

## К ПРОБЛЕМЕ ПОНИМАНИЯ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ ЗВУКОВОГО ОБРАЗА ПРИ ДИХОТИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ

Шеромова Н. Н., Маясова Т. В.

*ФГБОУ ВПО НГПУ Мининский университет, Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, ГСП-1, ул. Ульянова, 1), e-mail: vip.mayasova@mail.ru*

Представлена схема нейрофизиологических процессов, развертывающихся в ЦНС при локализации звука. Локализация звука в пространстве складывается из процессов внутри- и межполушарного взаимодействия слуховой, вестибулярной, двигательной и других систем. На первом этапе в парных слуховых центрах, включая и корковые, происходит взаимодействие ипси- и контрлатеральных потоков возбуждения. Следующим блоком нейрофизиологической основы пространственного звукового образа будут эфферентные возбуждения в парных двигательных центрах на различных уровнях ЦНС, которые также окажутся асимметричными. Важным звеном в построении материально-физиологической основы пространственного образа звука являются сами движения головы, глаз, ушей (у животных) и импульсный поток от них в мозг, что образует третий блок структуры пространственного образа звука, а четвертым, завершающим блоком будут процессы «считывания» информации обратной афферентации в вестибуло-соматических центрах мозга.

Ключевые слова: звуковой образ, дихотическая стимуляция, межполушарная афферентная асимметрия, межполушарная эфферентная асимметрия.

## TO THE PROBLEM OF UNDERSTANDING THE NEUROPHYSIOLOGICAL NATURE OF THE SOUND IMAGE DURING DICHOTIC STIMULATION

Sheromova N. N., Maysova T. V.

*Mininsky University, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, GSP-1, street Ulyanov, 1), e-mail: vip.mayasova@mail.ru*

A diagram of the physiological processes unfolding in the Central nervous system in the localization of sound. Localization of sound in space is the sum of the processes of intra - and interhemispheric interaction auditory, vestibular, motor and other systems. At the first stage in paired auditory centers, including the cortex, the interaction of IPSI - and contralateral flow excitation. The next block of the neurophysiological bases of spatial sound image will be efferent excitation in paired motor centers at various levels of the CNS, which will also be asymmetric. An important element in building material and physiological basis of a spatial image of a sound is the movement of head, eyes, ears (in animals) and pulse flow from them to the brain that forms the third block structure of a spatial image of the sound, and the fourth, the final block will be the processes of "reading" information return afferentation in the vestibular-somatic centers of the brain.

Keywords: sound, dichotic stimulation, interhemispheric afferent asymmetry, interhemispheric efferent asymmetry.

Для понимания механизма влияния амплитудно-временных комбинаций звукового стимула на структуру и свойства субъективного звукового поля человека существенно рассмотреть нейрофизиологические основы формирования статичного звукового образа при бинауральном предъявлении звуковых стимулов. В качестве эффектов дихотической стимуляции выступает звуковой образ и субъективное звуковое поле, следовательно, явления субъективно-психические, т. е. осознаваемые испытуемыми. Согласно представлениям Д. И. Дубровского наше сознание складывается из комплексного и одновременного ощущения «Я» и «не Я» [3]. И это очевидно: нельзя определить местоположение источника звука в пространстве объективном или «субъективном», не имея точки отсчета, не имея ощущения собственной головы как части «Я». Локализация звука в пространстве с одновременным определением своего местоположения по отношению к источнику звука как

психофизиологическая деятельность мозга складывается из процессов внутри- и межполушарного взаимодействия слуховой, вестибулярной, двигательной и других систем. Вся эта совокупность процессов приводит еще и к тому, что воспринимающие (рецепторные) поверхности не только слуховой, но и других анализаторных систем становятся ориентированными на источник звука. Такая комплексная реакция, призванная дать ответ на вопрос «что такое?», называется по И. П. Павлову, ориентировочно-исследовательской [6]. Но, прежде, чем ответить на вопрос «что», необходимо локализовать это «что», т.е. ответить на вопрос, «где» и одновременно ориентировать себя относительно источника раздражения.

