

О. П. Скляр

НИИ уха, горла, носа и речи

Россия, 190013, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, 9, e-mail: skljarov@admiral.ru

V/U-ритм речи при чтении как индикатор состояния функции речевого дыхания у заикающихся

Получена 19.10.2004, опубликована 04.11.2004

В статье показано, что чередование длительностей в речевом акустическом сигнале, когда голосовые складки колеблются с частотой основного тона, и длительностей, когда таких колебаний нет, образует Voice/Unvoice-ритм (V/U ритм). Ранее исследованиями автора было обнаружено, что такая структура ритма хорошо описывается экспериментально квадратичным логистическим отображением и соответствующим сценарием Фейгенбаума для перехода системы к хаосу. Начальная часть нижнего крыла сценария отвечает U-сегментам, а начальная часть верхнего крыла соответствует V-сегментам. За критической точкой эти два крыла смешиваются, образуя V/U-ритм нормальной речи. Докритическая область сценария соответствует регулярному чередованию голосовых (V) и неголосовых (U) сегментов, свойственному запинкам типа повторов, причем в этой области выполняются регулярные соотношения между суммарными длительностями голосовых и неголосовых сегментов (отношение их суммарных длительностей примерно равно 3/2). В зоне хаоса эта регулярность утрачивается. Предлагается использовать утрату этой регулярности как способ и индикатор исправления заикания. Манипулируя режимом дыхания, можно добиться, чтобы указанная регулярность утрачивалась. В силу закона функциональной композиции утрата регулярности будет свидетельствовать о том, что система находится в закритической области. В этом случае увеличение возбуждения фонации в системе речеобразования обеспечивает появление речевого V/U-ритма без заикания. В работе приведены статистически достоверные данные, подтверждающие этот тезис.

ВВЕДЕНИЕ

Речь есть акустическая реализация языка, а механизм такой реализации называется речеобразованием. В работе этого механизма принимают участие, в основном, три главных компонента: легкие, гортань (голосовые складки) и артикуляторы (язык, губы и проч.). Будем называть эти три компонента одним термином, а именно, речеобразующей синергией.

С физической точки зрения работа легких как на фазе вдоха, так и на фазе выдоха обеспечивает энергией процесс акустического речеобразования. Будем называть работу легких в условиях речи речевым дыханием. В условиях избыточного подкладочного давления на фазе выдоха голосовые складки колеблются с так называемой частотой

основного тона и представляют собой источник голоса. Другими словами, колеблющиеся голосовые складки источник акустических колебаний с эквидистантным линейчатым спектром на частоте основного тона и кратных ей частотах. Язык, губы и проч. образуют в речевом тракте открытые, вообще говоря, резонансные полости. Полости формируют из линейчатого спектра голосового источника формантный спектр акустического речевого сигнала. Существует также непрерывная часть спектра, в основном, благодаря турбулентному прохождению звука через речевой тракт как в отсутствие работы голосового источника, так и при его работе.

Однако, простая регистрация акустической картины речи без осознания механизма управления ее крупномасштабной временной структурой с элементами порядка 100мсек, как оказалась, является совершенно недостаточной при описании речи как в норме, так и при различного рода темпоральных нарушениях (например, при заикании). Об этом механизме управления до недавнего времени практически ничего не было известно. Предложенная нами около 10 лет назад V/U-сегментация речевого сигнала (сегментация по принципу — «есть голос: Voice — нет голоса: Unvoice») позволила установить, что V/U-ритм речи (т.е. последовательность длительностей V/U-сегментов) подчиняется закону функциональной композиции, или другими словами, рекуррентной нелинейной связи между длительностями соседних сегментов в таком ритме. Математически эта связь выражается в виде эволюционного (логистического) преобразования длительности сегмента в длительность последующего сегмента.

Это преобразование, или отображение, управляется параметром (так называемым управляющим параметром). Как мы показали в недавних работах [1], этот параметр имеет смысл «торможения» в соответствующем звене иерархии нейронных структур, ответственных за функционирование речевой системы как при речеобразовании, так и при речевосприятии. Таким образом, на этапе придания физического смысла управляющему параметру задача приобретает междисциплинарный характер, но только лишь с функцией интерпретации, основанной на результатах обработки метрологически измеренных длительностях элементов акустического ритма. Такая интерпретация, как оказалось, весьма полезна в прикладном плане.

