Электронный журнал «Техническая акустика»
http://www.ejta.org

2005, 35

О. П. Скляров

НИИ уха, горла, носа и речи
Россия, 190013, Санкт-Петербург, ул. Бронницкая, 9, e-mail: skljarov@admiral.ru

Нарушения ритма речи, возникающие в результате синхронизации, индуцированной в связанных осцилляторах

Получена 14.11.2005, опубликована 24.11.2005

Оказывается, что заикание, как феномен нарушения ритма речи, можно рассматривать с позиций технической акустики. Как известно, акустически голосовые звуки речи формируются голосовыми складками, периферийными резонаторами и артикуляторами речевого тракта (полость рта, носа, губы, язык, зубы и т. д). Источником энергии возникающих акустических колебаний является воздушный поток из легких.

Управление речевой периферией осуществляется, в основном, со стороны мозга. Одной из функций такого управления является формирование начала и конца голосового сегмента в речи. Иными словами, управление формирует ритм речи. Основную электрическую ячейку мозга мы будем называть нейроном. Здесь мы воспользовались простейшей моделью, способной описать электрические свойства нейрона с учетом фазы его состояния: конденсатором (или интегратором) с утечкой, испускающим, по достижению некоторого порога, импульс. Это модель Leaked-Integrator-and-Fire (LIF-модель) [1]. Как известно, потенциал такого интегратора описывается осцилляциями в виде периодической последовательности импульсов с периодом следования ~1мс, поэтому LIF-модель называется также моделью осциллирующего интегратора или просто — моделью осциллятора. Электрически функционирование мозга можно представить себе как некоторое нелинейное взаимодействие таких осцилляторов. Взаимодействие осцилляторов характеризуется некоторой константой связи [2]. Если потенциал в интеграторе превышает некоторый порог, при котором происходит испускание импульса, то этот интегратор называется активным. Активный интегратор может взаимодействовать с соседними интеграторами двояким образом.

1) Активный интегратор может возбуждать временную осцилляцию потенциала в соседнем интеграторе, при этом пиковое значение потенциала превышает порог. В этом случае он называется «возбуждающим» интегратором.

2) Активный интегратор может и «затормозить» потенциал в соседнем интеграторе до уровня ниже порога. Тогда он называется «тормозящим» интегратором.

Относительное число «возбуждающих» («тормозящих») в единицу времени интеграторов называется «возбуждающей» («тормозящей») активностью мозга. Активности измеряются в герцах. На периферии эти активности приводят (с помощью специальных клеток) к натяжению мышц голосовых складок, а также к натяжению других мышц речевого тракта, приводящих в движение, например, диафрагму легких, голосовых складок, губ и т. д. Таким образом, описанное управление физически реализует сегментацию речевого сигнала. Другими словами, оно формирует ритм речи.

Общепринято считать, что заикание есть феномен отклонения ритма речи заикающегося пациента от ритма нормальной речи. В ходе многолетних экспериментальных исследований мы убедились, что отличаются как средние длительности сегментов, так и их коэффициенты вариации. Экспериментально установленный критический переход от ритма речи с запинками к ритму нормальной речи позволил нам принять гипотезу о том, что сегменты ритма подчиняется квадратичному отображению с управляющим параметром [3, 4]. Исследования детской фонетики, а также изучение различных форм заикания убедило нас в том, что управляющий параметр отображения имеет нейрофизиологический смысл «торможения». Это «торможение» существует в соответствующем звене иерархии нейронных структур, ответственном за ритм, который наблюдается в определенном возрасте или при определенной форме заикания. Закон квадратичного отображения имеет геометрическое место точек, соответствующих устойчивым состояниям отображения, другими словами, устойчивым продолжительностям сегментов ритма. Это геометрическое место устойчивых состояний называется сценарием ритмов, потому что переходы между состояниями соответствуют, в частности, регулярным ритмам детской «лепетной» речи и ритмам повторяющихся запинок ранней формы заикания. Под влиянием все возрастающего тормозного влияния коры мозга ритм нормальной речи становится иррегулярным. Однако при дальнейшем росте торможения появляются запинки невротического характера в виде пауз молчания, персевераций и т. д. Такая форма заикания, сопровождающаяся как запинками в виде повторов, так и невротическими запинками, носит название устойчивого, «хронического» заикания. Именно такое заикание является «камнем преткновения» для врачей-клиницистов, так как для редукции запинок-повторов требуется увеличение торможения в речевых нейронных центрах, а для редукции невротических запинок, наоборот, требуется снижение торможения в речевых центрах [3].

Однако это противоречие исчезает при учете линейной зависимости, существующей между «тормозящей» активностью и управляющим параметром в сценарии ритмов речи [4]. С другой стороны, можно показать, что при учете конечного времени распространения взаимодействия между соседними нейронами-осцилляторами только лишь «тормозящая» популяция осцилляторов способна организовывать синхронные кластеры. При этом возможны три режима [2]:

1) Осцилляторы функционируют синхронно при средних значениях констант связи между ними.

2) Осцилляторы функционируют в противофазе при низких значениях констант связи.

3) При достаточно больших значениях констант связи синхронизация исчезает [2].

Эти факты согласуются с решением широко используемого в гидроакустике уравнения Фоккера-Планка для плотности осцилляторов в случае «тормозящей» активности [1]. Действительно, «тормозящая» активность представляет собой медленно осциллирующую функцию времени, постепенно затухающую к фоновому уровню активности, который соответствует полной десинхронизации «тормозящих» интеграторов в течение 200 мс [1].

Можно предположить, что всплески медленных осцилляций тормозной активности, которые длятся около 40–50 мс и находятся выше фонового уровня «торможения», приводят к появлению характерных для повышенного торможения невротических запинок при «хроническом» заикании. Всплески, находящиеся ниже фонового уровня, приводят к появлению запинок-повторов с судорожной окраской, характерных для пониженного торможения. В пользу такой трактовки служит хорошо известный факт, что частичная блокировка константы связи между интеграторами с помощью ГАМК — медиатора ведет к возникновению тех или иных судорожных проявлений [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Турбин А. А. Редукция к одномерному уравнению Фоккера-Планка электрической активности ансамбля нейронов. Автореф. дисс….канд. физ.-мат. наук, СПб Политехнический институт, 2005.
2. Ernst U., Pawelzik K., Geizel T. Synchronization Induced by Temporal Delay in Pulse-Coupled Oscillators. Phys. Rev. Lett., vol. 74, №9, 1995. pp. 1570–1573.
3. Скляров О. П. Онтогенез речи и сценарий развития ее V-ритмов. Электронный журнал «Техническая акустика», < http://www.ejta.org >, 2004, 16.
4. Скляров О. П. Элементы теории ритма речи на основе физической феноменологии его нарушений. Автореф. дисс….доктора физ.-мат. наук, СПб Университет, 1999.
5. Шеперд Г. Нейробиология. В двух томах. Т.2. (ред. Д. А. Сахаров). М.: «Мир», 1987.