Более детально процесс формирования нейрофизиологического эквивалента пространственного звукового образа как части образа звука целостного представляется нам следующим образом. Звуковые колебания от внешнего единого источника или его внутреннего имитатора (дихотического щелчка) воспринимаются парными улитками, каждая из которых после трансформации звука в нервные импульсы формирует два потока возбуждений: более мощный поток в контрлатеральную половину мозга и приблизительно в два раза ослабленный, ввиду различия количества связей каждого уха с полушариями мозга, – в половину ипсилатеральную. В парных слуховых центрах, включая и корковые, происходит взаимодействие ипси- и контрлатеральных потоков возбуждения. При введении интерауральных различий по времени стимуляции ( $\Delta t$ ), ипси- и контрлатеральные потоки возбуждения входят в парные слуховые центры также последовательно: со стороны опережающего уха к ипсилатеральному присоединяется контрлатеральный, а с другой стороны, к контрлатеральному подсоединяется ипсилатеральный. От перемены мест во времени ипси- и контрлатеральных возбуждений существенно меняется суммарный результат: забегая вперед, слабое ипсилатеральное возбуждение снижает крутизну нарастания силы раздражения соответствующего слухового образования и величина его афферентного ответа на основную контрлатеральную посылку уменьшается, а, приходя после контрлатерального возбуждения и удлиняя общее время раздражения, тот же ипсилатеральный поток усиливает суммарный ответ. В результате введения интерауральных различий лишь по времени ( $\Delta t$ ) в парных слуховых образованиях возникает асимметрия возбуждений уже по силе ( $\Delta I$ ). Этим заканчивается первый этап построения морфофункциональной структуры звукового образа. Для него важна величина интерауральных различий в стимуляции по  $\Delta I$  и  $\Delta t$ . В искусственных условиях, которых никогда не бывает в реальной жизни животных и человека, интерауральная  $\Delta I$  всегда равнялась нулю, а изменялась только  $\Delta t$ , которая с помощью неперекрещенных слуховых путей и трансформировалась в межполушарную асимметрию афферентных возбуждений по  $\Delta I$ .

Из работ И. М. Сеченова известно, что «мышца дала нам наши представления о пространстве». Еще конкретнее и ближе к нейрофизиологии перевел эту мысль А. Н. Леонтьев, который писал: «ощущение не есть результат только центростремительного афферентного процесса», для него необходимо и «эфферентное плечо рефлекса» [4]. Это означает, что для возникновения пространственного образа звука необходимо, чтобы афферентная симметрия-асимметрия перешла в симметрию-асимметрию эфферентную, ибо для мышцы адекватным раздражителем служат эфферентные импульсы. Многочисленные эксперименты на кошках с односторонними охлаждениями слуховых полей коры или горизонтального лабиринта вестибулярного аппарата свидетельствуют о том, что межполушарная афферентная асимметрия (МАО) по достижении определенной пороговой величины становится безусловным раздражителем для мозга и включает соответствующий рефлекс, направленный на ее устранение [7]. Данный рефлекс может быть фрагментом ориентировочной деятельности, но в то же время он призван с помощью поворотов туловища, головы, глаз, а у животных и ушных раковин, устранить возникшую МАО, поэтому угол поворотов определяется величиной асимметрии. Следовательно, вторым блоком нейрофизиологической основы пространственного звукового образа будут эфферентные возбуждения в парных двигательных центрах на различных уровнях ЦНС, которые, как и афферентные, также окажутся асимметричными. Из клиники, а также из экспериментальной физиологии (достаточно вспомнить классический опыт Гольца по «торможению рефлекса рефлексом») известно, что между парными центрами среди прочих отношений могут складываться и реципрокные отношения [2]. Подобные же отношения, надо полагать, возникают и при локализации одиночного источника звука как в естественных условиях, так и в условиях эксперимента. Возникающая при этом асимметрия эфферентных возбуждений имеет существенные особенности, на которых следует остановиться.

Анохин П. К., рассматривая проблему коркового торможения, высказал мысль о возможности рождения в коре больших полушарий «тормозящих и тормозимых возбуждений», благодаря комбинации которых периферическая исполнительная реакция приобретает вполне определенную «архитектуру», так как, по мнению П. К. Анохина, «тормозящие возбуждения» устраняют все лишние движения [1]. Очень сходную мысль задолго до рождения П. К. Анохина высказал И. М. Сеченов. «Головной мозг человека, – писал он, – заключает в себе механизмы, задерживающие мышечные движения», благодаря, которым «движение, становясь ограниченнее, принимает уже определенную физиономию». Введя понятие корковых «тормозящих и тормозимых возбуждений», П. К. Анохин детализировал один из вариантов механизмов, задерживающих мышечное движение.