Сценарий V/U-ритмов при изменении управляющего параметра представлен на рис. 1 (длительности T_n , где n – номер сегментов V/U-ритма, приведенных к единице). Этот сценарий представляет собой последовательную смену все усложняющихся переходов (ритмов) между устойчивыми состояниями в системе, пока в критической точке не произойдет смена регулярных ритмов на иррегулярный, хаотический ритм. В своей работе [2] мы установили, что иррегулярные ритмы соответствуют речи в норме, а жесткие регулярные ритмы — запиночным комплексам в речи заикающегося, в частности, в форме тоно-клонической дизритмии [3]. Будем в дальнейшем называть иррегулярный ритм речи в норме речевым ритмом, а жесткие регулярные ритмы запинок, сопровождающиеся судорожными проявлениями, — дизритмией речевого ритма, в полном соответствии с последней, 10-ой редакцией Международного Классификатора Болезней Всемирной Организации Здравоохранения (далее МКБ-10 ВОЗ¹).

¹ МКБ – 10 – «Заикание» (F 98.5). ВОЗ – 1992, ISBN: 5-88578-002-1.

Глядя на рис. 1, мы видим, что существуют две границы (левая и правая) между речевым ритмом и дизритмиями. В полном соответствии с МКБ-10 ВОЗ, левая граница ответственна за фазу заикания с преходящим признаком дизритмии тоно-клонического типа у детей младшего возраста. Напротив, смешанные запинки, образованные запинками как на той, так и на другой границе, ответственны за стойкую фазу заикания с признаком дизритмии смешанного тоно-клонического и невротического типа у подростков в переходном периоде и у взрослых. В этой статье мы ограничимся (для простоты) рассмотрением только дизритмии тоно-клонического типа. Дизритмии невротического типа рассмотрены нами в работе [3].

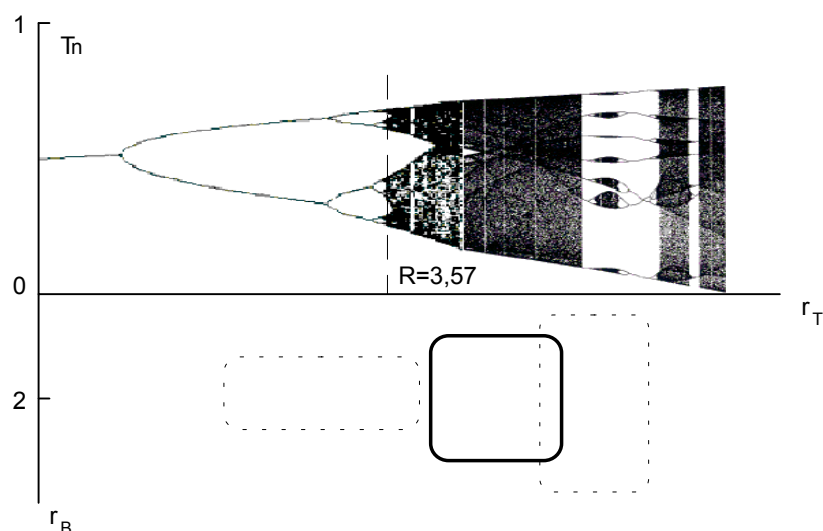


Рис. 1.

Вверху: сценарий возникновения речевого иррегулярного ритма в результате усложнения регулярных ритмов. По оси абсцисс отложен управляющий параметр r_T (активность «торможения», или внимания, в нейронной системе, порождающей ритм – подробнее см. текст), по оси ординат отложены возможные в теории нормированные на 1 длительности элементов V-ритма. Управляющий параметр $R=3,57$ соответствует границе перехода бифуркаций, ответственных за возникновение регулярных ритмов, в хаос, ответственный за возникновение иррегулярного ритма. Справа в зоне иррегулярных ритмов видна довольно обширная лакуна, в которой опять возникают бифуркации, но другой природы.

