трубка вынесена в непосредственную близость к анализируемой анатомической структуре информанта. Последний держит направленный микрофон (D) на определенном расстоянии (ок. 40 см) от рта. Подробнее см. разделы 2. 1. 1, 2. 1. 3 и 2. 2. 3 текста.

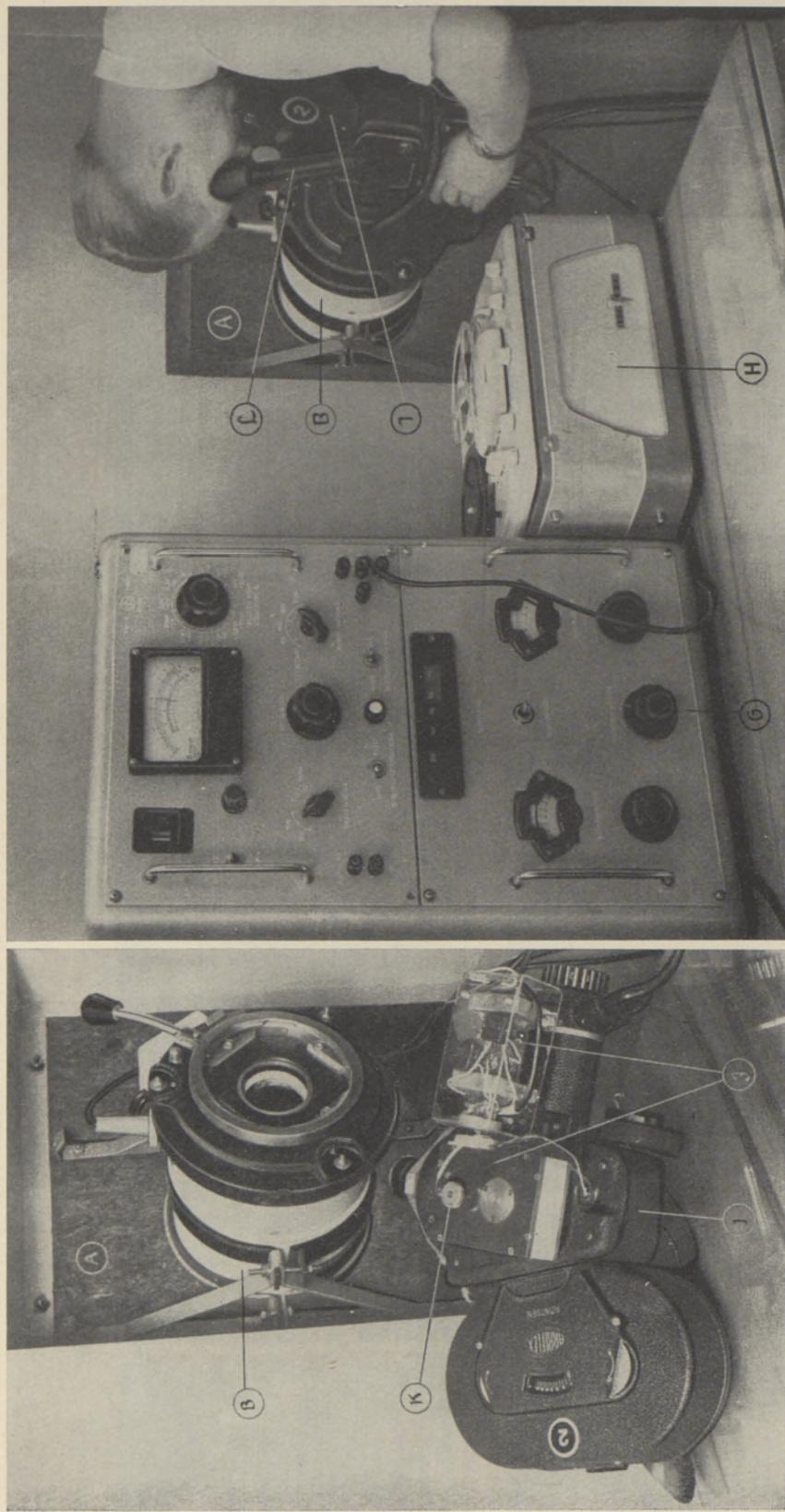
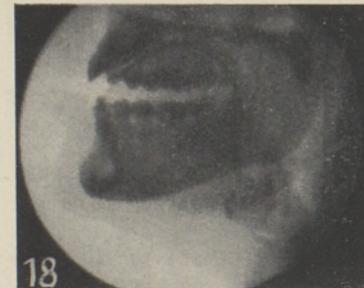
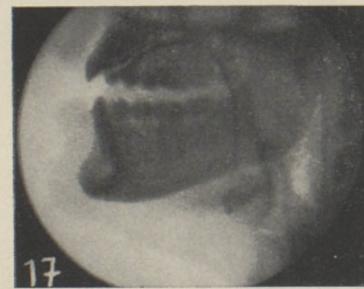
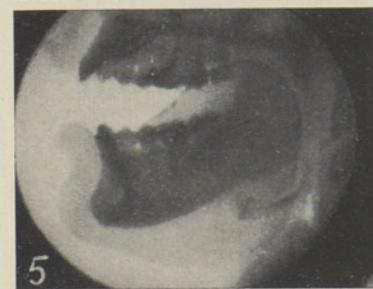
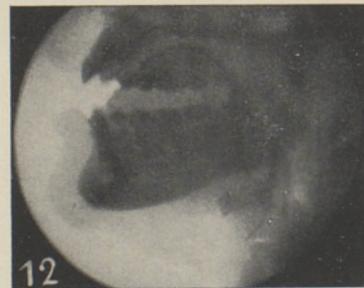
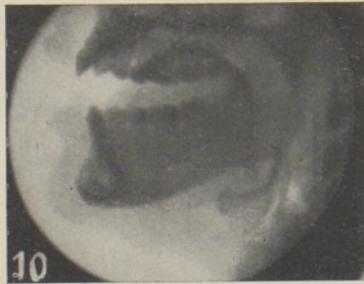


Рис. 5. В соседнем помещении рентгеновая кинокамера фирмы «Aggilex» (Л) с перископом (М), предназначенная для съемки изображений с флуоресцирующего экрана электронно-оптического преобразователя (В); стереофонический магнитофон «Яуза-10» (Н); звуковой генератор (Г) (в качестве источника питания импульсов и неоновых лампочек). Для обеспечения синхронного анализа движений артикуляторного механизма говорящего и динамики акустической структуры продуцируемой при этом речи создана специальная электро-механическая система (К), соединенная с ведущим валом кинокамеры (Л) и дающая возможность точно синхронизировать кадры рентгенокинофильма со спектральной структурой речи, произнесенной в тот же момент времени и зафиксированной на спектрограмме. Подробнее см. раздел 2. 1. 2 текста; см. также рис. 2.



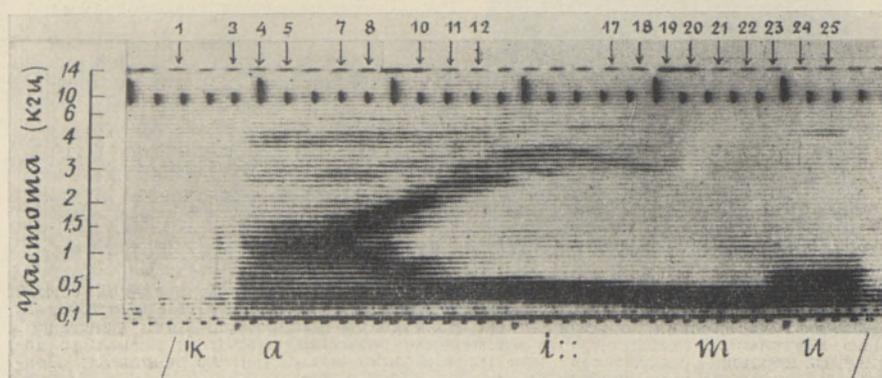
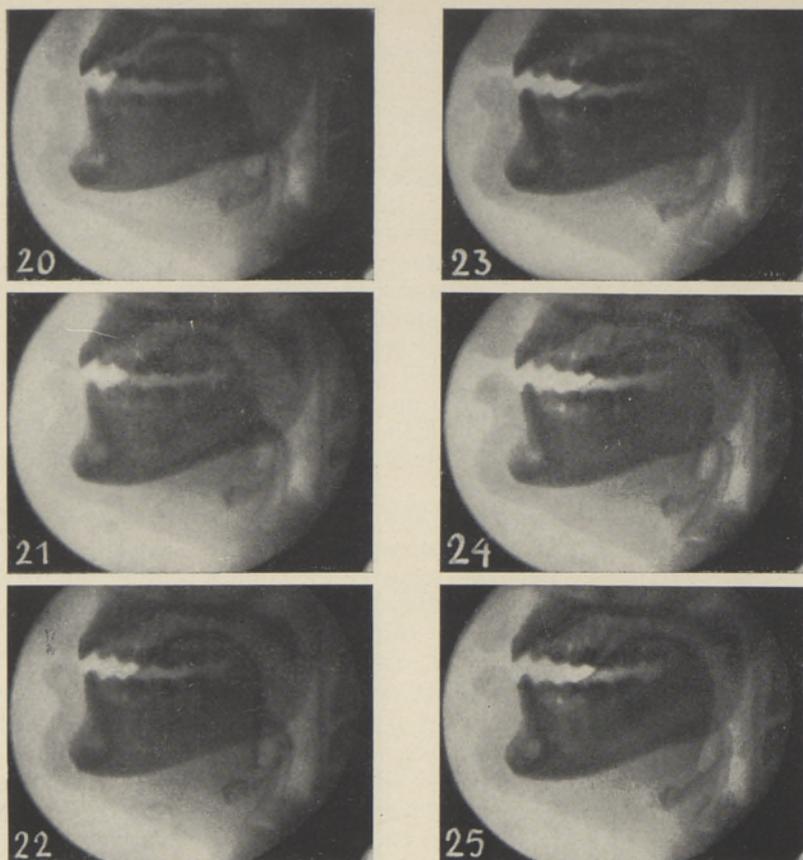


Рис. 6. Динамическая спектрограмма эстонского слова /'ka:itu/ 'тезка, парти-тив ед. ч.' вместе с некоторыми кадрами соответствующего рентгенокинофильма (скорость съемки 50 кадров в секунду).