Конечно, мозаичность, сложность и филигранность в высшей степени присуща корковым тормозящим возбуждениям, однако это не исключает того, что подобные возбуждения могут зарождаться и в других отделах и уровнях ЦНС. Мотонейроны, осуществляющие при ориентировочной реакции дозированный поворот, например, головы и глаз, могут испытывать тормозные влияния не обязательно со стороны коры, но и со стороны мозжечка, тормозных нейронов своего уровня и т.д. Торможение, по мнению П. К. Анохина, «появляется как результат взаимодействия от двух суммируемых условных раздражителей там, где формируются условные реакции на каждые из этих условных раздражителей [1]. А что мешает суммироваться возбуждениям в парных подкорковых слуховых центрах на безусловные дихотические стимулы? Опираясь на идеи И. М. Сеченова, И. П. Павлова, П. К. Анохина и А. Н. Леонтьева, можно с гораздо большей уверенностью говорить об особенностях межполушарной асимметрии эфферентных возбуждений. В случаях с ориентировочными реакциями на звуковой раздражитель эти особенности состоят в том, что потоки импульсов, прежде чем дойти до конкретных мышц-исполнителей, реципрокно тормозятся в парных образованиях, где они и зарождаются. В результате реципрокности эфферентные потоки одной половины мозга полностью подавляются (тормозятся), а другой – ослабляются на величину заторможенных. Имеются в виду не все эфферентные возбуждения на звук, а только те, которые отражают его направленность. Благодаря этому ориентировочные повороты при боковом смещении источника звука, говоря словами И. М. Сеченова, начинают принимать определенную «физиономию», которая отражает азимут звука. Таким образом, вторым блоком в структуре пространственного образа звука является эфферентная асимметрия, при которой одни из парных центров находятся в состоянии возбуждения, а другие – в состоянии торможения, и именно поэтому, исходящие из них потоки возбуждений к мышцам, пространственно антагонистическим, существенно различаются.

Из сказанного можно сделать вывод, что ориентировочный рефлекс на звук представляет собой совокупность как возбуждательных, так и тормозных рефлексов. Такая совокупность и обеспечивает пространственную селективность психического отражения. В случаях, когда источник раздражения звука находится в срединно-сагиттальной плоскости головы испытуемого, то нет асимметрии афферентной. При этом симметричные эфферентные потоки взаимно тормозят друг друга, благодаря чему и ЗО оказывается в пределах срединно-сагиттальной плоскости. Значит, в процессе бинаурального восприятия звука парные центры слуховой системы с помощью перекрещенных и неперекрещенных путей и также межполушарных связей не только отражают этот звук, но и отражают друг друга пусть и тормозными эффектами.

Рассматривая с нейрофизиологических позиций проблему субъективно-психического отражения тональности или частоты звука, А. Н. Леонтьев пришел к выводу, что для возникновения соответствующего образа важную роль играет поток «обратной афферентации» от гортани, и в частности от аппарата вокализации, который «внутренне интонирует», т.е. воспроизводит звуковой раздражитель. О теснейшей взаимосвязи аппарата вокализации со слуховой системой известно давно. На это обращал внимание еще Ф. Энгельс, писавший, что не только ухо формирует гортань, но и гортань формирует ухо. После двухсторонней перерезки ручек задних бугров кошки не только на 2–3 недели становились глухими, но у них исчезала способность издавать какие-либо звуки в этот период [7]. Если для тонального звукового образа важна обратная афферентация от гортани, то, надо полагать, для возникновения пространственного звукового образа необходима обратная афферентация от мышц, совершающих ориентировочную реакцию на источник раздражения. Считывание поступающей с этой афферентацией информации происходит уже в не слуховых образованиях, а, прежде всего, в вестибулярных и соматических. Именно поэтому после односторонней селективной перерезки вестибулярной ветви 8-й пары черепномозговых нервов локализация продолжительных звуков оставалась нарушенной значительно дольше, чем после перерезки слуховой ветви. Авторы этих исследований объясняют это тем, что слышащие одним ухом животные уже через 4–6 дней переходили на моноуральный механизм сканирования, тогда как вестибулоэктомированные кошки не могли воспользоваться этим механизмом из-за асимметрии и дискоординации мышц, участвующих в ориентировочном рефлексе [8].