Внизу: в координатах r_T (активность «торможения» или «внимания») и r_B (активность «возбуждения») представлены предельные циклы, к которым стремится динамика в порождающей ритм нейронной системе. Изображающая точка $\{r_T; r_B\}$ движется против часовой стрелки с течением времени. Жирной линией отмечен предельный цикл для речи в норме; пунктирными линиями отмечены предельные циклы для преходящего заикания у детей (слева) и для невротической компоненты стойкого заикания у взрослых (справа). Два цикла вместе символизируют стойкую фазу заикания, представляющего собой смешанную форму дизритмий тоно-клонического типа и дизритмий невротического типа заикания в переходном и взрослом периоде (более подробно о предельных циклах см. статью [1])

На этой фазе заикания в роли управляющего параметра выступает торможение со стороны коры на стволово-подкорковые структуры типа стриапаллидарной системы и проч. Такое торможение допустимо трактовать в терминах психофизиологии как речевое внимание. Действительно, по мере развития тормозного влияния коры на нижние отделы в процессе созревания нейронных структур преходящая фаза заикания в благоприятных случаях может пройти сама собой. По данным некоторых авторов, 80 % детей с диагнозом заикания, полностью возвращались к нормальной речи в течении учебы в общеобразовательной школе [4, 5]. В неблагоприятных случаях требуется помощь логопеда по усилению торможения со стороны коры, то есть, по усилению «речевого внимания».

Для определения направления действий логопеда оказывается полезным закон функциональной композиции V/U-ритма речи, представленный на рис. 1. Сценарий ритмов вблизи левой границы или, в физической терминологии, вблизи критической точки перехода системы к хаосу, называется сценарием Фейгенбаума. Верхнее крыло этого сценария описывает смену V/U-сегментов (V/U-ритм) с фрактальной самоподобной структурой на фазе выдоха, которая только и проявляется фонетически. Использование сохранных участков в виде сингармонической (тонической) или силлабической (клонической) полости в этом «крыле» на фазе выдоха при дизритмии тоно-клонического типа нами было описано в работе [3]. При этом мы опирались на общий принцип восстановления частично поврежденной функции, заключающийся в использовании сохранной части этой функции. В случае превалирования клонических (силлабических) запинок использовалась тоническая (сингармоническая) полость и наоборот.

В этой статье мы предлагаем использовать еще один сохранный ресурс — нижнее крыло сценария Фейгенбаума для V/U-ритма, образующееся на фазе выдоха (см. рис. 1, нижнее «крыло»). В соответствии с законом функциональной композиции вблизи границы перехода от бифуркаций к хаосу теоретически мы наблюдаем картину, совершенно подобную картине, наблюдаемой на верхнем крыле в фазе выдоха: та же смена жестких бифуркационных ритмов на две полости, которые, по мере развития торможения в системе, сливаются друг с другом, и более того, сливаются с поврежденным в случае заикания «фонационным крылом». Используя только что описанный принцип восстановления, или реабилитации, но в масштабе более увеличенной самоподобной картины сценария (образно говоря, используя для реабилитации поврежденной функции уже не сохранные «полости» в одном «крыле», а целое неповрежденное «крыло»), мы можем дополнительно увеличить эффективность коррекции заикания.

Описанная картина поразительным образом совпадает с архитектоникой важнейшего нерва парасимпатической системы, ответственного за процесс вокализации, — блуждающего нерва, или вагуса. Причем совпадения наблюдаются даже между математической терминологией и нейроанатомической терминологией. Действительно, вагус претерпевает бифуркацию на два отростка: один отросток идет к глоточной

синергии связок, а другой — к легким, с помощью которого иннервируется фрактальная структура легких.

Нижнее крыло, «крыло вдоха» в сценарии Фейгенбаума, к сожалению, проявляет себя в акустическом эксперименте только интегрально, как часть суммы длительностей U-сегментов в речи. И тем не менее, благодаря закону функциональной композиции, мы можем определить, в какой части сценария мы находимся на данном этапе коррекции, и тем самым определить, эффективен или нет проводимый нами коррекционный курс. Этот же индикатор может быть использован для организации биологической обратной связи при выработке правильного речевого дыхания.

