

О. П. Скляр

НИИ уха, горла, носа и речи

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

Онтогенез речи и сценарий развития ее V-ритмов

Получена 01.05.2004, опубликована 14.06.2004

Дано определение акустически измеримого ритма речи, как последовательности длительностей сегментов речи с наличием колебаний на частоте основного тона (V-ритм). Теоретически и экспериментально показано, что речи в ее развитии присущ целый набор, или сценарий (сценарий Фейгенбаума), регулярных и иррегулярных V-ритмов, меняющихся в зависимости от управляющего параметра. В работе выдвигается также гипотеза о том, что динамическому аспекту вербальной памяти отвечает конкретный участок сценария V-ритмов, а именно, сценарий Помо-Манневилля.

ВВЕДЕНИЕ

Из физики сложных систем хорошо известно, что формой устойчивого состояния таких систем является ритм. Чем дальше система от своего состояния равновесия, тем, вообще говоря, ее ритм сложнее. Все биологические системы неравновесны по своей природе, поэтому в применении к живому организму сформулированный выше тезис будет звучать так: чем дальше биологический организм находится от своего гомеостатического состояния, тем сложнее ритм его устойчивого существования. Типичным для такого динамического поведения является существование целого набора, или сценария, возможных динамических режимов, от статических (гомеостатических) состояний и ритмов-осцилляций до состояний с иррегулярным, хаотическим ритмом. Тот или иной режим реализуется в зависимости от величины управляющего параметра, имеющего различный физиологический смысл в различных ситуациях: от раздражающего мембрану нейрона напряжения внешнего электрического поля [1] до величины дозы того или иного фармакологического средства, вводимого в нервную ткань (например, при исследовании эпилепсии, [2]).

Все сказанное выше относится в равной мере к речеобразующей системе человека и к ритму вокализаций (V-ритму) в речи. V-ритмом мы будем называть (регулярное или иррегулярное) чередование длительностей вокализованных сегментов в речи. Физиологическим коррелятом таких сегментов являются эпохи, когда голосовые складки находятся в осциллирующем состоянии. Акустическим коррелятом таких сегментов являются участки непрерывности интонационного контура, то есть зависимости частоты основного тона от времени.

Паттерн таких длительностей (V-ритм) отражает сложную динамику взаимосвязанных элементов, составляющих речеобразующую систему, как на уровне ЦНС, так и на уровне периферии. Эволюция таких паттернов отражает эволюцию развития речи как в онтогенезе, так, вероятно, и в филогенезе, а отклонения указанных паттернов от нормы свидетельствуют о каких-либо патологических процессах, протекающих в системе.

Оказалось, что вскрытые нами в процессе исследования ритмических нарушений речи (в основном заикания) законы формирования ритмичности речи позволяют понять основные закономерности фонетики развития, начиная от первых криков новорожденного (и даже ранее) до становления полноценной речи. Это не явилось для нас неожиданностью, хотя и послужило дополнительным подтверждением истинности наших представлений о V-ритме. Но то, что некоторые особенности нарушений ритма при заикании позволили пролить свет на структуру и функционирование памяти, во всяком случае, ее вербальной составляющей, явилось для нас приятной неожиданностью, поскольку в вопросе о памяти, несмотря на обилие литературных данных, у нас не было ясности.

1. СЦЕНАРИЙ V-РИТМОВ РЕЧИ

Одним из результатов сравнительного исследования ритма речи в норме и при заикании, приведенного нами в цикле работ последнего десятилетия [3–7], явился твердо установленный факт, что заикание имеет место в области критической точки смены характера ритма. Действительно, многочисленные экспериментальные исследования и, в частности, оценки К-энтропии экспериментально измеренных ритмов показали, что ритм нормальной речи иррегулярен (хаотичен с конечной положительной К-энтропией), а ритм речи заики состоит из двух компонент. Ритму плавных участков в речи соответствует иррегулярный ритм, а ритму участков запинок соответствует регулярный ритм.