Моменты съемки спектральных сечений, снимавшихся синхронно, зарегистрированы на нижнем краю динамической спектрограммы темными отметками (скорость съемки 64 кадра в секунду). Вертикальные черточки в верхней части спектрограммы показывают интервалы времени, причем промежутки между короткими соответствуют 20 мсек, а более длинными — 100 мсек. Время экспозиции кадров рентгенокинофильма (10 мсек) отмечено на верхнем краю спектрограммы в виде горизонтальных черточек (при этом для облегчения счета каждый первый и десятый кадры отмечаются несколько более темными и толстыми черточками, напр. номера 9, 10 и 19, 20). Вертикальные стрелки с цифрами сверху спектрограммы показывают соответствующие определенному интервалу времени порядковые номера рентгенокадров, отмеченные также в нижнем левом углу кинокадров. Кадры рентгенокинофильма отмечаются одной светлой точкой в нижнем правом углу, а для облегчения подсчета каждый первый и десятый кадр снабжен светлым пятном еще и в правом верхнем углу (10, 19, 20). Подробности см. раздел 4. 1 текста.

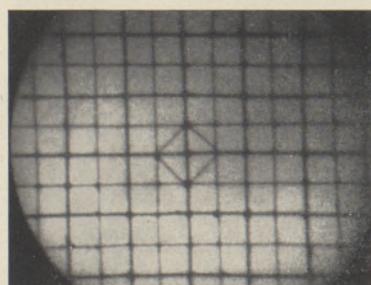
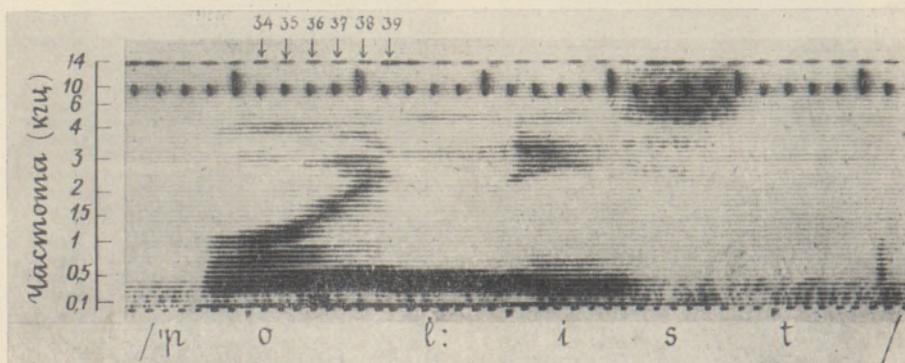


Рис. 7. Динамическая спектрограмма эстонского слова /'pol:ist/ (элатив ед. ч. названия местности *Polli*) вместе с некоторыми кадрами соответствующего рентгенофильма. Кадры показывают движения артикуляторов от так наз. кульминационной фазы [-o-] (№ 34) через [i]-образные конечные переходы до артикуляции палатализованного [-i-] (№ 39). Подробнее см. раздел 4, 2 текста.

Представленный на рисунке кадр рентгенокинофильма с измерительной сеткой (площадь каждого квадрата 1 см²), предназначенной для измерения погрешностей и фактора увеличения, обусловленных коническим распространением рентгеновского излучения, показывает, что применение описанной методики позволило достигнуть хороших результатов при минимизации названных погрешностей. Подробнее см. раздел 2, 2, 3 текста.



куда следует, что нервные сигналы, управляющие речеобразованием [-и], поступили в соответствующие мышцы уже во время артикуляции [-т-]) с одновременным последовательным расширением канала между полостью глотки и носовой полостью. Однако так наз. назальная форманта около 1050 *гц* зарегистрирована лишь на кадрах 21—22, когда при губной смычке происходит более значительное соединение названных полостей. Едва ли здесь (кроме лабиальной смычки) можно обнаружить что-либо похожее на «типичное» изолированное и растянутое произношение [т], приводимое на схемах во многих монографиях! В течение всего периода артикуляции последующего [-и] проход в носовую полость остается в известной мере открытым (на спектрограмме видна некоторая резонансная область в полосе около 4225 *гц*, что, возможно, соответствует назальности гласного). Высокий женский голос.

4. 2 На рис. 7 приведена динамическая спектрограмма эстонского слова /po:ist/ (элатив ед. ч. названия местности *Polli*) вместе с некоторыми рентгенокинокадрами. Кадры показывают движения артикуляторов от так наз. кульминационной фазы [-о-] (№ 34) через [i]-образные конечные переходы (представляющие собой один из наиболее существенных акустических коррелятов палатализации в эстонском языке) до артикуляции палатализованного [-i-] (№ 39). Четко прослеживается продвижение максимального сужения речевого тракта в переднюю часть ротовой полости (так, на кадре № 34 это сужение образовано задней частью языка и мягким небом, а на кадре № 38 — передней частью языка и альвеолами). Одновременно значительно расширяется полость глотки, расширяются валлекулы и несколько приподнимается гортань. В результате непрерывного изменения конфигурации речевого тракта продуцируется весьма заметный переход от гласного к последующему согласному (длительностью 95 *мсек* при общей длительности гласного 140 *мсек*). Особого внимания заслуживает повышение F_2 от примерно 975 *гц* (кадр № 34) до 2 475 *гц* (кадр № 38) и, наоборот, снижение F_1 с примерно 750 *гц* до 525 *гц*. Высокий женский голос.

Рисунок четко свидетельствует об отсутствии каких бы то ни было стационарных сегментов при продуцировании ядра слога.

★

Целью данной статьи являлось описание комплексной методики синхронизированного кинофлуорографирования и спектрографирования речи, разработанной в Лаборатории экспериментальной фонетики Института языка и литературы АН ЭССР. Приводились лишь некоторые примеры полученных экспериментальных материалов. Результаты конкретных исследований динамических структур гласных и согласных звуков эстонского языка, проводимых в настоящее время в лаборатории, будут особо опубликованы.

ЛИТЕРАТУРА

- Артемов В. А., Гинзбург В. Т., 1954. Рентгенологическое изучение речевой артикуляции. В сб.: Экспериментальная фонетика и психология речи. Уч. зап. 1-го Моск. гос. пед. ин-та иностранных языков 8 : 169—178.
- Бондарко Л. В., Вербицкая Л. А., Зиндер Л. Р., 1966. Акустические характеристики безударности (на материале русского языка). В сб.: Структурная типология языков : 56—64. АН СССР. Ин-т славяноведения, М.
- Галунов В. И., Чистович Л. А., 1965. О связи моторной теории с общей проблемой распознавания речи. Акуст. ж. 11 (4) : 417—426.
- Жинкин Н. И., 1958. Механизмы речи. Изд. Акад. гед. н. РСФСР, М.