Можно ожидать, что при заикании мы находимся преимущественно в той части сценария, где он еще во многом носит характер фрактальных (самоподобных) бифуркаций. Здесь должны еще в достаточно полной мере выполняться соотношения самоподобия между длительностями V/U-сегментов. Математически такое самоподобие называется скейлингом, или масштабированием. Характерные для этого участка свойственные соотношения самоподобия в виде устойчивых отношений элементов ритма. И, напротив, при полностью восстановленном речевом ритме в области иррегулярности этот самоподобный скейлинг утрачивается. Указанный эффект утраты скейлинга (или самоподобия) и можно использовать в качестве индикатора состояния функции речевого дыхания у заикающихся в процессе коррекции. Поэтому, в силу закона функциональной композиции, этот же эффект является и индикатором восстановления нормальной речевой функции.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Экспериментальная группа составила группу из 22 подростков школьного возраста от 10 до 15 лет, страдающих заиканием и проходивших курс коррекции заикания на речевой клинике Санкт-Петербургского НИИ уха, горла, носа и речи. Все отобранные для экспериментальной группы пациенты демонстрировали, в основном, смешанный тоно-клонический тип запинок в виде многочисленных повторов звуков или слогов без какого либо психопатического синдрома типа обсессивного. Пациенты читали стандартный текст объемом 120 слогов как в нормальном, так и в замедленном темпе, в зависимости от стадии коррекционного курса. Регистрация речи проводилась трижды за месячный курс коррекции: в начале, в середине и в конце. Контрольная группа из 8 человек без речевой патологии читала тот же самый текст.

В экспериментах использовался электродинамический микрофон (частотный диапазон 5–12000 Гц, характеристика направленности кардиоидная). Речь испытуемых фиксировалась на магнитную ленту.

Речевые сигналы оцифровывались, частота дискретизации сигнала — 10 кГц. Оцифрованные сигналы подвергались контрольному прослушиванию путем вывода на стерео-динамики, а также аудио- и визуальному контролю с помощью программного пакета звукового редактора «Cool-95» свободного распространения, изготовленного фирмой «Syntrillium».

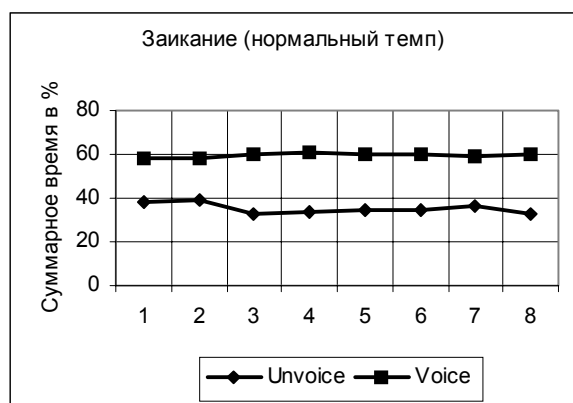
С помощью сертифицированной Минздравом РФ программы сегментации, разработанной и созданной нами, мы определяли длительности голосовых (Voice- или V-) и неголосовых (Unvoice- или U-) сегментов в речи испытуемых заикающихся и вычисляли среднее значение длительностей T и безразмерный коэффициент вариации std указанных длительностей (отношение среднеквадратичного отклонения к среднему). Точка с координатами $\{T, std\}$ наносилась на планшет с соответствующими координатными осями. На этом планшете предварительно наносилась компактная область точек $\{T, std\}$, соответствующая речи лиц без явной речевой патологии. В эту область не попадали точки, соответствующие ритму заикающихся. По удаленности текущей в ходе коррекции точки $\{T, std\}$ от области нормы производилась текущая оценка степени заикания и определялась эффективность его коррекции.

Для дальнейшей обработки были взяты протоколы сегментации, включающие суммарное время V-сегментов и суммарное время U-сегментов в процентном отношении ко всей длительности сигнала.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

На рис. 2 представлены гистограммы суммарных длительностей Voice-сегментов и Unvoice-сегментов в запиночной речи (включая межсинтагменные паузы) у различных заикающихся на различных этапах коррекции при двух темпах: медленном и быстром. Данные свидетельствуют о статистически достоверном выполнении соотношения для суммарных длительностей V и U сегментов как 3/2. Из 22 пациентов 18 пациентов продемонстрировали близкое к отношению 3/2 отношение суммарных длительностей сегментов фонации к суммарной длительности Unvoice-сегментов (1.54 ± 0.06). Проверка нулевой гипотезы (принадлежность приведенных выборок единой генеральной совокупности с отношением 3/2) проводилась по непараметрическому тесту Манна-Уитни. Указанный тест принял нулевую гипотезу с величиной ошибки $p < 0,05$, то есть достоверность $D = 1 - p$ принятой нами гипотезы об отношении суммарных длительностей сегментов фонации к суммарной длительности Unvoice-сегментов, равном 3/2, составляет 95%.