Таким образом, оказалось, что мы имеем дело не с одним ритмом, а, вообще говоря, с целым набором или сценарием ритмов. Многочисленные экспериментальные и теоретические обоснования [3–7] позволили нам в качестве модели такого сценария принять сценарий ритмов точечного квадратичного отображения логистического типа в зависимости от управляющего параметра в этом отображении:

$$T_{n+1} = rT_n(1 - T_n); \quad n = 1, 2, \dots \quad (1)$$

где T_n – приведенные к единичному отрезку длительности n -х сегментов V-ритма, а r — управляющий параметр. Как хорошо известно, такое отображение порождает семейство все усложняющихся (по мере роста управляющего параметра) ритмов, которые при критическом значении параметра $r_{кр.} = 3,57$ переходят в иррегулярные, хаотические ритмы (см. рис. 1). Участок сценария, описывающий переход каскада бифуркаций периода 2 к хаосу, называется сценарием Фейгенбаума.

Зона хаоса в этом сценарии нами соотносилась с ритмом нормальной речи, а левую границу между бифуркациями удвоения периода и хаосом мы рассматривали ответственной за заикание. Даже эти представления и особенности в окрестности границы сценария Фейгенбаума оказались достаточными для того, чтобы впервые объяснить многие особенности ритма речи при заикании и осознанно наметить пути его коррекции [8]. Особенности мы называем два крыла зоны хаоса. Как оказалось, верхнее крыло ответственно за возникновение сингармонических ритмов, а нижнее крыло — за возникновение силлабических ритмов. Форма заикания, получившая разъяснение на этом участке сценария, называется в Петербурге заиканием развития, в Москве — неврозоподобным заиканием, а на Западе — cluttering'ом. Эта форма характеризуется запинками типа повторов тонического, клонического или смешанного типа, которые хорошо трактуются осцилляциями на бифуркациях удвоение периода. Встречается эта форма, как правило, у детей. Запинки эти имеют место, как правило, в начале слова.

Однако оставалось много неясного относительно природы управляющего параметра r в этом сценарии. Выяснить его смысл позволили два направления исследований. Одно направление — это исследование возрастной фонетики. Огромный вклад в развитие этого важного направления был сделан Е. Н. Винарской [9].

Если рассмотреть в сценарии Фейгенбаума не только окрестность критической точки, но всю эволюцию ритмов, от простейших до сложных, переходящих в хаос, то возникает картина становления фонетики у ребенка, которая хорошо согласуется с картиной возрастной фонетики, представленной в работе [9]. В рамках такого сопоставления находят объяснение фонетические оппозиции Н. С. Трубецкого и их развитие в детской речи [10]. Более того, закон Фейгенбаумовского скейлинга поразительно точно описывает временные рамки усложнения оппозиций Трубецкого в фонетике ребенка. И что, может быть, наиболее важно, соотнесение Фейгенбаумовского сценария с детской фонетикой позволяет вскрыть физиологическую иерархию стволово-подкорково-корковых структур и связать их взаимное влияние друг на друга со смыслом управляющего параметра в сценарии Фейгенбаума.

Действительно, при рассмотрении проблемы под таким углом зрения становится понятным, почему рождение ребенка (первая бифуркация) сопровождается криком. Мы здесь приведем описание онтогенеза фонетики только в общих чертах, чтобы продемонстрировать работоспособность предложенной модели V-ритма. Гомеостатическое пренатальное состояние нервной системы ребенка не обеспечивает появления фонетической оппозиции, или двух состояний, между которыми реализуется самый первый фонетический пра-ритм ребенка. Этот пра-ритм ребенка, появляющийся с первым вдохом ребенка, представляет чередование эпох «криков», характеризующихся короткими длительностями фонации, перемежающимися с короткими же шумовыми участками и эпох так называемого «гуления», характеризующегося довольно длительными участками фонации. Этот первый пра-ритм появляется при резком переходе ребенка при акте рождения от пренатального

гомеостаза в неравновесную окружающую среду, что и сопровождается появлением ритма. Здесь только остается поражаться гениальности Трубецкого, который смог представить себе речевой процесс не как процесс во времени, а как неравновесное (но устойчивое) состояние. Это есть состояние ритма, который реализуется в результате сосуществования двух устойчивых состояний – оппозиции, между которыми и происходят переходы, уже развертываясь во времени в виде ритма. По существу, Трубецкой осознавал, в какой-то мере, существование элементов сценария Фейгенбаума.