- Загоруйко Н. Г., 1964. Об обмене устной информацией между человеком и вычислительными системами. В сб.: Вычислительные системы (10) : 3—12. Ин-т матем. СО АН СССР, Новосибирск.
- Загоруйко Н. Г., 1966. Структура проблемы распознавания слуховых образов и методы ее решения. В сб.: Распознавание слуховых образов : 8—67. Новосибирск.
- Загоруйко Н. Г., Волошин Г. Я., Елкина В. Н., 1965. Автоматическое опознавание звуковых образов. В сб.: Вычислительные системы (14). Ин-т матем. СО АН СССР, Новосибирск.
- Кожевников В. А., Щупляков В. С., 1962. О приемах одновременной регистрации артикуляционных и акустических параметров речи. *Вопр. психологии* (6) : 128—134.
- Кожевников В. А., Гранстрем М. П., Кузьмин Ю. И., Щупляков В. С., Венцов А. В., Вороздин А. Н., Герасимов А. А., Жуков С. Я., 1966. Комплекс устройств для исследования артикуляторной и акустической картины речи. В сб.: XVIII Международный психологический конгресс, Москва, 1966. Симпозиум 23 : Модели восприятия речи : 95—98 (А).
- Кратин Ю. Г., 1955. К методике записи колебаний электрических потенциалов речевой мускулатуры. *Ж. высш. нервн. деят-сти* 5 (4).
- Кузьмин Ю. И., 1963. Динамическая палатография. *Вопр. психологии* (1) : 137—141.
- Кюннал Э., 1966. Устные команды в системах управления. *Изв. АН ЭССР, сер. физ.-матем. и техн. н.* 15 (3) : 377—399.
- Ләпідус Ф. І., Овощников М. С., Проколова Л. І., Скалосуб Л. Г., Сунцова І. П., 1957. Рентгенографування мовних артикуляцій. В сб.: Науковий щорічник за 1956 р. Вид-во КДУ.
- Линдгрэн, 1966. Машинное распознавание человеческого языка. *Зарубежная радиоэлектроника* (3) : 55—89; (4) : 63—89; (5) : 56—76.
[—Lindgren N., 1965. machine recognition of human language. *IEEE Spectrum* 2 (3) : 114—136; (4) : 95—59; (5) : 104—106].
- Люблинская В. В., 1966. Распознавание артикуляторных признаков смычных согласных по переходу от гласного к согласному. *Акуст. ж.* 12 (2) : 213—221.
- Матусевич М. И., Любимова Н. А., 1963. Альбом артикуляций звуков русского языка. Унив. дружбы народов им. Пагриса Лумумбы, М.
- Матусевич М. И., Любимова Н. А., 1964. Артикуляция русских звуков под ударением на основе рентгенографических данных. В сб.: Вопросы фонетики. Уч. зап. ЛГУ 325 : 37—44.
- Проколова Л. И., Родзаевский А. П., Тоцькая Н. И., 1964. Применение рентгенокинематографии при изучении речевых артикуляций. *Ж. ушных, носовых и горловых болезней* 3 : 56—61.
- Проколова Л. І., Родзаєвський О. П., Тоцька Н. І., 1965. Дослідження мовних артикуляцій за допомогою рентгенокінозйомки. *Вісник Київського університету, Серія філології та журналістики* (7) : 148—150.
- Саломатина Л. К., 1960. Сравнительный анализ ударных гласных испанского и русского языков. В сб.: Экспериментальная фонетика и психология речи. Уч. зап. 1-го Моск. гос. пед. ин-та иностр. языков (20).
- Скалосуб Л. Г., 1963. Палатограммы и рентгенограммы согласных фонем русского литературного языка. Киевск. гос. ун-т им. Т. Г. Шевченко. Работы лаборатории экспериментальной фонетики, Киев.
- Цемель Г. И., 1961. Автоматическое (объективное) распознавание звуков речи. *Зарубежная радиоэлектроника* 16 (4) : 52—73.
- Чистович Л. А., 1960. Классификация звуков речи при их быстром повторении. *Акуст. ж.* 6 (3) : 392—398.
- Чистович Л. А., 1961. Текущее распознавание речи человеком. I. В сб.: Машинный перевод и прикладная лингвистика (6) : 39—79. М.
- Чистович Л. А., 1962. Текущее распознавание речи человеком. II. В сб.: Машинный перевод и прикладная лингвистика (7) : 3—44. М.
- Чистович Л. А., 1966. Психоакустика и вопросы теории восприятия речи. В сб.: Распознавание слуховых образов : 68—169. Новосибирск.
- Чистович Л., Голузина А., Люблинская В., Малинникова Т., Рохтла М., Жукова М., 1966. Психологические методы в исследовании восприятия речи. Докл. на XVIII Международном психологическом конгрессе. Москва, август 1966. Симпозиум 23: Модели восприятия речи. (В печ.).
- Чистович Л. А., Жукова М. Г., Малинникова Т. Г., Кожевников В. А., Вороздин А. Н., 1966. Имитация и восприятие длительности изолированных гласных. В сб.: Механизмы речеобразования и восприятия сложных звуков. [—Пробл. физиол. акустики 5]. М.—Л.
- Чистович Л. А., Кожевников В. А., Алякринский В. В., Бондарко Л. В., Голузина А. Г., Клаас Ю. А., Кузьмин Ю. И., Лисенко Д. М., Люблинская В. В., Федорова Н. А., Щупляков В. С., Щуплякова Р. М., 1965. Речь. Артикуляция и восприятие. М.—Л.
- Шварцман В. М., 1961. Об экспериментально-фонетическом изучении звукового состава языка. Казахск. гос. пед. ин-т им. Абая. Материалы к языковедческим курсам 5. *Вопр. общ. языкознания* : 3—13. Алма-Ата.
- Abrahamson A. S., Cooper F. S., 1963. Slow motion X-ray pictures with stretched speech as a research tool. *J. Acoust. Soc. America (JASA)* 35 (11) : 1888—1889 (A).
- Agram A., Subtelny J., Daniel, 1959. Velopharyngeal function and cleft palate prostheses. *J. Prosth. Dentistry* 9 (1) : 149—158.
- Ardan G. M., Kemp F. H., 1953. Radiography of the larynx in the postero-anterior projection. *Brit. J. Radiol.* 26 (Oct.) : 509.
- Ardan G. M., Kemp F. H., 1956. Closure and opening of the larynx during swallowing. *Brit. J. Radiol.* 29 (Apr.) : 205—208.
- Ardan G. M., Kemp F. H., Manen L., 1953. Closure of the larynx. *Brit. J. Radiol.* 26 (Oct.) : 497—509.
- Ball J., 1960. Eight-inch image amplifier. In: *Cinefluorography. Proceedings of the First Annual Symposium on Cinefluorography*, Sponsored by the Department of Radiology, University of Rochester, School of Medicine and Dentistry, Rochester, New York, November 14 and 15, 1958. Ramsey G. H., Watson J. S., Jr., Tristan Th. A., Weinberg S., Cornwell W. S. (Eds), Charles C Thomas, Springfield, Illinois.
- Bate D., Ruiz O., Bachman A. L., 1957. Studies on the lateral neck radiograph. *Brit. J. Radiol.* 30 (June) : 298—304.

- Bell C. G., Fujisaki H., Heinz J. M., Stevens K. N., House A. S., 1961. Reduction of speech spectra by analysis-by-synthesis techniques. *JASA* 33 (12) : 1725-1736. [= Lehiste I. (Ed.), 1967. Readings in Acoustic Phonetics : 63-74. The M. I. T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, and London, England].
- Berg J. van den, 1962. Modern research in experimental phoniatrics. *Folia phoniatr.* 14 (2-3) : 81-150. Basel - New York.
- Berg J. van den, Moolenaar-Bijl A. J., 1955. A cineradiography on oesophageal speech. *Acta Physiol. et Pharmacol. Neerl.* 4 (3) : 419.
- Björk L., 1961. Velopharyngeal function in connected speech. Studies using tomography and cineradiography synchronized with speech spectrography. *Acta Radiol. Suppl.* (202). Stockholm.
- Björk L., Nylén B. O., 1961. Cineradiography with synchronized sound spectrum analysis. A study of velopharyngeal function during connected speech in normals and cleft palate cases. *Plastic and Reconstr. Surg. and the Transplant. Bull. (J. Amer. Soc. Plastic and Reconstr. Surg., Inc.)* 27 (4) : 391-412. Baltimore.
- Brader A. C., 1949. The application of the principles of cephalometric laminagraphy to studies of the frontal planes of the human head. *Amer. J. Orthodontics* 35 (4) : 249-268.
- Campeti F. L., 1960. Diagnostic analysis of cinefluorograms. In: *Cinefluorography. Proceedings of the First Annual Symposium on Cinefluorography.* Ramsey G. H. et al. (Eds), Charles C Thomas, Springfield, Illinois.
- Carmody F. J., 1936. Radiographs of thirteen German vowels. *Arch. Neerl. Phonétique Experim.* 12 : 27-33.
- Carmody F. J., 1941. An X-ray study of pharyngeal articulation. *Univ. Calif. Publ. Modern Philology* 21 (5). Berkeley - Los Angeles.
- Carmody F., Holbrook R., 1937. X-ray studies of speech articulations. *Univ. Calif. Publ. Modern Philology* 20 (4).
- Chiba T., Kajiyama M., 1941. The vowel: its nature and structure. Tokyo-Kaiseikan, Tokyo. Reprinted 1961.
- Chistovich L., Fant G., Serpa-Leitão A. de, Tjernlund P., 1966. Mimicking of synthetic vowels. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1966 (2) (July 15, 1966) : 1-18.
- Chistovich L., Fant G., Serpa-Leitão A. de, 1966. Mimicking and perception of synthetic vowels, part II. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1966 (3) (Oct. 15, 1966) : 1-3.
- Chlumský J., Pauphilet A., Polland B., 1938. Radiografie francouzských samohlásek a polosamohlásek. Praha.
- Cline A. W., 1965. Technique of sound analysis of speech with simultaneous X-ray motion pictures of the pharynx. *J. Soc. Motion Picture Television Engineers* 74 (2) : 105-107.
- Coccaro P. J., Subtelny J. Daniel, Pruzansky S., 1962. Growth of soft palate in cleft palate children. *Plastic and Reconstr. Surg.* 30 (1) : 43-55.
- Coker C. H., Fujimura O., 1966. Models for specification of the vocal-tract area function. *JASA* 40 (5) : 1271 (A).
- Cooper F. S., 1962. Speech synthesizers. In: *Proceedings of the Fourth International Congress of Phonetic Sciences, Held at the University of Helsinki 4-9 September 1961 : 3-13.* Sovijärvi A., Aalto P. (Eds), Mouton & Co., The Hague [= *Janua Linguarum. Studia Memoriae Nicolai van Wijk dedicata, ser. maior* 10].
- Cooper F. S., 1965. Instrumental methods for research in phonetics. In: *Proceedings of the Fifth International Congress of Phonetic Sciences, Held at the University of Münster 16-22 August 1964 : 142-171.* Zwirner E., Bethge W. (Eds), S. Karger, Basel - New York.
- Cooper F. S., 1966. Describing the speech process in motor command terms. *JASA* 39 (6) : 1221 (A).
- Cooper F. S., Delattre P. C., Liberman A. M., Borst J. M., Gerstman L. J., 1952. Some experiments on the perception of synthetic speech sounds. *JASA* 24 (6) : 597-606.
- Cooper H. K., 1956. Cinefluorography with image intensification as an aid treatment planning for some cleft lip and/or cleft palate cases. *Amer. J. Orthodontics* 42 (Nov.) : 815-825.
- Coupe T. B., Subtelny J. Daniel, 1960. Cleft palate deficiency or displacement of tissue. *Plastic and Reconstr. Surg.* 26 (6) : 600-612.
- Cernoch Z., Zbořil M., 1961. Rentgenkinematografické záznamy jicnové řeči. *Ceskosl. rentgenol.* 15 (2) : 85-92.
- Damsté P. H., 1962. Cineradiographic observations of velar and glottal movements. In: *Proceedings of the Fourth International Congress of Phonetic Sciences : 147-149.* Mouton & Co., The Hague.
- DeClerk J. L., Landa L. S., Phylle D. L., Silverman S. I., 1965. Cinefluorography of the vocal tract. Paper A26 in: 5^e congrès international d'acoustique. Colloque international tenu à Liège du 7 au 14 septembre 1965. Rapports conférences particulières Ia. [= *Problèmes d'acoustique. Les Congrès et Colloques de l'Université de Liège* 35, Université de Liège 1965].
- Delattre P., 1962. Le jeu des transitions de formants et la perception des consonnes. In: *Proceedings of the Fourth International Congress of Phonetic Sciences : 407-417.* Mouton & Co., The Hague.
- Delattre P. C., Liberman A. M., Cooper F. S., 1955. Acoustic loci and transitional cues for consonants. *JASA* 27 (4) : 769-773. [= Lehiste I. (Ed.), 1967. Readings in Acoustic Phonetics : 283-297. The M. I. T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, and London, England].
- Delattre P. C., Liberman A. M., Cooper F. S., 1964. Formant transitions and loci as acoustic correlates of place of articulation in American fricatives. *Studia Linguistica* 16 (2) : 104-121.
- Denes P. B., 1965. On the motor theory of speech perception. In: *Proceedings of the Fifth International Congress of Phonetic Sciences : 252-258.* Zwirner E., Bethge W. (Eds), S. Karger, Basel - New York.
- Dennis J. B., 1963. Computer control of an analog vocal tract. Paper F3 in: *Proceedings of the Speech Communication Seminar II. Stockholm Aug 29 - Sept 1, 1962.* Speech Transmission Laboratory, Royal Institute of Technology. Stockholm/Sweden.
- Dennis J. B., Whitman E. C., Tomlinson R. S., 1964. On the construction of a dynamic vocal-tract model. *JASA* 36 (5) : 1038 (A).
- Dunn H. K., 1950. The calculation of vowel resonances and an electrical vocal tract. *JASA* 22 (6) : 740-753.