а)



б)

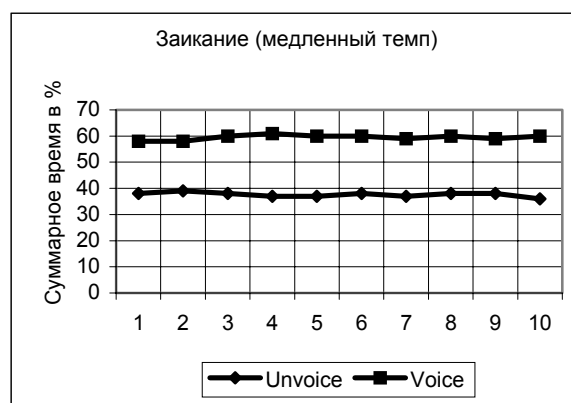


Рис. 2. Суммарное время (в процентном отношении) наличия голоса (V) и отсутствия голоса (U) в речи заикающихся при разных темпах. По вертикальной оси для каждого пациента отложено суммарное время V-сегментов и суммарное время U-сегментов в процентах к общей длительности сигнала в случае заикания при нормальном темпе (а) и при медленном темпе (б).

По горизонтальной оси отложен порядковый номер, присвоенный пациенту

В случае контрольной группы с нормальной речью какое-либо фиксированное соотношение между суммарными длительностями Voice- и Unvoice- сегментов на протяжении всей речи, как видим из гистограмм, приведенных на рис. 3, не выполняется. В этом случае отклонения от значения $3/2$ в распределении отношений суммарных длительностей Voice-сегментов к суммарной длительности Unvoice-сегментов были статистически значимыми ($p < 0.05$).

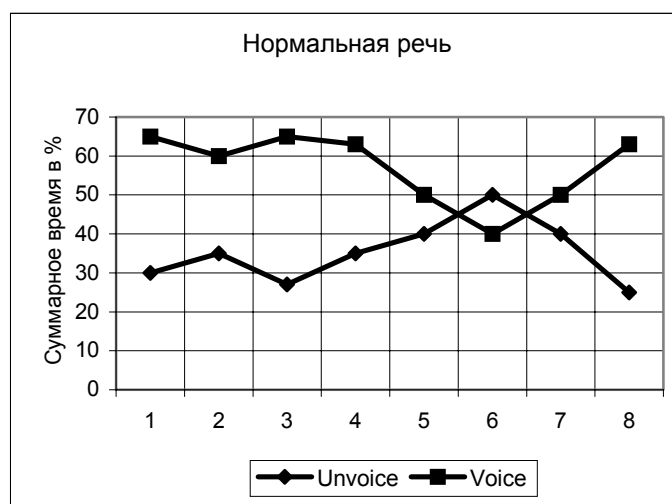


Рис. 3. Суммарное время (в процентном отношении) наличия голоса (V) и отсутствия голоса (U) в речи пациента при нормальном темпе, успешно прошедшего курс коррекции заикания. По вертикальной оси для каждого пациента отложено суммарное время V-сегментов и суммарное время U-сегментов в процентах к общей длительности сигнала в случае полного снятия заикания при нормальном темпе.

По горизонтальной оси отложен порядковый номер, присвоенный пациенту

Ранее мы установили [2], что ритм плавной речи иррегулярен, хаотичен, а ритм речи заикающихся имеет две компоненты, регулярную для плавных участков и иррегулярную для участков запинок. Предложенная нами в работах [1–3, 6–9] модель для ритма речи, как в норме, так и при заикании, в виде квадратичного рекуррентного (логистического) соотношения для элементов ритма, имеет, как мы говорили, сценарий Фейгенбаума возможных ритмов в зависимости от управляющего параметра в ритмопорождающей системе. Управляющий параметр соотносится нами с уровнем «торможения» в этой системе, а сценарий представляет каскад регулярных ритмов, все усложняющихся по мере роста указанного параметра. Ритмы представляют собой переходы с ветви на ветвь бифуркаций в этом сценарии. Верхнее «крыло» сценария, описывающего ритм фонационной активности на выдохе (см. рис. 4), представляют собой длительности V- и U-сегментов на выдохе. Нижнее крыло представляется акустически интегральной длительностью U-сегментов на вдохе в виде межсинтагменной паузы молчания. Пауза молчания имеет, конечно, свою внутреннюю структуру, но эта структура никак не проявляется акустически. По достижению управляющим параметром критической точки (см. рис. 1 и 4) ритм, пройдя каскад бифуркаций удвоения, становится иррегулярным, хаотическим. Скрытые ритмы фазы вдоха здесь перемешиваются с ритмами фазы выдоха, которые мы регистрируем акустически.