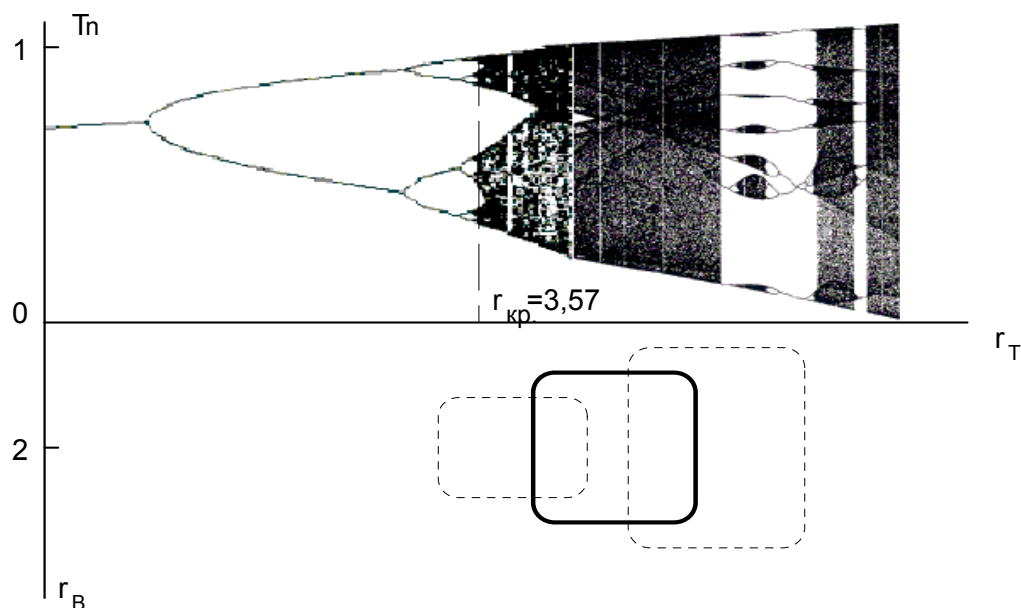


Рис. 1. Сценарий V-ритмов речи

Вверху представлен сценарий V-ритмов речи. По оси абсцисс отложен управляющий параметр r_m (активность «торможения» в нейронной системе, порождающей ритм – подробнее см. текст), по оси ординат отложены возможные в теории нормированные на 1 длительности элементов V-ритма. Управляющий параметр $r_{kp}=3,57$ соответствует границе перехода бифуркаций периода 2 в детерминированный хаос. Справа в зоне хаоса видна довольно обширная лакуна, в которой опять возникают бифуркации, но другой природы. Эта часть сценария называется сценарием Помо-Манневилья перехода к хаосу. Снизу в координатах r_m (активность «торможения») и r_v (активность «возбуждения») представлены предельные циклы, к которым стремится динамика в порождающей V-ритм нейронной системе. Изображающая точка $\{r_m; r_v\}$ движется против часовой стрелки с течением времени. Жирной линией отмечен предельный цикл для речи в норме; пунктирными линиями отмечены предельные циклы для заикания развития у детей (слева) и хронического (невротического) заикания у подростков и взрослых (справа)

Следующая бифуркация — это появление мажорного и минорного тембров «И» и «У» из первоначального «А», свойственного первой бифуркации [9]. Это уже более усложнившиеся оппозиции, более сложные ритмы, возникшие в результате вторичной бифуркации. Физиологически это усложнение ритма связывают с торможением,