- Eek A., 1966. Eksperimentaalfonetika võõrkeelsete teenistuses. [= О применении экспериментальной фонетики в обучении иностранным языкам]. Keel ja Kirjandus (7) : 451-453. Tallinn.
- Euler F. J., 1960. Synchronization in cinefluorography. In: Cinefluorography. Proceedings of the First Annual Symposium on Cinefluorography. Ramsey G. H. et al. (Eds), Charles C Thomas, Springfield, Illinois.
- Fant G., 1957. Modern instruments and methods for acoustic studies of speech. The Royal Institute of Technology Division of Telephony-Telephony The Speech Transmission Laboratory Report (8) (June 11, 1957).
- Fant G., 1960. Acoustic theory of speech production. Mouton & Co., 's-Gravenhage. [= Description and analysis of contemporary standard Russian II].
- Fant G., 1965. Formants and cavities. In: Proceedings of the Fifth International Congress of Phonetic Sciences : 120-141. Zwirner E., Bethge W. (Eds), S. Karger, Basel - New York.
- Fant G., 1966. Chairman's introduction. XVIII International Congress of Psychology, Moscow, 1966. Symposium 23 : Models of Speech Perception. В сб.: XVIII Международный психологический конгресс, Москва, 1966. Симпозиум 23: Модели восприятия речи : 9-15. Л.
- Fant G., Ondráčková J., Lindqvist J., Sonesson B., 1967. Electrical glottography. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1966 (4) (Jan. 15, 1967) : 15-21.
- Feddeina J., 1960. The nine-inch image intensifier. In: Cinefluorography. Proceedings of the First Annual Symposium on Cinefluorography. Ramsey G. H. et al. (Eds), Charles C Thomas, Springfield, Illinois.
- Fischer-Jørgensen E., 1963. Beobachtungen über den Zusammenhang zwischen Stimmhaftigkeit und intraoralem Luftdruck. Z. Phonetik, allgem. Sprachwiss. und Kommunikationsforschung 16 (1-3) : 19-36.
- Fischer-Jørgensen E., Frøkjaer-Jensen B., Rischel J., 1967. Preliminary experiments with the Fabre glottograph. Annual Report of the Institute of Phonetics University of Copenhagen, ARIPUC 1966 (1) : 22-30. Copenhagen.
- Fletcher S. G., 1958. Analysis of cinema films in diagnosis and research. J. Biol. Photographic Assoc. 26 (1) : 29-33.
- Fletcher S. G., Shelton R. L., Jr., Smith C. C., Bosma J. F., 1960. Radiography in speech pathology. J. Speech and Hearing Disorders 25 (2) : 135-144.
- Fónagy I., 1966. Electrophysiological and acoustic correlates of stress and stress perception. J. Speech and Hearing Res. 9 (2) : 231-244.
- Fromkin V. A., 1965. Some phonetic specifications of linguistic units: an electromyographic investigation. University of California at Los Angeles Working Papers in Phonetics (3). Los Angeles.
- Fromkin V. A., 1966. Relationship between linguistic units and motor commands. JASA 39 (6) : 1219 (A).
- Fromkin V., Ladefoged P., 1966. Electromyography in speech research. Phonetica 15 (3-4) : 219-242. Basel - New York.
- Fujimura O., 1960. Spectra of nasalized vowels. Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Massachusetts) Res. Laboratory Electronics Quarterly Progress Rept (July 15, 1960) : 214-218.
- Fujisaki H., 1960. Vowel analysis. Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Massachusetts) Res. Laboratory Electronics Quarterly Progress Rept (July 15, 1960) : 213-214.
- Gay B. B., 1958. A roentgenologic method for evaluation of the larynx and pharynx. I. Technique of examination. Amer. J. Roentgenol. 79 (2) : 301-305.
- Gelder L. van, 1956. Radiography of the soft palate function in speech. Pract. Oto-Rhino-Laryngol. 18 : 305.
- Gilardoni A., Ghislanzoni T., Taccani A., 1959. Cineradiography with synchronized 3 ms flashes by means of ignitron electronic switching gives low patient dosis and tube load. In: IX International Congress of Radiology. Abstracts : 2. München.
- Hagerty R. F., Hill M. J., 1960. Pharyngeal wall and palatal movement in postoperative cleft palates and normal palates. J. Speech and Hearing Res. 3 (1) : 59-66.
- Hagerty R. F., Hill M. J., Pettit H. S., Kane J. J., 1958a. Soft palate movements in normals. J. Speech and Hearing Res. 1 (4) : 325-330.
- Hagerty R. F., Hill M. J., Pettit H. S., Kane J. J., 1958b. Posterior pharyngeal wall movements in normals. J. Speech and Hearing Res. 1 (3) : 203-210.
- Hagerty R., Hoffmeister F. S., 1954. Velopharyngeal closure: an index of speech. Plastic and Reconstr. Surg. 13 : 290-298.
- Hála B., Fonetické obrazy hlásek českých, slovenských, francouzských, německých, ruských, polských, anglických, maďarských a španělských spolu se srovnávacím popisem výslovnosti. Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Hála B., Pollard B., 1926. Artikulace českých zvuků v roentgenových obrazech (skia-gramech). Praha.
- Halle M., Stevens K., 1962. Speech recognition: a model and a program for research. IRE Transactions on Information Theory IT-8 (2) : 155-159. New York.
- Halle M., Stevens K. N., 1967. On the mechanism of glottal vibration for vowels and consonants. Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Massachusetts) Research Laboratory of Electronics Quarterly Progress Report (85) (Apr. 15, 1967) : 267-271.
- Harris K. S., Huntington D. A., Sholes G. N., 1966. Coarticulation of some disyllabic utterances measured by electromyographic techniques. JASA 39 (6) : 1219 (A).
- Hegedüs L., 1937. Röntgenaufnahmen von ungarischen Vokalen. Arch. Néerl. Phonétique Experim. 13 : 72-77.
- Heinz J. M., 1963. An analysis of speech spectra in terms of a model of articulation. Paper B3 in: Proc. Speech Communication Seminar I. Stockholm, Aug 29 - Sept 1, 1962. Speech Transmission Laboratory, Royal Institute of Technology. Stockholm/Sweden.
- Heinz J. M., 1967. Perturbation functions for the determination of vocal-tract area functions from vocal-tract eigenvalues. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1967 (1) (Apr. 15, 1967) : 1-14.
- Heinz J. M., Stevens K. N., 1964. On the derivation of area functions and acoustic spectra from cineradiographic films of speech. JASA 36 (5) : 1037-1038 (A).
- Heinz J. M., Stevens K. N., 1965. On the relations between lateral cineradiographs, area functions, and acoustic spectra of speech. Paper A44 in: 5^e congrès international d'acoustique. Rapports conférences particulières 1a.