Из сказанного следует, что важным звеном в построении материально-физиологической основы пространственного образа звука являются сами движения головы, глаз, ушей (у животных) и импульсный поток от них в мозг. В совокупности названные процессы образуют третий блок структуры пространственного образа звука, а четвертым, завершающим блоком будут процессы «считывания» информации обратной афферентации в вестибуло-соматических центрах мозга. Если источник звука не мнимый, а реально-материальный, то уточняющая информация о его местоположении в пространстве пойдет также в зрительные центры от глаз, в силу того что пространственная ориентация у человека осуществляется, прежде всего, зрительной системой. Ориентация по звуку для человека является вспомогательной, она обеспечивает лишь выведение источника звука в оптимальную зону бинокулярного видения, поэтому ночные хищники, такие, как совы, кошки и др., значительно точнее осуществляют локализацию звука по сравнению с человеком, т.к. для них жизненно важно локализовать звук в темноте.

Факт участия зрительной системы в локализации источника звука со всей очевидностью проявляет себя у детей дошкольного возраста, о чем свидетельствуют данные, полученные в работе Т. В. Маясовой [5]. Имитация движения СЗО внутри головы испытуемых включает визуально наблюдаемые рефлекторные механизмы слежения за перемещением виртуального источника звука. Еще отчетливее салтаторные следящие движения глаз наблюдались у кошек при дихотическом предъявлении им серий звуковых щелчков с помощью специального устройства. И хотя дихотическое предъявление звуковых сигналов, редуцирует ориентировочную реакцию, переводя существенную часть ее (поворот головы) в сферу интереспективную, факт рефлекторного отражения пространственного параметра виртуального источника звука у некоторых испытуемых не вызывает никакого сомнения.

Конечно, представленная схема нейрофизиологических процессов, развертывающихся в ЦНС при локализации звука, еще далека от своего завершения. В частности, в ней совершенно не отражена оценка расстояния до источника звука, а поэтому не объяснена его внутричерепная локализация при дихотической стимуляции, не обозначен круг вестибулярных и соматических центров, не конкретизирована роль стволовых и подкорковых уровней мозга в организации нейрофизиологической основы пространственного слуха, не определены нейрональные элементы, на которых взаимодействуют «тормозящие и тормозимые возбуждения» и т.д. Это является предметом дальнейших исследований.

### Список литературы

1. Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса / П. К. Анохин. – М.: Медицина, 1968. – 578 с.
2. Баллонов Л. Я. Слух и речь доминантного и недоминантного полушарий / Л. Я. Баллонов, В. Л. Деглин. – Л.: Наука, 1976. – 217 с.
3. Дубровский Д. И. Информация, сознание, мозг / Д. И. Дубровский. – М.: Высшая школа, 1980. – 286 с.
4. Леонтьев А. Н. Проблемы развития психики / А. Н. Леонтьев. – М.: Изд-во Московского ун-та, 1981. – 236 с.
5. Маясова Т. В. Особенности бинаурального слуха у детей разных возрастных групп / Т. В. Маясова: Автореф. дис. ... канд. – Н. Новгород, 2000. – 34 с.
6. Павлов И. П. Лекции о работе больших полушарий головного мозга / И. П. Павлов // Полн. собр. соч. – М., 1951. – Т. 4. – С. 527-529.

7. Щербаков В. И. Физиологические механизмы пространственного слуха / В. И. Щербаков, Ю. И. Косюга // Журнал высшей нервной деятельности. – 1980. – Т. 30. – № 2. – С. 288-295.
8. Щербаков В. И. О кортикофугальном контроле процессов кодирования пространственных параметров звуковых сигналов / В. И. Щербаков, Ю. И. Косюга // Тезисы докладов VIII Всесоюзной конференции по электрофизиологии ЦНС. – Ереван, 1980. – С. 323.

**Рецензенты:**

Дмитриев Н. Н., д.б.н., профессор, зав. кафедрой, ВГБОУ ВПО НГПУ Мининский университет, г. Нижний Новгород;

Ягин В. В., д.б.н., профессор кафедры физиологии и БЖ человека, ФГБОУ ВПО НГПУ Мининский университет, г. Нижний Новгород.