которое оказывается со стороны стриатума на паллидарные подкорковые ядра, обеспечивающие существование первичного пра-ритма. Дальнейшее, все возрастающее влияние коры (а также межполушарных взаимодействий) на стволовые и подкорковые структуры ведет ко все большему усложнению ритма, приводящего, в конце концов, динамику ритма в иррегулярную область, описывающую зрелые речевые процессы. Здесь следует обратить внимание на то, что вхождение в хаос идет по двум полостям, или крыльям (см. рис. 1): верхнему крылу, «выросшему» из фазы гуления, и приводящему к языкам с сингармоническим ритмом (китайский, японский и т. д.). В нейрофизиологии это тоническое крыло принято ассоциировать с правым полушарием. Нижняя полость, или крыло, «выросшее» из фазы криков, соответствует языкам с силлабическим ритмом (практически все европейские языки). Такие ритмы принято соотносить с доминантным, обычно левым полушарием. Очевидно (см. рис. 1), что ритм полноценной речи в центре зоны хаоса соответствует силлабо-тоническим ритмам, которые обеспечиваются взаимодействием обоих полушарий.

Второе направление, позволившее пролить свет на природу управляющего параметра — это исследование другой формы заикания (в Петербурге эта форма называется хроническим заиканием, в Москве — невротическим заиканием, а на Западе — stuttering'ом). Эта форма в корне отличается от заикания развития как по своим проявлениям, так и по способам коррекции. Она характерна для заикающихся подростков и взрослых. Беда в том, что эти две формы (заикание развития и невротическое заикание) встречаются, как правило, вместе в одном и том же заикающемся, и требуется определенное искусство, чтобы разграничить их. Хроническое заикание в чистом виде проявляет себя внешне зачастую в виде «фобического» молчания (страха пациента вообще начать говорить), а запинки имеют персеверационную природу, например, при чтении заикающийся произносит фразу гладко, потом наступает длительная серия запинок, когда заикающийся как бы произносит про себя несколько раз только что прочитанную фразу. Фонетически речь в эти моменты представляет собой «обрывки» только что прочитанной фразы, причем обрывочное произнесение этой фразы происходит, затухая, несколько раз, в цикле. Такого поведения граница между хаосом и бифуркациями в левой части сценария, в сценарии Фейгенбаума, объяснить не могла. Другое клиническое наблюдение относительно этой формы состояло в том, что методы коррекции ее были прямо противоположны (см., например, [11, 12]) методам коррекции заикания развития. Например, если при заикании развития полезно торможение речевого процесса, то при невротическом заикании необходимо «растормаживание» речевого процесса, снятие страха речи. Это обстоятельство ставило непреодолимые трудности в клинике заикания [8]. Действительно, если в одной группе находятся пациенты с разными формами, то, применяя одну и ту же методику, мы, образно говоря, «одних лечим, а других калечим». Более того, даже в одном и том же заикающемся эти формы, как правило, благополучно сосуществуют вместе. Вот почему надо всегда настороженно относиться к появляющимся время от времени заявлениям о создании универсального метода коррекции, а еще опаснее, некоторого внешнего устройства, полностью

устраняющего заикание [13, 14]. Необходима гибкая процедура, изменяющаяся от пациента к пациенту, и даже в отношении к одному пациенту, меняющаяся в зависимости от стадии коррекции и состояния V-ритма пациента [8]. Вот почему проблема заикания стоит с древнейших времен. В новое время первые работы с рекомендациями по коррекции заикания в России появились еще в начале 19 века, во времена Пушкина (см., например, [15]), в которых мы находим основные составляющие большинства современных методик исправления заикания (см., например, [16]). Вот почему нам представляется важным текущее отслеживание изменений V-ритма пациента в процессе коррекции, правильный учет этих изменений и определение тактики коррекции заикания в каждом отдельном случае на основании понимания глубинных процессов формирования V-ритма.

Итак, мы видим, что заикание развития связано с недостатком торможения в системе. Отсюда ясно, почему зачастую заикание развития (если ребенку родители и логопеды не «добавили» невротической компоненты) проходит само собой по мере созревания нейронных структур. И наоборот, коррекция хронического или невротического заикания требует обратного действия, растормаживания. Здесь природа уже не способствует логопеду, и здесь, как правило, уже используются различные фармакологические средства, например, различного рода антидепрессанты. Наоборот, препараты, оказывающие затормаживающее действие, например, аминазин, положительно влияет при снятии заикания развития и, напротив, усугубляет невротическое заикание [11].