- Heinz J., Uhman S., 1966. Models for articulation. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1966 (1) (Apr. 15, 1966) : 12-13.
- Henke W. L., 1966. Dynamic articulatory model of speech production. JASA 40 (5) : 1271 (A).
- Henny G. C., 1958. Effect of roentgen-ray quality on response in xeroradiography. Amer. J. Roentgenol. 79 (1) : 158.
- Holbrook A., Fairbanks G., 1962. Diphthong formants and their movements. J. Speech and Hearing Res. 5 (1) : 38-56. [= Lehiste I. (Ed.), 1967. Readings in acoustic phonetics : 249-269. The M. I. T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, and London, England].
- House A. S., Paul A. P., Stevens K. N., Arnold Jane B., 1963. Acoustical description of syllabic nuclei: data derived by automatic analysis procedures. Paper B5 in: Proceedings of the Speech Communication Seminar I. Stockholm, Aug 29 - Sept 1, 1962. Speech Transmission Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm/Sweden.
- House A. S., Stevens K. N., 1964. Analysis of glide consonants. JASA 36 (5) : 1038 (A).
- House A. S., Stevens K. N., Paul A. P., 1963. Acoustical description of syllabic nuclei: an interpretation in terms of a dynamic model of articulation. Paper B₆ in: Proceedings of the Speech Communication Seminar I. Stockholm, Aug 29 - Sept 1, 1962. Speech Transmission Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm/Sweden.
- Imre V., 1958. Beitrag zur Anatomie und Physiologie des Gaumensegels. Folia phoniatr. 10 (1) : 119-125.
- Inomata S., 1963. Program for active segmentation and reduction of phonetic parameters. Paper B7 in: Proceedings of the Speech Communication Seminar I. Stockholm, Aug 29 - Sept 1, 1962. Speech Transmission Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm/Sweden.
- Janker R., 1949. Zur Frage der Röntgenstereoskopie. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen vereinigt mit Röntgenpraxis 71 (2) : 339-344.
- Janker R., Schwab W., 1957. Die Bedeutung der Röntgenkinematographie für das Studium normaler und pathologischer Bewegungsvorgänge im Bereich des oberen Speiseweges und der unteren Luftwege. Arch. Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde 171 : 215-224.
- Joos M., 1948. Acoustic phonetics. Language 24 (2), Suppl. : 1-136. Language Monograph 23.
- Kadokawa I., Nakata K., 1965. Analysis of speech by vocal tract configuration. J. Radio Res. Laboratories [Tokyo] 12 (61) : 187-195.
- Kato Y., 1964. Analysis of liquid consonants. JASA 36 (10) : 1989 (A).
- Kelly J. L., Jr., Loebbaum C., 1963. Speech synthesis. Paper F7 in: Proceedings of the Speech Communication Seminar II. Stockholm, Aug 29 - Sept 1, 1962. Speech Transmission Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm/Sweden.
- Kim C.-W., 1967. Cineradiographic study of Korean stops and a note on "aspiration". Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Massachusetts) Research Laboratory of Electronics Quarterly Progress Report (86) (July 15, 1967) : 259 - 272.
- Kirkpatrick J. A., Olmsted R. W., 1959. Cinefluorographic study of pharyngeal function related to speech. Radiology. Monthly J. Devoted to Clin. Radiol. and Allied Sciences (Offic. J. Radiol. Soc. North America) 73 (4) : 557-559.
- Klatt D. H., 1967. Articulatory activity and air flow during the production of fricative consonants. Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Massachusetts) Res. Laboratory Electronics Quarterly Progress Rept (84) (Jan. 15, 1967) : 257-260.
- Klatt H., Stevens K. N., 1966. Air-flow measurement during the production of speech sounds. JASA 39 (6) : 1218 (A).
- Koneczna H., Zawadowski W., 1951. Przekroje rentgenograficzne głosek polskich. Warszawa.
- Koneczna H., Zawadowski W., 1956. Obrazy rentgenograficzne głosek rosyjskich. Warszawa.
- Král A., 1966. Рецензия: J. Ondračková: Rentgenologický výzkum articulace českých vokálů. Praha 1964 : 189. В сб.: Sbornik Prací filosofické fakulty Brněnské university, Ročník 15, řada jazyková (A) C. (14) : 189-191. Brno.
- Laczkowska M., 1961. Concerning the function of the velum. Folia phoniatr. 13 : 107-111.
- Ladefoged P., 1962. Sub-glottal activity during speech. In: Proceedings of the Fourth International Congress of Phonetic Sciences : 73-91. Sovijärvi A., Aalto P. (Eds), Mouton & Co., The Hague.
- Ladefoged P., 1966. New research techniques in experimental phonetics. In: The Study of Sounds 12 : 84-101. Phonetic Soc. Japan. [= Papers, Delivered at the Second World Congress of Phoneticians, Tokyo, 26-31 August, 1965].
- Ladefoged P., McKinney N. P., 1963. Loudness, sound pressure, and subglottal pressure in speech. JASA 35 : 454-460.
- Lane H. L., Catford J. C., Oster R., O'Donnell F. E., Rand T., 1966. Pattern of air flow out of the mouth during speech. JASA 40 (5) : 1272 (A).
- Lehiste I., 1969. Segmental and syllabic quantity of Estonian. In: Amer. Studies in Uralic Linguistics, Indiana Univ. Publ., Uralic and Altaic Series 1 : 21-82.
- Lehiste I., Peterson G. E., 1961. Transitions, glides, and diphthongs. JASA 33 (3) : 268-277. [= Lehiste I. (Ed.), 1967. Readings in Acoustic Phonetics : 228-237. The M. I. T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, and London, England].
- Liberman A. M., 1957. Some results of research of speech perception. JASA 29 (1) : 117-123.
- Liberman A. M., Cooper F. S., Harris K. S., MacNeilage P. F., 1963. A motor theory of speech perception. Paper D3 in: Proceedings of the Speech Communication Seminar II. Stockholm, Aug 29 - Sept 1, 1962. Speech Transmission Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm/Sweden.
- Liberman A. M., Cooper F. S., Studdert-Kennedy M., Harris K. S., Shankweiler D. P., 1966. Some observations on the efficiency of speech sounds. Report Presented at the XVIII International Congress of Psychology, Moscow, August 1966. (В печ.).
- Liberman A. M., Ingemann F., Lisker L., Delattre P., Cooper F. S., 1959. Minimal rules for synthesizing speech. JASA 31 (11) : 1490-1499.
- Liberman A. M., Studdert-Kennedy M., Stevens K. N., 1963. Reaction time to synthetic stop consonants and vowels at phoneme centers and at phoneme boundaries. JASA 35 (11) : 1900 (A).