Как мы упоминали выше, в пораженном крыле сценария, где мы используем только сохраненные участки при коррекции заикания, сценарий еще во многом носит характер бифуркаций, и здесь должны еще в достаточно полной мере выполняться соотношения самоподобия между длительностями V/U-сегментов, характерные для этого участка сценария (см. рис. 1 и 4). И, напротив, при полностью восстановленном речевом ритме в области иррегулярности эти жесткие соотношения утрачиваются.

Действительно, в случае речи заикающихся фиксированное отношение сумм V- и U-сегментов, как мы видели, выполняется, причем конкретная величина отношения длительностей, как оказалось, хорошо согласуется с геометрической структурой положений устойчивых состояний на диаграмме Фейгенбаума в зоне бифуркаций периода 2. Действительно, именно в области управляющего параметра в окрестности 2.50 ± 0.05 на диаграмме устойчивых состояний логистического преобразования наблюдается картина, представленная на рис. 4.

Из рис. 4. видно, что при управляющем параметре $r = 2.5 \pm 0.05$ отношение «свернутой» V-фазы на выдохе к длительности «свернутой» U-фазы на вдохе должно иметь приблизительно отношение 3/2. В наличии такого соотношения у заикающихся независимо от темпа речи мы убедились выше при рассмотрении экспериментального материала по сравнительному обследованию подростков с нормальной речью и заикающихся.

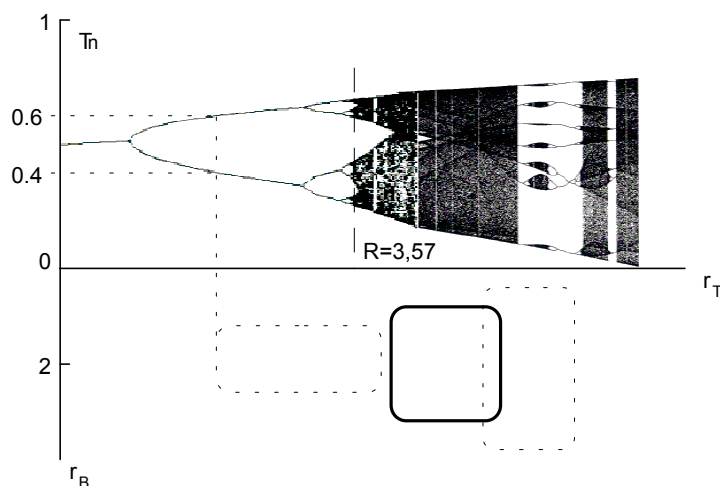


Рис. 4.

Отношение длительности U-сегментов к длительности V-сегментов в характерной для заикания области зоны бифуркаций (модель). Изображен сценарий возникновения речевого иррегулярного ритма в результате усложнения регулярных ритмов. По оси абсцисс отложен управляющий параметр «торможения» r_T , по оси ординат отложены возможные в теории нормированные на 1 длительности элементы V/U-ритма. Управляющий параметр $R=3,57$ соответствует границе перехода бифуркаций, ответственных за возникновение регулярных ритмов, в иррегулярный ритм речи.

Внизу: в координатах r_T (активность «торможения» или «внимания») и r_B (активность «возбуждения») представлены предельные циклы $\{r_T; r_B\}$, к которым стремится динамика в порождающей ритм нейронной системе. Предельный цикл, приводящий к хроническому заиканию, не показан. Изображающая точка $\{r_T(t); r_B(t)\}$ движется против часовой стрелки с течением времени. Сплошной линией отмечен предельный цикл для речи в норме; пунктирной линией отмечен предельный цикл для преходящей фазы заикания у детей (слева). Положение предельного цикла, помеченного пунктирной линией на диаграмме, иллюстрирует найденное в статье отношение суммарных длительностей V- и U-сегментов, равное $3/2$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, после рассмотрения представленных данных следует сделать следующее заключение: моменты запинок тоно-клонического типа сопровождаются временным пребыванием системы V/U-ритма в зоне бифуркаций в сценарии перехода системы к хаосу. Имеются и другие подтверждения для такого вывода (см. [2]).