Таким образом, принимая в рассмотрение вышеизложенные факты из фонетики развития, а также проводя сравнение коррекционных мер при заикании развития и при невротическом заикании, мы пришли к выводу, что роль управляющего параметра в сценарии ритмов квадратичного отображения играет «торможение» в нейронной системе, ответственной за тот или иной участок в указанном сценарии ритмов.

Модель для торможения вкупе с возбуждением для нейронных образований типа коры головного мозга и гиппокампа была предложена в цикле работ В. И. Сбитнева и В. Г. Яхно, в которых исследуется распространение областей повышенной импульсной активности в таких нейронных структурах. Так, например, в работе [17] исследуется динамика таких характеристик в пространственно-однородной распределенной нейронной системе, как ρ_t и ρ_v — среднего числа активных («зажженных») волокон в единице объема в аксонных деревьях тормозных и возбуждающих нейронов соответственно. Оказалось, что динамика этих активностей в таких нейронных образованиях как, например, кора головного мозга и гиппокамп такова, что допускает существование различных динамических режимов, которые описывают распространение в нейронной структуре зон повышенной активности в триггерном, ждущем и автоколебательном режиме. В автоколебательном режиме Яхно установил наличие волн как тормозной, так и возбуждающей активности с характерным временным размером в 160–140 мсек. Эта величина хорошо согласуется со средними значениями длительностей элементов V-ритма нормальной речи, установленными нами экспериментально [3-7].

Динамика тормозной и возбуждающей активностей $r_t = \rho_t / P_t$ и $r_b = \rho_b / P_b$, приведенных к плотностям тормозных P_t и возбуждающих нейронов P_b соответственно ($P_t \cong 10^{-7}$ мкм⁻³; $P_b \cong 10^{-5}$ мкм⁻³ [18]), была описана с помощью хорошо себя зарекомендовавшей так называемой аппроксимации «среднего поля» [19] для уравнений активации одиночного нейрона Ходжкина-Хаксли [20], или для их упрощенной модели — уравнений ФицХью [21].

В этом случае управляющий параметр r_t представляет собой усредненную импульсную активность («firing activity») тормозных нейронов в сети, а r_b — импульсную активность возбуждающих нейронов соответственно. Зависимость r_t от r_b для уравнений ФицХью в приближении «среднего поля» представима в виде предельного цикла, показанного для различных ситуаций на рис. 1 (внизу). Условимся величину r_t трактовать как уровень «торможения» в нейронной системе, соответствующей определенному участку в сценарии ритмов, а r_b — как уровень «возбуждения» в такой нейронной системе. Надо иметь в виду, что от участка к участку эти специфические нейронные сети разные, например, для ритмов ранних вокализаций это, как мы отмечали выше, паллидарно-стриатумный комплекс, для ритмов зрелой речи, это, по-видимому, кора и гиппокамп с их проекциями. Размер и положение предельного цикла $\{r_t, r_b\}$ зависят как от констант, входящих в уравнения ФицХью (или в уравнения Сбитнева-Яхно), характеризующих механизм нейронного возбуждения в специфической нейронной системе, так и от внешнего входа в систему. Таким образом, правый пунктирный предельный цикл на рис. 1 можно соотнести с невротическим заиканием. Если принять движение по этому предельному циклу против часовой стрелки, то становится понятным, почему при недостаточном уровне торможения в системе (заикание развития) запинки встречаются, как правило, на фазе нарастания активности фонации (ось ординат на рис. 1 внизу), то есть в начале слога, слова или синтагмы, а при избыточном уровне торможения в системе (невротическое заикание) запинки встречаются на стадии спада активности фонации, то есть в конце слова, синтагмы, как это и является характерным для наблюдаемых нами персевераций.