- Lignon A., Botden P., 1960. Image intensification. In: Cinefluorography. Proceedings of the First Annual Symposium on Cinefluorography : 16-23. Ramsey G. H. et al. (Eds), Charles C Thomas, Springfield, Illinois.
- Liiiv G., 1960. Fonetika uusi suundi ja meetodid. [= О новых направлениях и методах в фонетике]. Keel ja Kirjandus (8) : 482-490. Tallinn.
- Liiiv G., 1961a. Eesti keele kolme vältusaste vokaalide kestus ja meloodiatüübid. [= Длительность и типы мелодики эстонских гласных трех степеней долготы]. Keel ja Kirjandus (7) : 412-424; (8) : 480-490. Tallinn.
- Liiiv G., 1961b. On qualitative features of Estonian stressed monophthongs of three phonological degrees of length. Изв. АН ЭССР, Серия общественных наук 10 (1) : 41-66; (2) : 113-131.
- Liiiv G., 1965a. Preliminary remarks on the acoustic cues for palatalization in Estonian. *Phonetica* 13 (1-2) : 59-64. [= Proceedings of the Fifth International Congress of Phonetic Sciences. Münster (Germany). Selected Papers].
- Liiiv G., 1965b. Some experiments on the effect of vowel-consonant transitions upon the perception of palatalization in Estonian. Советское финно-угроведение 1 (1) : 33-36. Tallinn.
- Lindblom B., 1963a. On vowel reduction. The Royal Institute of Technology (Stockholm) The Speech Transmission Laboratory Div. of Telephony-Telephony Report (29) (May 15, 1963).
- Lindblom B., 1963b. Spectrographic study of vowel reduction. *JASA* 35 (11) : 1773-1781.
- Lindblom B. E. F., 1964. Articulatory activity in vowels. *JASA* 36 (5) : 1038 (A).
- Lindblom B., 1965a. Analysis of labial movement. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1965 (2) (July 15, 1965) : 20-22.
- Lindblom B., 1965b. Dynamic aspects of vowel articulation. In: Proceedings of the Fifth International Congress of Phonetic Sciences : 387-388. Zwirner E., Bethge W. (Eds), S. Karger, Basel - New York.
- Lindblom B., 1965c. Jaw-dependence of labial parameters and a measure of labialization. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1965 (3) (Oct. 15, 1965) : 12-15.
- Lindblom B., 1966a. Studies of labial articulation. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1965 (4) (Jan. 15, 1966) : 7-9.
- Lindblom B., 1966b. Studies of labial articulation. Seminar on Speech Production and Perception. Aug. 13-16, 1966, Leningrad, USSR. В сб.: XVIII Международный психологический конгресс, Москва, 1966. Симпозиум 23 : Модели восприятия речи : 99-102 (A). Л.
- Lindblom B., Bivner P.-O., 1966. A method for continuous recording of articulatory movement. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1966 (1) (Apr. 15, 1966) : 14-16.
- Lindblom B., Soron H., 1965. Analysis of labial movement. *JASA* 38 (5) : 935 (A).
- Lindblom B., Studdert-Kennedy M., 1966. The effect of formant transition shape on the perception of formant target patterns. Report Presented at the Seminar on Speech Production and Perception, Aug. 13-16, 1966, Leningrad, USSR. XVIII International Congress of Psychology, Moscow, 1966.
- Lindqvist J., 1965a. Studies of the voice source by means of inverse filtering. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1965 (2) (July 15, 1965) : 8-13.
- Lindqvist J., 1965b. Studies of the voice source by means of inverse filtering technique. Paper A35 in: 5^e congrès international d'acoustique. Rapports conférences particulières 1a.
- Lindqvist J., Öhman S., 1966. Instrumentation for subglottal and supraglottal air pressure measurements. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1966 (1) (Apr. 15, 1966) : 9-10.
- Lisker L., Abramson A. S., Cooper F. S., Schvey M. H., 1966. Transillumination of the larynx in running speech. *JASA* 39 (6) : 1218 (A).
- Lotz J., 1954. The structure of human speech. *Trans. N. Y. Acad. Sci. (Ser. 2)* 16 (7) : 373-384.
- Lubker J. F., Curtis J. F., 1966. Electromyographic-cinefluorographic investigation of velar function during speech production. *JASA* 40 (5) : 1272 (A).
- Lusted L. B., Miller E. R., 1956. Progress in indirect cinerentgenography. *Amer. J. Roentgenol.* 75 (1) : 56-62.
- Macmillan A. S., Kelemen G., 1952. Radiography of the supraglottic speech organs. *A. M. A. Arch. Otolaryngol.* 55.
- MacNeillage P. F., 1963. Electromyographic and acoustic study of the production of certain final clusters. *JASA* 35 : 461-463.
- MacNeillage P. F., DeClerk J. L., Silverman S. L., 1966. Some relations between articulator movement and motor control in consonant-vowel-consonant monosyllables. *JASA* 40 (5) : 1272 (A).
- MacNeillage P. F., Sholes G. N., 1963. Electromyographic study of timing in vowels. *JASA* 35 (11) : 1889 (A).
- MacNeillage P. F., Sholes G. N., 1964. An electromyographic study of the tongue during vowel production. *J. Speech and Hearing Res.* 7 (3) : 209-232.
- Massengill R., Jr., 1966. Early diagnosis of abnormal palatal mobility by the use of cinefluorography. *Folia phoniatr.* 18 (4) : 256-260.
- Massengill R., 1967. Cinefluorographic analysis of tongue thrusting present in Parkinson patients. *Folia phoniatr.* 19 (2) : 105-108.
- Massengill R., Jr., Bryson M., 1967. A study of velopharyngeal function as related to perceived nasality of vowels, utilizing a cinefluorographic television monitor. *Folia phoniatr.* 19 (1) : 45-52.
- Massengill R., Jr., Luper H., Bryson M., Gertner L. L., 1967. Severity of stuttering as rated by cinefluorography, tape recordings, and motion pictures and a comparison of these ratings with physiological observations. *Folia phoniatr.* 19 (2) : 133-141.
- Massengill R., Jr., Quinn G., Barry W. F., Jr., Pickrell K., 1966. The development of rotational cinefluorography and its application to speech research. *J. Speech and Hearing Res.* 9 (2) : 259-265.
- Mattsson O., 1955. Practical photographic problems in radiography with special reference to high-voltage technique. *Acta Radiol. Suppl.* (120). Stockholm.

- McDonnell G. M., Berman H. L., Lodmell E. A., 1958. Supervoltage roentgenography. *Amer. J. Roentgenol.* 79 (2) : 306-320.
- Menzerath P., Lacerda A. de, 1933. *Koartikulation, Steuerung und Lautabgrenzung*. Ferd. Dümmlers Verlag, Berlin-Bonn.
- Mermelstein P., 1966. Articulatory analysis of speech by on-line computing. *JASA* 39 (6) : 1219 (A).
- Mermelstein P., Schroeder M. R., 1965. Determination of smoothed cross-sectional area functions of the vocal tract from formant frequencies. Paper A24 in: 5^e congrès international d'acoustique, Rapports conférences particulières 1a.
- Mestre J. C., Jesus J. de, Subteiny J. Daniel, 1960. Unoperated oral clefts at maturation. *Angie Orthodontist* 30 (2) : 78-85.
- Miller E. R., 1959. Cinefluorography in practice. *Radiology, Monthly J. Devoted to Clin. Radiol. and Allied Sciences* 73 (4) : 560-565.
- Miller E. R., Lusted L. B., Nickel E. D., 1955. Cinefluorography. *Institute of Radio Engineers (IRE). Convention Record 9, Medical Electronics* 3 : 119-123.
- Mitrinowicz-Modrzejewska A., Kruszewski S., 1961. *Röntgenkinematographie und die Pathologie der Stimme*. *Folia phoniatr.* 13 (3) : 164-173.
- Moll K. L., 1960. Cinefluorographic techniques in speech research. *J. Speech and Hearing Res.* 3 (3) : 227-241.
- Moll K. L., 1962. Velopharyngeal closure on vowels. *J. Speech and Hearing Research* 5 (1) : 30-37.
- Moore J. C., 1961. Review: Kirkpatrick, John A., and Olmsted, Richard W. Cinefluorographic study of pharyngeal function related to speech. *Amer. J. Roentgenol.* 85 (1) : 211.
- Nylén B. O., 1961. Cleft palate and speech. A surgical study including observations on velopharyngeal closure during connected speech, using synchronized cinefluorography and sound spectrography. *Acta Radiol. Suppl.* (203), Stockholm.
- Ondráčková J., 1960. První rentgenokinetografický záznam artikulační českých zpívaných vokálů. *Věst. CSAV* 69 (1) : 125-126.
- Ondráčková J., 1961. The movement of the tongue and the soft palate in the singing of vowels. X-ray cinematographic film. *Folia phoniatr.* 13 (1) : 99-106.
- Ondráčková J., 1962. Objektivní analýzy rentgenogramů mluvidel. *Věst. CSAV* 71 (5) : 558-559.
- Ondráčková J., 1964a. Zur Untersuchung der physiologischen Tätigkeit der Sprechorgane in den supraglottischen Höhlen. *Folia phoniatr.* 16 (3) : 161-171. Basel - New York.
- Ondráčková J., 1964b. Rentgenologický výzkum artikulační českých vokálů. Nakladatelství CSAV, Praha.
- Ondráčková J., 1964c. The muscular tension in the supraglottal speech organs. *Z. Phonetik, Sprachwiss. und Kommunikationsforschung* 17 (2-4) : 257-263.
- Ondráčková J., 1965. On the roentgenography of the speech organs. In: *Proceedings of the Fifth International Congress of Phonetic Sciences* : 446-449. Zwirner E., Bethge W. (Eds), S. Karger, Basel - New York.
- Ondráčková J., 1966. Glottographical research in sound groups. *Seminar on Speech Production and Perception*, Aug. 13-16, 1966, Leningrad, USSR. В сб.: XVIII Международно-научный психологический конгресс, Москва, 1966. Симпозиум 23: Модели восприятия речи : 90-94 (A). J.
- Ondráčková J., Poch R., 1957. Zur Methodik der Untersuchung der Vokalartikulation beim Gesang. *Z. Phonetik, Sprachwissenschaft und Kommunikationsforschung* 10 : 259-268.
- Ondráčková J., Poch R., 1962. New roentgenographic methods in the research of the activity of the articulatory organs. *Indian J. Radiol.* 16 (1-4) : 137-150.
- Parmenter C. E., Treviño S. N., Bevans C. A., 1931. A technique for radiographing the organs of speech during articulation. *Z. Experimental-Phonetik* 1 : 63-83.
- Paul A. P., House A. S., Stevens K. N., 1964. Automatic reduction of vowel spectra: an analysis-by-synthesis method and its evaluation. *JASA* 36 (2) : 303-308.
- Perkell J. S., 1965a. Cinefluorographic studies of speech: implications of a detailed analysis of certain articulatory movements. Paper A32 in: 5^e congrès international d'acoustique. Rapports conférences particulières 1a.
- Perkell J., 1965b. Studies of the dynamics of speech production. Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Massachusetts) Research Laboratory of Electronics Quarterly Progress Report (76) (Jan. 15, 1965) : 253-257.
- Persson A., Ohman S., Leanderson R., 1965. Electromyographic studies of labial articulations by means of needle electrodes. *Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1965* (2) (July 15, 1965) : 23.
- Peterson G. E., 1961. Automatic speech recognition procedures. *Language and Speech* 4 (4) : 200-219.
- Peterson G. E., Sivertsen E., 1960. Objectives and techniques of speech synthesis. *Language and Speech* 3 (2) : 84-95.
- Petrany Z., 1961. Review: Miller, Earl R. Cinefluorography in practice. *Amer. J. Roentgenol.* 85 (1) : 211-212.
- Potter R. K., Koop G. A., Green H. C., 1947. *Visible Speech*. D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, N. J.
- Powell R. L., 1965. Xeroradiograph, X-ray technique. *J. Speech and Hearing Disorders* 30 (3) : 282-283.
- Powers G. R., 1962. Cinefluorographic investigation of articulatory movements of selected individuals with cleft palates. *J. Speech and Hearing Res.* 5 (1) : 59-69.
- Roberts R. L., 1957. A cinefluorographic investigation of pharyngeal deglutition. *Brit. J. Radiol.* 30 (357) : 449-460.
- Rushmer R. F., Ellis R. M., Nash A. A., 1955. Stereo-cinefluorography. Motion roentgenography in three dimensions. *Radiology, Monthly J. Devoted to Clin. Radiol. and Allied Sciences* 64 (2) : 191-196.
- Russell G. O., 1928. *The vowel, its physiological mechanism as shown by X-ray*. Ohio State University Press, Columbus.
- Russell G. O., 1931. *Speech and voice; with X-rays of English, French, German, Italian, Spanish, soprano, tenor, and baritone subjects*. New York.
- Russell G. O., 1934. First preliminary X-ray consonant study. *JASA* 5 (4) : 247-251.
- Schroeder M. R., 1966. Articulatory information from acoustic data. *JASA* 39 (6) : 1220-1221 (A).
- Shankweiler D., Studdert-Kennedy M., 1966. Lateral differences in perception of dichotically presented synthetic CV syllables and steady-state vowels. *JASA* 39 (6) : 1256 (A).