Обобщая итоги работы, мы должны констатировать, что при заикании (во всяком случае, с дизритмией чисто тоно-клонического типа) в динамике V/U ритма речи наблюдается тренд к его упрощению, к переходу (во время запинок) от иррегулярной к регулярной структуре ритма. Это вполне согласуется с экспериментальными данными по заиканию у детей, полученными независимо другими авторами [10]. Действительно, заикание у детей часто проявляется именно в форме тоно-клонической дизритмии. Только лишь при переходе заикания в стойкую стадию у взрослых оно приобретает дополнительные черты дизритмии в виде, например, персевераций, характерных для бифуркационной лакуны справа от зоны хаоса в сценарии Фейгенбаума.

Таким образом, закон функциональной композиции предоставляет возможность добиться устранения указанного тренда (а, следовательно, добиться устранения запинок при заикании с признаком дизритмии тоно-клонического типа) либо одним из двух следующих способов, либо их комбинацией. Во-первых, возможно использование сохранных участков на фазе речевого выдоха в сценарии V/U-ритмов с помощью соответствующих приемов, описанных в работе [3]. Во-вторых, возможно использование дополнительного сохранный участка сценария, который описывает функционирование речевой системы на фазе речевого вдоха с помощью соответствующих приемов постановки правильного речевого дыхания. И в третьих — возможно оптимальное комбинирование первых двух приемов. При постановке дыхания в качестве объективного индикатора правильной постановки дыхания можно использовать выявленный нами эффект утраты скейлинга (или самоподобия). Этот эффект можно использовать в качестве индикатора состояния функции речевого дыхания у заикающихся в процессе коррекции. Следовательно, в силу закона функциональной композиции, этот же эффект является и индикатором восстановления нормальной речевой функции, которая проявляет себя акустически на фазе речевого выдоха в виде V/U-ритмов в верхнем «крыле» сценария Фейгенбаума.

ЛИТЕРАТУРА

1. Складов О. П. Онтогенез речи и сценарий развития ее V-ритмов. Электронный журнал «Техническая акустика», <http://webcenter.ru/~eeaa/ejta>, 2004, 7.
2. Складов О. П. Элементы теории ритма речи на основе физической феноменологии его нарушений. Автореф. дисс. ... доктора физ.-мат. наук. СПбГУ, СПб, 1999.
3. Складов О. П., Оноприйчук Е. И. и др. Коррекция заикания с помощью лого- и психотерапевтических воздействий на речевое внимание. В сб. «Актуальные вопросы логопатологии». (ред. И.В. Королева) СПб.: СПб НИИ уха, горла, носа и речи, 2004, 89–100.
4. Starkweather, C. W. The development of fluency in normal children. Stuttering therapy: Prevention and intervention with children. (ed. H. Gregory). Memphis, TN: Speech Foundation of America, 1985, 9–42.
5. Yairi, E., Ambrose, N. G. Early childhood stuttering 1: Persistency and recovery rates. Journal of Speech, Language and Hearing Research, 1999, vol. 42, 1097–1112.
6. Складов О. П. Нейрофизиологические аспекты рекуррентного функционирования «скрытых» переменных речевого аппарата. Журнал Высшей Нервной Деятельности, 1998, т. 48, вып. 5, 827–835.
7. Складов О. П. Самоорганизационная природа речевого ритма (модель источника голоса). Биофизика, 1998, т. 43, вып. 1, 152–158.
8. Складов О. П. Биофизические основы принципа универсальности восприятия речи. Биофизика, 2003, т. 48, вып. 3, 553–557.
9. Skljarov O. P. Nonlinear neurodynamics in representation of a rhythm of speech. Journ. Biol. Phys., 1999, vol. 25, No 2–3, 223–234.
10. Throneburg R. N., Yairi E., Paden E. P. Relation between phonologic difficulty and the occurrence of disfluencies in the early stage of stuttering. Journ. Speech Hear. Res., 1994, vol. 37, 504–509.