Следует иметь ввиду, что если сценарий Фейгенбаума (фонетика развития и заикание развития) описывается достаточно успешно аналитическими методами, то аналитических результатов в области бифуркационной лакуны (см. рис. 1), несмотря на всю простоту отображения (1), крайне мало. Этот участок сценария V-ритмов называется сценарием Помо-Манневиля перехода к хаосу [22] и описывается, в основном, с помощью компьютерных расчетов. Результаты такого продвинутого (по торможению) расчета, были впервые опубликованы в виде сценария американским исследователем E. L. Rossi [23]. Структура «бифуркационной» лакуны резко отличается от структуры бифуркаций в сценарии Фейгенбаума. Для нее, как показали J. E. Hirsch et al. [24], характерно существование регулярных циклов периода 3. Чтобы реализовался динамический цикл, необходимо, чтобы были задействованы все три ветви цикла. Если окажется, что динамический диапазон возбуждения фонации вблизи хаоса недостаточен для этого, то цикл не реализуется, и наступает молчание, что мы и наблюдаем на эксперименте. Далее, как показывают численные эксперименты, на

каждой ветви возникает «пузырь», представляющий из себя мини-сценарий Фейгенбаума. Эти пузыри Rossi называл пузырями сознания [23]. Таким образом, хотя и возникают предпосылки для существования фонетических оппозиций Трубецкого, но эти оппозиции чрезвычайно слабоконтрастные, что и проявляется в виде невнятных фонетических персевераций в речи заикающихся, которую можно интерпретировать как «свернутую», или внутреннюю речь в понимании А. Р. Лурия [25], поэтому будем называть «пузыри сознания» Росси «капсулами свернутой речи». При этом клиницисты часто ассоциируют невротическое заикание с ухудшением памяти, а исследователи невротического заикания соотносят эту форму с заинтересованностью гипоталамо-гипофизарно-адреналового комплекса [26].

Приведенные данные, а также тот факт, что число капсул свернутой речи в сценарии Помо-Манневиля хорошо согласуется с объемом оперативной памяти, вмещающей 7 ± 2 элемента, наталкивают на ассоциацию структуры этой зоны сценария и нейронных процессов, с ней связанных, а значит, и механизмов невротического заикания, со структурой и механизмами памяти.

Действительно, оказалось, что некоторые внешние воздействия на нервную систему приводят к схожим результатам как в отношении вербальной памяти, так и в отношении невротического заикания. Мы уже говорили о негативном воздействии аминазина на речь пациентов с невротическим заиканием. Исследования Н. Н. Трауготт показали, что во время действия аминазина страдает как кратковременная, так и долговременная память [27]. Было показано, что введение аминазина активирует передний гипоталамус, и наоборот, ведет к тотальному угнетению или торможению активирующих влияний со стороны неспецифических систем таламуса и ретикулярной формации мозгового ствола. Можно предположить, что такое воздействие аминазина в случае невротического заикания (см. правый пунктирный предельный цикл на рис. 1 на границе между хаосом и бифуркационной лакуной в сценарии Помо-Манневиля) усугубляет эту форму заикания, вдвигая предельный цикл в область лакуны вплоть до появления персевераций, возникающих в результате фонетических проявлений капсул свернутой речи в этом сценарии.

Другим подтверждением нашей гипотезы о связи бифуркационной лакуны в сценарии Помо-Манневиля с процессами, протекающими в памяти, является наблюдение, сделанное Н. Н. Трауготт во время инсулиновой гипогликемии доминирующего левого полушария [27], и свидетельствующее о том, что после левостороннего припадка вспоминается вдвое меньше слов, чем в обычном состоянии. Действительно, при взгляде на рис. 1 становится ясно, что при выключении нижней полости хаоса, ответственной за силлабический ритм, обычно ассоциируемый с доминантным полушарием, исчезает и приблизительно половина капсул со свернутой речью в сценарии Помо-Манневиля. Напрашивается сравнение этих семи капсул с челноками, снующими между двумя пространственными хаотическими субполосами в правой части рисунка, которые можно ассоциировать с гиппокампом, являющимся, по общепринятому мнению, нейронным субстратом долговременной памяти, и зоной хаоса, производящей речь. Двигаясь в направлении справа налево, эти капсулы

осуществляют функцию извлечения из памяти при производстве речи. Упомянутые две хаотические субполосы сценария, предположительно ассоциируемые нами с гиппокампом, никак себя фонетически не проявляют в нормальных условиях и представляют собой некий фонетический гомеостаз, проявляющий себя только лишь опосредованно через вербальную оперативную память.