- Shelton R. L., Jr., Brooks A. R., Diedrich W. M., Brooks R. S., Youngstrom K. A., 1962. Develop aids and techniques for cinefluorographic speech study. Research News Note. J. Speech and Hearing Res. 5 (4) : 402.
- Shelton R. L., Jr., Brooks A. R., Youngstrom K. A., 1964. Articulation and patterns of palatopharyngeal closure. J. Speech and Hearing Disorders 29 (4) : 390-408.
- Shelton R. L., Jr., Brooks A. R., Youngstrom K. A., Diedrich W. M., Brooks R. S., 1963. Filming speed in cinefluorographic speech study. J. Speech and Hearing Res. 6 (1) : 19-26.
- Shimizu K., 1961. Experimental studies on movements of the vocal cords during phonation by high voltage radiograph motion pictures. Studia Phonologica 1 : 111-116.
- Skaličková A., 1967. A radiographic study of English and Czech vowels. Acta Univ. Carolinae. Philol. 6, Phonetica Pragensia : 29-43. Praha.
- Sovijärvi A., 1938a. Röntgenogrammeja suomen yleiskielen vokaalien ääntymäaennoista. Virittäjä 42 : 186-196; 261-262.
- Sovijärvi A., 1938b. Die gehaltenen, geflüsterten und gesungenen Vokale und Nasale der finnischen Sprache. Physiologisch-physikalische Lautanalysen. Ann. Acad. Scient. Fennicae E; XLIV, 2. Helsinki.
- Sovijärvi A., 1938c. Die wechselnden und festen Formanten der Vokale erklärt durch Spektrogramme und Röntgenogramme der finnischen Vokale. In: Proceedings of the III International Congress of Phonetic Sciences. Ghent.
- Sovijärvi A., 1959. Über die Veränderlichkeit der Zungenstellung und der entsprechenden akustischen Schwingungsgebiete der Vokale auf Grund eines Röntgenfilms gesprochener finnischen Sätze. Phonetica. Suppl. ad vol. 4. Basel - New York.
- Sovijärvi A., 1962. Röntgenkinematographisch-akustische Untersuchungen über die Artikulation der Diphthonge. In: Proceedings of the Fourth International Congress of Phonetic Sciences : 111-128. Mouton & Co., The Hague.
- Sovijärvi A., 1963. Suomen kielen äännekuvausto. K. J. Gummerus, Jyväskylä.
- Stetson R. H., 1951. Motor phonetics. A study of speech moments in action. North-Holland Publ. Co., Inc., Amsterdam.
- Stevens K. N., 1960. Toward a model for speech recognition. JASA 32 (1) : 47-55.
- Stevens K. N., 1963. Identification and discrimination of rounded and unrounded vowels. JASA 35 (11) : 1900 (A).
- Stevens K. N., 1966a. Studies of articulatory activity during speech production. JASA 39 (6) : 1221 (A).
- Stevens K. N., 1966b. On the relations between speech movements and speech perception. В сб.: XVIII Международный психологический конгресс, Москва, 1966. Симпозиум 23 : Модели восприятия речи : 68-74 (A). Д.
- Stevens K. N., House A. S., 1955. Development of a quantitative description of vowel articulation. JASA 27 (3) : 484-493. [= Lehiste I. (Ed.), 1967. Readings in Acoustic Phonetics : 34-43. The M. I. T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, and London, England].
- Stevens K. N., House A. S., 1956. Studies of formant transitions using a vocal tract analog. JASA 28 : 578-585.
- Stevens K. N., House A. S., 1961. An acoustical theory of vowel production and some of its implications. J. Speech and Hearing Res. 4 (4) : 303-320. [= Lehiste I. (Ed.), 1967. Readings in Acoustic Phonetics : 75-92. The M. I. T. Press, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, and London, England].
- Stevens K. N., House A. S., 1963. Perturbation of vowel articulations by consonantal context: an acoustical study. J. Speech and Hearing Res. 6 (2) : 111-128.
- Stevens K. N., House A. S., Paul A. P., 1966. Acoustical description of syllabic nuclei: an interpretation in terms of a dynamic model of articulation. JASA 40 (1) : 123-132.
- Stevens K. N., Kasowski S., Fant C. G. M., 1953. An electrical analog of the vocal tract. JASA 25 (4) : 734-742.
- Subtelny J. D., 1955a. Width of the nasopharynx and related anatomic structures in normal and unoperated cleft palate children. Amer. J. Orthodontics 41 (12) : 889-909.
- Subtelny J. Daniel, 1955b. The significance of early orthodontia in cleft palate habilitative planning. J. Speech and Hearing Disorders 20 (2) : 135-147.
- Subtelny J. Daniel, 1957a. A cephalometric study of the growth of the soft palate. Plastic and Reconstr. Surg. 19 (1) : 49-62.
- Subtelny J. Daniel, 1957b. The importance of early orthodontic treatment in cleft palate planning. Angle Orthodontist 27 (3) : 148-158.
- Subtelny J. Daniel, 1959. A longitudinal study of soft tissue facial structures and their profile characteristics, defined in relation to underlying skeletal structures. Amer. J. Orthodontics 45 (7) : 481-507.
- Subtelny Joanne, 1961. Roentgenography applied to the study of speech. In: Congenital Anomalies of the Face and Associated Structures : 309-322. Charles C Thomas, Springfield, Illinois.
- Subtelny J. Daniel, 1961a. The soft tissue profile, growth and treatment changes. Angle Orthodontist 31 (2) : 105-122.
- Subtelny J. Daniel, 1961b. Studies of the configuration of the nasopharynx and palatal segments in children with clefts as they relate to embryologic studies. In: Congenital Anomalies of the Face and Associated Structures. Charles C Thomas, Springfield, Illinois.
- Subtelny J. D., Subtelny J. D., 1959. Intelligibility and associated physiological factors of cleft palate speakers. J. Speech and Hearing Res. 2 (4) : 353-360.
- Subtelny J. D., Subtelny J. D., 1962a. Roentgenographic techniques and phonetic research. In: Proceedings of the Fourth International Congress of Phonetic Sciences : 129-146. Mouton & Co., The Hague.
- Subtelny J. Daniel, Subtelny Joanne D., 1962b. Malocclusion, speech and deglutition. Amer. J. Orthodontics 48 (9) : 685-697.
- Subtelny J. D., Koeppe-Baker H., 1956. The significance of adenoid tissue in velopharyngeal function Plastic and Reconstr. Surg. 17 (3) : 235-250.
- Subtelny Joanne D., Koeppe-Baker H., Subtelny J. Daniel, 1961. Palatal function and cleft palate speech. J. Speech and Hearing Disorders 26 (3) : 213-224.
- Subtelny J. D., Subtelny J. D., Pruzansky S., 1957. The application of roentgenography in the study of speech. In: Manual of Phonetics : 166-179. Kaiser L. (Ed.), Amsterdam.
- Tristan T. A., 1960. Methods of cinefluorography. In: Cinefluorography. Proceedings of the First Annual Symposium on Cinefluorography : 5-15. Ramsey G. H. et al. (Eds), Charles C Thomas, Springfield, Illinois.