Транспортная роль капсул свернутой речи между долговременной памятью и речевой зоной хаоса подтверждается косвенно и динамическим аспектом сценария Помо-Манневиля перехода к хаосу. Дело в том, что возникновение таких капсул происходит в результате столкновения хаотического аттрактора, представляющего собой субполосу хаоса, которые мы ассоциируем с долговременной памятью, и независимой (непарной) точкой регулярного цикла периода 3, возникающего в бифуркационной лакуне. В работе [28] было впервые отмечено, что такие столкновения приводят к внезапным изменениям хаотического аттрактора. Для рассматриваемого логистического отображения в результате такого столкновения и возникает капсула свернутой речи. Действительно, неустойчивые неподвижные точки, попадая в хаотическую область (ассоциируемую нами с гиппокампом), немедленно выталкивают «кусочек хаоса» из хаотической субполосы, в результате чего и возникает указанная капсула. Действительно, в гиппокампе существуют нейроны, которые, получая одновременный вход через разные транзиттеры от целого ряда ощущений, могут воздействовать на ретикулярную активирующую систему, которая отображает динамику отдельного нейрона на глобальную нейродинамику таким образом, что нестабильность единичной клетки или микросистемы приводит к глобальной нестабильности [29].

Не совсем ясен механизм поглощения этой капсулы зоной речевого хаоса, расположенной в сценарии Помо-Манневиля слева (или в сценарии Фейгенбаума справа), но можно предположить, что в результате регуляторных функций по сдвигу границы речевого хаоса, осуществляемых, как мы видели, нейронными образованиями области гипоталамуса и ретикулярной формации, происходит поглощение этой капсулы зоной речевого хаоса.

Механизм образования устойчивых состояний в зоне хаоса при восприятии, которые можно ассоциировать с памятью в рамках сценария Помо-Манневиля, был недавно предложен в работе [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конечно, в механизме памяти надо еще многое понять, но вселяет оптимизм созвучие нашей трактовки памяти с трактовкой проблемы внутренней речи и памяти, представленной А. Р. Лурия в его работе [25]. В этой работе автор развивает понятие «внутренней речи», связанной с процессом памяти. Внутренняя речь является, с точки зрения Лурия, «механизмом, превращающим внутренние субъективные смыслы в систему внешних развернутых речевых значений, и именно эта психологическая характеристика процесса, сформированная Л. С. Выготским, явилась важным, завершающим звеном для понимания механизма памяти».

ЛИТЕРАТУРА

1. Matsumoto G., Aihara K., Ichikawa M. Periodic and nonperiodic responses of membrane potentials in squid giant axons during sinusoidal current stimulation. *J. Theor. Neurobiol.*, 1984, vol. 3, pp. 1-14.
2. Kaczmarek L. K., Babloyantz A. Spatiotemporal patterns in epileptic seizures. *Biol. Cybern.*, 1977, vol. 26, pp. 199-208.
3. Складов О. П. Нейрофизиологические аспекты рекуррентного функционирования «скрытых» переменных речевого аппарата. *Журнал Высшей Нервной Деятельности*, 1998, том 48, вып. 5, с. 827-835.
4. Складов О. П. Самоорганизационная природа речевого ритма (модель источника голоса). *Биофизика*, 1998, т. 43, № 1, с. 152-158.
5. Skljarov O. P. Nonlinear neurodynamics in representation of a rhythm of speech. *Journal of Biological Physics*. Kluwer Acad. Publ, 1999, vol. 25, № 2-3, pp. 223-234.
6. Складов О. П. Биофизические основы принципа универсальности восприятия речи. *Биофизика*, 2003, т. 48, № 3, с. 553-557.
7. Складов О. П. Лагранжева формулировка проблемы самоорганизации нейронного ансамбля при учете нелинейной диссипации энергии. *Биофизика*, 2003, т. 48, № 4, с. 701-705.
8. Складов О. П., Складова Т. Н. «Способ оценки и выбора метода коррекции заикания». Заявка на изобретение (номер приоритета 2003108595/20 (009248) от 25 марта 2003 г.).
9. Винарская Е. Н., Богомазов Г. М. Возрастная фонетика. *СТТ*, Томск, 2001, 283 с.
10. Трубецкой Н. С. Основы фонологии. М.: ИЛ, 1960.
11. Кочергина В. С. «Брадилалия, тахилалия, спотыкание». В сб. «Расстройства речи у детей и подростков» (ред. С. С. Ляпидевский). М.: «Медицина», 1969, стр. 214-225.
12. Bloodstein O. A handbook on stuttering. Fifth ed. San Diego; London: Singular Publ. Group, Inc., 1995. 606 p.
13. Блудов А. А., Воронцов В. А. Исследование модификации «речевого круга» и вегетативных реакций при заикании. *Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова*, 3, 2002, стр. 65-66.
14. Howell P. Effects of delayed auditory feedback and frequency-shifted feedback on speech control and some potentials for future development of prosthetic aids for stammering. *Stammering Research*, 2004, vol. 1, pp. 31-46.
15. Лагузен Х. Способ излечения заикания. СПб., 1838.
16. Киселева М. Н., Методические указания по проведению логопедической работы при рецидивах заикания. Ленинград, 1966.
17. Кудряшов А. В., Яхно В. Г. Распространение областей повышенной импульсной активности в нейронной сети. В сб. *Динамика биологических систем*, Межвузовский сборник, вып. 2, Горький, 1978.
18. Сбитнев В. И. Перенос спайков в статистических нейронных ансамблях. III. Фазовый переход в модели поля СА3 гиппокампа. *Биофизика*, 1977, т. 22, с. 523-528.
19. Brown G. B., Cooke M., Moussett E. Are neural oscillations the substrate of auditory grouping? *Proc. of the Workshop on the Auditory Basis of Speech Percept*, Keele, 1996, pp. 174-179.
20. Ходжкин А. Нервный импульс. Пер. с англ. М.: Мир, 1965. 125 с.
21. FitzHugh, R. Impulses and physiological states in theoretical models of nerve membrane. *Biophysical Journal*, 1961, 1, 445-466.
22. Pomeau Y., Manneville P. Intermittent Transition to Turbulence in Dissipative Dynamical Systems. *Comm. Math. Phys.*, 1980, 74, 189-197.

23. Rossi E. L. The Feigenbaum scenario as a model of the limits of conscious information processing. *Biosystems*, 1998, 46(1-2), 113-122.
24. Hirsch J. E, Huberman B. A., Scalapino D. J. Theory of Intermittency. *Phys. Rev*, 1981, 25A, pp. 519-529.
25. Лурия А. Р. Основные проблемы нейролингвистики. М.: Изд. МГУ, 1975.
26. Шкловский В. М., Лукашевич И. П., Мачинская Р. И., Воробьева Е. В., Никитина Ю. В. Патогенетические механизмы заикания, *Журнал неврологии и патологии им. С. С. Корсакова*, 2000, №4, стр. 50-53.
27. Трауготт Н. Н. О механизмах нарушения памяти. Ленинград, изд. «Наука», 1975.
28. Grebogi, C., Ott, E., Yorke, J. A. Crises, Sudden Changes in Chaotic Attractors and Transients to Chaos. *Physica*, 1983, 7D, pp. 181-192.
29. King C. C. Fractal and Chaotic Dynamics in Nervous System. Auckland University. www.math.auckland.ac.nz/~king/Preprints/pdf/BrChaos.pdf
30. Lysetskiy M., Zurada J. M. Bifurcation neuron: computation and learning. *Neural Networks*, 2004, vol. 17, pp. 225-232.