- Truby H. M., 1959. Acoustico-cineradiographic analysis considerations with especial reference to certain consonantal complexes. Acta Radiol. Suppl. (182), Stockholm.
- Truby H. M., 1962. Synchronized cineradiography and visual-acoustic analysis. In: Proceedings of the Fourth International Congress of Phonetic Sciences : 265-279. Sovijärvi A., Aalto P. (Eds), Mouton & Co., The Hague.
- Truby H. M., 1964. Pleni-phonetic transcription in phonetic analysis. In: Proceedings of the Ninth International Congress of Linguists, Cambridge, Massachusetts, August 27-31, 1962. [= Janua Linguarum. Studia memoriae Nicolai van Wijk dedicata, series maior XII] : 101-108. Mouton & Co., London-The Hague-Paris.
- Truby H. M., 1965. The pharynx in motion. Phonetica 13 (1/2) : 103-104. Basel-New York.
- Ungeheuer G., 1962. Elemente einer akustischen Theorie der Vokalartikulation. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg.
- Vallancien B., Faulhaber J., 1967. What to think of glottography. Folia phoniatr. 19 (1) : 39-44.
- Weinberg S. A., Watson J. S., Ramsey G. H., 1956. Cinefluorography : technical refinements. Amer. J. Roentgenol. 75 (1) : 63-68.
- Wheatley-White R. et al., 1965. The objective measurement of nasality in cleft palate patients. Plastic and Reconst. Surg. 35 (June) : 588-598.
- Wierzchowska B., 1965. A cine-radiographic examination of some Polish phonemes. Phonetica 13 (1/2) : 114-116. Basel-New York.
- Williams J. A., 1966. Description of tongue shape and position during vowel articulation. Massachusetts Institute of Technology (Cambridge, Massachusetts) Research Laboratory of Electronics Quarterly Progress Report (80) (Jan. 15, 1966) : 208-212.
- Winter F. S., Lehman J. S., 1959. Rotational cinefluorography. Amer. J. Roentgenol. 82 (1) : 120-124.
- Wängler H.-H., 1960. Die Röntgenkinematographie als Hilfsmittel für die Lautforschung. Z. Phonetik, Sprachwiss. und Kommunikationsforschung 13 (1) : 28-35.
- Wängler H.-H., 1962. Über die Funktion des weichen Gaumens beim Sprechen. Wiss. Z. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Gesellschafts- und Sprachwissenschaftliche Reihe II (12) : 1747-1751.
- Wängler H.-H., 1964. Atlas deutscher Sprachlaute. 3. durchges. u. erw. Aufl. Akademie-Verlag, Berlin.
- Öhman S., 1962. On the perception of Swedish consonants in intervocalic position. The Royal Institute of Technology (Stockholm) The Speech Transmission Laboratory Div. of Telephony-Telephony Report (25) (March 1, 1962).
- Öhman S. E. G., 1963a. Features of coarticulation in VCV utterances. JASA 35 (11) : 1889 (A).
- Öhman S. E. G., 1963b. Perceptual segments and rate of change of spectrum in connected speech. Paper D5 in: Proceedings of the Speech Communication Seminar II, Stockholm Aug 29 - Sept 1, 1962. Speech Transmission Laboratory, Royal Institute of Technology, Stockholm/Sweden.
- Öhman S. E. G., 1964. Numerical model for coarticulation, using a computer-simulated vocal tract. JASA 36 (5) : 1038 (A).
- Öhman S., 1965. Durations of formant transitions. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1965 (1) (Apr. 15, 1965) : 10-13.
- Öhman S. E. G., 1966a. Coarticulation in VCV utterances: spectrographic measurements. JASA 39 (1) : 151-168.
- Öhman S. E. G., 1966b. Perception of segments of VCCV utterances. JASA 40 (5) : 979-988.
- Öhman S., 1966c. New methods for averaging EMG records. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1966 (1) (Apr. 15, 1966) : 5-8.
- Öhman S., 1967a. Numerical model of coarticulation. JASA 41 (2) : 310-320.
- Öhman S. E. G., 1967b. Studies of articulatory coordination. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1967 (1) (Apr. 15, 1967) : 15-20.
- Öhman S., Leanderson R., Persson A., 1965. Electromyographic studies of facial muscles during speech. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1965 (3) (Oct. 15, 1965) : 1-11.
- Öhman S., Leanderson R., Persson A., 1966. EMG studies of facial muscle activity in speech. II. Royal Institute of Technology (Stockholm) Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report 1966 (1) (Apr. 15, 1966) : 1-4.
- Öhman S. E. G., Stevens K. N., 1963. Cineradiographic studies of speech : procedures and objectives. JASA 35 (11) : 1889 (A).

Институт языка и литературы
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
19/IX 1967

G. LIIV, A. EEK

KÕNEARTIKULATSIOONIDE DÜNAAMIKA EKSPERIMENTAALSE UURIMISE PROBLEEMIDEST: KÕNESPEKTROGRAAFIAGA SÜNKRONISEERITUD KINOFLUOROGRAAFIA KOMPLEKSNE METOODIKA

Resüme

Kõne kompleksse eksperimentaalse uurimistöö olulisi aktuaalseid suundi iseloomustab praegu uurimusliku tähelepanu koondumine eriti kõnetrakti muutuvate konfiguratsioonide ja neuromuskulaarsete aspektide detailsele analüüsile, samuti ka lingvistiliste üksuste pertseptuaalse olemuse tundmaõppimisele. Nimetatud nihetele kõne masintajumise probleemide lahendamiseks tehtavate uurimuste programmides on tõuke andnud hüpotees kõne tajumise teatavast seosest artikulatsiooniga (kõne tajumise motoorne teooria) ja uus väga efektiivne analüüs-sünteesi-abil uurimismeetod.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia Keele ja Kirjanduse Instituudi eksperimentaalfoneetika laboratooriumi töötajad on välja töötanud ja tehniliselt realiseerinud kõnespektrograafiaga sünkroniseeritud kinofluorograafia kompleksse meetodika (sellealaseid töid alustati 1965. a.), mille abil on asutud uurima kõnetrakti muutuvaid konfiguratsioone, artikulaatorse mehhanismi erinevate komponentide dünaamilisi omadusi, nende komponentide liikumiste omavahelisi seoseid ja selle tulemusena produtseeritavaid kõne akustilisi signaale. Selleks on muuhulgas konstrueeritud kõneartikulaatsioonide kinoröntgenkadrите ekspositsioonikestuste ja röntgenografeerimisel hääldatava kõne kui akustilise kontiinuumi sünkroniseeritud salvestussüsteem.

*Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Keele ja Kirjanduse Instituut*

Saabus toimetusse
19. IX 1967

G. LIIV, A. EEK

SOME NOTES ON EXPERIMENTAL RESEARCH PROBLEMS IN SPEECH PRODUCTION DYNAMICS (WITH SPECIAL REFERENCE TO COMPLEX TECHNIQUES OF CINEFLUOROGRAPHY SYNCHRONIZED WITH SOUND SPECTROGRAPHY)

Summary

The significant current trends in speech research are the resurgence of interest in the changing configurations of the vocal tract, the emphasis on neuromuscular aspects of speech gestures and on the perceptual nature of linguistic units. The main reasons for these interests are the adoption as a working hypothesis of the idea that speech perception is somehow closely linked to articulation (a motor theory of speech perception) and the development of a powerful new method of analysis-by-synthesis for studying speech.

Complex techniques of cinefluorography synchronized with sound spectrography have been developed since 1965 by the workers of the Experimental Phonetics Laboratory (Language and Literature Institute of the Estonian SSR Academy of Sciences) for the investigation of the interrelations and timing of the movements of various components of speech-generating structures, and the associated acoustic outputs. To ensure the highest possible signal/noise ratio during simultaneous high-quality sound recording, the fluorographic equipment (TuR D 1000-2 six-valve roentgen apparatus (*F*), 5" Philips image intensifier (*B*), 35 mm Arriflex film camera (*I*)) was placed in two adjoining insulated rooms (image intensifier input and informant in one room, the output screen of the intensifier in another); the X-ray tube (*F*) and collimator (*L*) were padded with felt, a directional microphone (*D*) was used, curtains of thick cloth were hung about the informant. Fine results have been achieved in minimizing and standardizing the distortion and enlargement resulting from the conical spread of roentgen rays (registered on film by means of a metal grid). For this purpose the head posture (midsagittal plane) of the informant was fixed by a special head holder (*C*) in a position strictly parallel to the vertical plane of the image intensifier tube and orthogonal to the central ray, the input surface of the image intensifier being brought into immediate contact with the informant's anatomical structure to be analyzed; the X-ray tube was moved to a distance of 2.5 metres from the midsagittal plane of the informant. Film speed 50 frames/sec. A special synchronizing device (*J*) was employed to register X-ray frame exposures on the upper edge of the dynamic spectrogram (see figs 4 and 5; a diagram showing the principles of the special system used for synchronization may be found in fig. 1).

The conclusions concerning the time-varying acoustic parameters are drawn from the synchronous analysis of the dynamic sound spectrograms and sections (film speed 64 frames/sec) obtained by means of a high-speed 52-channel dynamic sound spectrograph. The synchronous analysis of sections and dynamic spectrograms was guaranteed by indicating the time locations of sections at the bottom of dynamic spectrograms as well as by the automatic enumeration of the sections with frame counters whose readings were registered on both spectral films.

The complex techniques used in this study have provided useful data on articulatory gestures and resulting consistent changes in acoustic structures of Estonian syllabic nuclei, as well as nasals and laterals. Work on the collection of further data is in progress.

The accompanying figures 6 and 7 exemplify the materials obtained by means of the complex techniques used in this investigation.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Language and Literature Institute*

Received
Sept. 19, 1967